



Aalto-yliopisto  
Insinööritieteiden korkeakoulu

Miia Arkiomaa

## **Lietteen kalkkikäsittely gravitaatiotiivistyksessä ja rejektiveden erilliskäsittelyssä**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 4.11.2012

Valvoja: Professori Riku Vahala

Ohjaajat: TkL Anne-Mari Aurola ja TkL Pirjo Rantanen

---

**Tekijä** Miia Arkiomaa

---

**Työn nimi** Lietteen kalkkikäsittely gravitaatiotiivistyksessä ja rejektiveden erilliskäsittelyssä

---

**Laitos** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

---

**Professuuri** Vesihuoltotekniikka**Professuurikoodi** Yhd-73

---

**Työn valvoja** Professori Riku Vahala

---

**Työn ohjaajat/Työn tarkastajat**

TkL Anne-Mari Aurola, Nordkalk Oy ja TkL Pirjo Rantanen, Aalto-yliopisto

---

**Päivämäärä** 4.11.2012**Sivumäärä** 91 + 3**Kieli** Suomi

---

### Tiivistelmä

Tässä diplomityössä tarkastellaan lietteen kalkkikäsittelyn toteutettavuutta ennen lietteen linkokuivausta. Kalkkikäsittelyllä voitaisiin hallita mädätetyn lietteen liukoisen fosforin sitomista kalkin avulla lietteeseen joko lietteen tiivistyksessä tai rejektivesien erilliskäsittelyn yhteydessä. Työssä rejektivesiä ja mädätettyä lietettä otettiin kolmelta jätevedenpuhdistamolta Suomenojalta, Ali-Juhakkalasta ja Kariniemestä. Kaikilla puhdistamoilla jäteveden puhdistusprosessi on biologis-kemiallinen ja fosforinsaostus on toteutettu ferrosulfaattilla.

Kalkkikäsittely tehtiin laboratoriomittakaavassa sekoitinsarjalla yhden litran panoskokein nostamalla pH arvoon noin 9 sammutetulla ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) tai poltetulla ( $\text{CaO}$ ) kalkilla. Kalkkikäsittely saosti liukoista fosforia, kun rejektiveden tai mädätetyn lietteen fosfaattipitoisuus oli reilusti yli kalkkisaostuksen jäännöspitoisuuden. Kalkkikäsittely kuitenkin myös vapautti lietteeseen sitoutunutta fosforia liukoiseen muotoon. Fosforin vapautuminen liukoiseen muotoon oletetaan johtuvan mm. fosforin kemiallisessa saostuksessa lietteeseen muodostuneesta rautahydroksidista. Fosfaattia vapautuu, koska rautahydroksidin oksidipintojen fosfaattia sitova sorptiokapasiteetti pienenee pH:n noustessa.

Rejektiveden ja mädätetyn lietteen alhaisesta fosfaattipitoisuudesta johtuen Suomenojan ja Ali-Juhakkalan näytteissä fosfaatin saostuminen oli heikkoa ja fosfaattipitoisuus jopa nousi hieman kalkkikäsittelyn vaikutuksesta. Kariniemen rejektivedellä ja mädätetyllä lietteellä päästiin hyvään fosfaattireduktioon, rejektillä jopa 60 % ja mädätetyllä lietteellä jopa 50 % reduktioon. Kalkkisaostuksen jälkeen varsinkin mädätetyllä lietteellä fosfaatin vapautuminen kiinteästä fraktiosta takaisin liukoiseen muotoon oli voimakasta. Mädätetyllä lietteellä fosfaattipitoisuus nousi 24 tunnin kuluttua saostuksesta jopa yli alkuperäisen fosfaattipitoisuuden. Rejektivesillä fosfaatin vapautuminen kalkkikäsittelyn jälkeen oli vähäistä. Kalkkikäsittelyn yhteydessä tutkittiin myös kalkkikäsittelyn vaikutusta ammoniumtyppipitoisuuteen, alkaliteettiin ja  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ :een sekä mädätetyn lietteen ja rejektiveden kiintoaineen laskeutuvuuteen ja lietteen hygieeniseen laatuun. Kalkin lisäyksellä saatiin kuitenkin Suomenojan flotatoitua mädätetty liete laskeutumaan.

Lietteen kalkkikäsittelyllä voidaan mahdollisesti saavuttaa etua lietteen maatalouskäytön edistämisen näkökulmasta. Kalkkikäsittelyllä saavutettiin fosforin saostumista rejektivedellä ja mädätetyllä lietteellä. Lietteellä kalkkikäsittelyn jälkeistä fosfaatin vapautumisnopeutta tulee tutkia jatkotutkimuksin, jolloin voidaan tehdä johtopäätöksiä menetelmän soveltuvuudesta lietteen gravitaatiotiivistykseen. Tämän diplomityön tulosten perusteella kalkkisaostusta voidaan suositella käytettäväksi jätevedenpuhdistamoilla vain runsaasti fosfaattia sisältäville rejektivesille. Rejektivesien erilliskäsittelyllä kalkilla voidaan pienentää huomattavasti jätevedenpuhdistamon sisäistä fosforikuormitusta.

---

**Avainsanat** Mädätetty liete, rejektivesi, kalkkikäsittely, pH, fosforin saostaminen

---

---

**Author** Miia Arkiomaa

---

**Title of thesis** Lime Treatment in Sewage Sludge Handling in Gravity Thickening and Reject Water Treatment

---

**Department** Civil and Environmental Engineering

---

**Professorship** Water and Environmental Engineering**Code of professorship** Yhd-73

---

**Thesis supervisor** Professor Riku Vahala

---

**Thesis advisors / Thesis examiners**

TkL Anne-Mari Aurola, Nordkalk Oy and TkL Pirjo Rantanen, Aalto University

---

**Date** 4.11.2012**Number of pages** 91 + 3**Language** finnish

---

**Abstract**

This master's thesis considers the feasibility of municipal sludge lime treatment which is carried out before centrifuge dewatering. At lime treatment the digested sludge soluble phosphorus sequestration to sludge could be managed, either sludge thickening or reject water treatment context. Reject waters and digested sludge were taken from three different wastewater treatment plants Suomenoja, Ali-Juhakkala and Kariniemi. All wastewater treatment plants sewage treatment process is a bio-chemical and phosphorous precipitation has been carried out using ferrous sulfate.

Lime treatment was carried out on a laboratory scale mixers to one liter batch test by raising the pH to about 9 using slaked ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) or quick lime ( $\text{CaO}$ ). Lime treatment precipitated the soluble phosphorus, when the reject water or digested sludge phosphorus concentration was over the residual concentration of lime phosphorus precipitation. However, the lime treatment also released the sludge bound phosphorus into a soluble form. Phosphorus release of a soluble form thought to be due i.a. the formed iron hydroxide of phosphorus chemical precipitation. The phosphate will release from the solid phase when iron hydroxide phosphate oxide surface sorption capacity decreases when the pH rises.

Due to the low phosphate concentration the precipitation of the phosphorous was low in the reject water and digested sludge of Suomenoja and Ali-Juhakkala samples. In these samples the phosphate concentration even increased slightly because of lime treatment. The reject water and digested sludge of Kariniemi the phosphate reduction was good with reject water up to 60 % and the digested sludge up to 50 %. Lime treatment especially after the digested sludge phosphate release from the solid fraction back into a soluble form was strong. 24 hours after the lime precipitation of the digested sludge the phosphate concentration was increased even over the original level. At reject water the phosphate release after the lime treatment was low. The effect of lime treatment was also examined to ammonium nitrogen concentration, alkalinity and  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ . Also the reject water and digested sludge settle ability of suspended solids and hygienic quality were examined. However, the addition of lime the Suomenoja floated digested sludge was settled at the tests.

Sludge lime treatment can potentially gain an advantage over the use of sludge in agriculture promotion point of view. Lime precipitation of phosphorus achieved from reject water and digested sludge. The release of phosphate after the sludge lime treatment should be evaluated for follow-up studies, after that the conclusions can be drawn to method feasibility on sludge gravity thickening. According to the results of this thesis lime treatment can be only recommended for use in wastewater treatment plants which reject water containing plenty of phosphorous. Lime treatment of reject water can significantly reduce the internal phosphorus loading of the wastewater treatment plant.

---

**Keywords** Digested sewage sludge, reject water, lime treatment, pH, phosphorus precipitation

## Alkusanat

*Diplomityö tehtiin Aalto-yliopiston yhdyskunta- ja ympäristötekniikan vesilaboratoriossa. Työ toteutettiin Teknillisen korkeakoulun tukisäätiön rahoituksella, jossa lahjoittajina toimivat Nordkalk Oy Ab, Lahti Aqua, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY sekä Vesilaitosyhdistyksen kehittämisrahasto. Henkilökohtaista rahoitusta työn tekemiseen myönsi myös Maa- ja vesitekniikan tuki ry.*

*Kiitokset työn ohjaajille Anne-Mari Aurolalle ja Pirjo Rantaselle tiiviistä yhteistyöstä. Suuri kiitos vesilaboratorion henkilökunnalle Aino Peltolalle ja Marina Sushkolle heidän avustaan analyseissä. Sajjariina Toivikolle kiitokset työn lakiosuuden kommentoinnista. Kiitos myös työn valvojalle Riku Vahalalle sekä työn ohjausryhmässä toimineille Mari Heinoselle ja Jouni Lillmanille arvokkaista kommentteista.*

Espoo 4.11.2012

Miia Arkiomaa

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo.....	1
Merkinnät, lyhenteet ja käsitteet .....	3
1 Työn tausta, tavoitteet ja rajaukset .....	4
2 Jätevedenpuhdistamot .....	5
2.1 Suomenojan jätevedenpuhdistamo .....	5
2.2 Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo .....	7
2.3 Kariniemen jätevedenpuhdistamo .....	9
2.4 Jätevedenpuhdistamoiden erot ja lupaehdot.....	11
3 Teoria ja aikaisemman tiedon kuvaus.....	13
3.1 Puhdistamoliete ja lietteen mädätys .....	13
3.2 Rejektivesi.....	15
3.3 Fosfaatin saostaminen jätevedestä ferrosulfaatilla .....	16
3.4 Kalkkituotteet .....	19
3.5 Fosfaatin saostaminen jätevedestä kalkilla.....	21
3.6 Lietteän kalkkistabilointi .....	24
3.7 pH:n nousun vaikutus lietteeseen.....	25
3.8 Lannoitelainsäädäntö ja puhdistamolietteen käyttö lannoitteena .....	27
3.9 Puhdistamolietteen soveltuvuus lannoitteeksi.....	31
3.10 Lietteen tiivistys ja laskeutuvuus .....	37
4 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät.....	39
4.1 Näytteet.....	39
4.2 Laitteet.....	43
4.3 Käytetyt kalkkituotteet.....	45
4.4 Koejärjestelyt.....	46
4.5 Analysoitavien näytteiden esikäsittely.....	50
4.6 Esikäsittelyt, analyysit ja standardit .....	51
5 Tutkimustulokset.....	54

5.1	Kalkin annostuksen vaikutus näytteiden pH:n nousuun.....	54
5.2	Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden näytteiden saostuskokeet .....	56
5.3	Kariniemen jätevedenpuhdistamon näytteiden saostuskokeet .....	57
5.4	Kalkkikäsittelyn vaikutus rejektiveden ja lietteen fosfaattipitoisuuteen.....	58
5.5	Näytteiden ammoniumtyyppipitoisuudet .....	62
5.6	Rejektiveden ja lietteen kokonaisfosforipitoisuus, alkaliteetti ja kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> ).....	64
5.7	Lietteen hygieeninen laatu.....	66
5.8	Lietteen tiivistyminen ja rejektiveden kiintoaineen laskeutuminen.....	67
5.9	Tulosten arviointi ja vertailu kirjallisuusarvoihin .....	69
5.10	Tulosten epävarmuudet ja virheet .....	73
5.11	Merkitys puhdistamon prosesseissa ja tarvittavat lisälaitteet.....	75
5.12	Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden erilliskäsittelyn ja mädätetyn lietteen tasetarkastelu .....	77
6	Johtopäätökset.....	82
7	Jatkotutkimusehdotukset .....	85
	Lähteet .....	87
	Liitteet	

## Merkinnet, lyhenteet ja käsitteet

AVL	Asukasvastineluku
BOD <sub>7</sub>	Biologinen hapenkulutus
C	Konsentraatio (mol/l)
COD <sub>Cr</sub>	Kemiallinen hapenkulutus
EU	Euroopan komissio / Euroopan Unioni
Kok-N	Kokonaistyyppi
Kok-P	Kokonaisfosfori
MMM / MMMa	Maa- ja metsätalousministeriö/ Maa- ja metsätalousministeriön asetus
RPM	Pyörimisnopeus (kierrosta/min)
SS	Suspended solids / Kiintoaine
TS	Total solids / Kuiva-aine
VNa / VNp	Valtioneuvoston asetus / Valtioneuvoston päätös
Mädätys	Tässä työssä mädätyksellä tarkoitetaan anaerobista käsittelyä eli biokaasu-prosessia

# 1 Työn tausta, tavoitteet ja rajaukset

Fosforin uusiokäytön tehostaminen on merkittäviä ravinnon tuotantoon liittyviä haasteita tulevaisuudessa. Fosfori on kasveille tärkeä ravinne, jonka saatavuus vähenee nopeasti. Suomessa jätevedenpuhdistamoilla syntyy vuosittain puhdistusprosessissa sivutuotteena yhteensä noin 150 000 (TS) tonnia puhdistamolietettä (Kapuinen, 2008). Puhdistamoliete sisältää runsaasti orgaanista ainetta ja ravinteita mm. fosforia. Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteena on hyödyntää vuonna 2016 yhdyskuntalietteistä 100 % maanparannuskäytössä tai energiana (Valtakunnallinen jätesuunnitelma, 2008). Fosforitaloudesta huolehtiminen ja fosforin kierrätyksen tehostaminen yhdessä kiristyvien viranomaisvaatimuksien kanssa luovat puhdistamolietteen laadulle ja lietteen maatalouskäytön lisäämiselle suuret paineet.

Linkokuivatun puhdistamolietteen kalkkistabiloinnilla voidaan lietteen hygieenisen laadun lisäksi parantaa lietteen menekkiä maataloudessa silloin, kun lietteen levityksellä voidaan saavuttaa myös maanparannuskalkin vaikutusta viljelymaahan. Tällöin lietteen kalkkikäsittely tehdään yleensä linkokuivatulle lietteelle. Tässä diplomityössä tarkastellaan kalkkikäsittelyn toteutettavuutta osittain jo ennen lietteen linkokuivausta tai rejektiveden erilliskäsittelyn yhteydessä.

Diplomityöhön valittiin mukaan kolme jätevedenpuhdistamo; Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:n -kuntayhtymän Suomenojan jätevedenpuhdistamo sekä Lahden Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamot. Kalkkikäsittelyn vaikutusta tutkittiin kyseisten jätevedenpuhdistamoiden mädätetyllä lietteellä ja lietteen mekaanisessa kuivauksessa syntyvällä rejektivedellä. Tässä diplomityössä laboratoriomittakaavan kokein selvitettiin voiko gravitaatiotiivistimelle johdettavan mädätetyn puhdistamolietteen kalkkikäsittelyllä saavuttaa liukoisen fosfaatin sitoutumista lietteeseen ja kuinka toimenpide vaikuttaa lietteen tiivistymiseen ja rejektiveden laatuun. Diplomityössä selvitettiin myös voidaanko rejektiveden fosfaattia saostaa kalkilla ja miten kalkkikäsittely vaikuttaa puhdistamon sisäiseen fosforikuormitukseen.

## **2 Jätevedenpuhdistamot**

### **2.1 Suomenojan jätevedenpuhdistamo**

Suomenojan jätevedenpuhdistamo toimii Espoon Suomenojalla Kaitaan kaupunginosassa. Jätevedenpuhdistamo käsitteli vuonna 2011 keskimäärin noin 100 000 m<sup>3</sup> jätevettä päivässä. Suomenojan jätevedenpuhdistamolla käsitellään Espoon, Kauniaisten, Vantaan länsiosien ja Kirkkonummen 310 000 asukkaan jätevedet ja se on Suomen toiseksi suurin puhdistamo. Puhdistamolle tuleva orgaaninen kuormitus vastasi vuonna 2011 noin 443 000 asukkaan jätevesiä (HSY, 2012). Puhdistamolle johdetaan myös teollisuusjätevesiä, Ämmässuon kaatopaikan suoto- ja kuormitteisia pintavaluntavesiä, sakokaivolietettä ja umpisäiliöjätevesiä sekä hule- ja vuotovesiä. Tulevan jäteveden kokonaismäärästä teollisuusjätevesien osuus vuonna 2009 on noin 8 % ja kaatopaikka-vesien osuus noin 2 %. Vuoto- ja kuivatusvesien osuus jäteveden kokonaismäärästä on noin 30 - 40 %. Puhdistamolle tulevasta kokonaistyyppikuormasta 11 % oli vuonna 2009 peräisin Ämmässuon kaatopaikalta. (Suomenojan jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus, 2007; Lehtinen, 2010).

#### **2.1.1 Suomenojan jätevedenpuhdistamon jäteveden käsittely**

Suomenojan jätevedenpuhdistamo on tavanomainen kattamaton ulkolaitos (*Kuva 1*), jossa jätevedet käsitellään biologis-kemiallisesti. Prosessi on esidenitrifioinnilla varustettu 10-linjainen aktiivilietelaitos. Jätevedenpuhdistusprosessiin syötetään ferrosulfaattia fosforin saostamiseksi, metanolia orgaanisen hiilen lähteeksi ja soodaa alkali-teen nostoa varten. (Suomenojan jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus, 2007).



*Kuva 1 Suomenojan jätevedenpuhdistamo (HSY, 2012).*

### **2.1.2 Suomenojan jätevedenpuhdistamon lietteen käsittely**

Suomenojan puhdistamolla jäteveden käsittelyssä syntyvä puhdistamoliete käsitellään mädättämällä. Keväällä 2012 lietteen gravitaatioon perustuva esitiivistys ei ollut käytössä ja liete ohjattiin ilman esitiivistystä kahteen erilliseen mädättämöön. Mädätys tapahtui mesofiilisella alueella (36 °C) ja viipymä mädättämössä oli noin 13 - 14 vuorokautta. Mädättämöstä liete ohjataan jälkitiivistykseen. Jälkitiivistyksestä tulevaan lietteeseen sekoitetaan polymeeriä veden erottuvuuden parantamiseksi ja lopuksi liete linkokuivataan. Lietelingoilla syntyvä rejektivesi palautetaan takaisin puhdistusprosessin alkuun. Mekaanisesti kuivattu liete kuljetetaan Vapo Oy:n Nurmijärven laitokselle kompostoitavaksi. Kompostoitu liete käytetään Ämmäsuon kaatopaikan pintaverhoiluun ja välitäyttöjen peittoon. Mädättämössä syntyvä biokaasu hyödynnetään polttoaineena kaasumootorivoimalaitoksessa sekä lämpökeskuksen lämmityskattiloiden polttoaineena, mutta 2012 vuoden lopulla kaasu ohjataan maakaasuverkkoon liikennepolttoainekäyttöön. (Suomenojan jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus, 2007).

## **2.2 Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo**

Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo sijaitsee Lahdessa Launeen kaupunginosassa (Kuva 2). Jätevedenpuhdistamo käsitteli vuonna 2007 keskimäärin noin 16 800 m<sup>3</sup> jätevettä päivässä. Puhdistamolle tuleva orgaaninen kuormitus vastaa noin 193 000 asukkaan jätevesiä. Puhdistamolla käsitellään eteläisen Lahden ja Hollolan kunnan Salpakankaan ja Herralan jätevedet. Ali-Juhakkalan puhdistamolle johdetaan myös teollisuuden jätevesiä. Teollisuusjätevesien osuus kuormituksesta oli vuonna 2008 Ali-Juhakkalan puhdistamolla noin 28 % (Lahden kaupunki, 2010). (Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011; Lahti Aqua Oy, 2012).



*Kuva 2 Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo (Lahti Aqua Oy, 2012).*

### **2.2.1 Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamon jäteveden käsittely**

Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo on tavanomainen kattamaton ulkolaitos, jossa jätevedet käsitellään biologis-kemiallisesti. Esikäsitteilynä puhdistamolla on välppäys, hiekanerotus, esi-ilmastus ja esiselkeytys. Esiselkeytyksen jälkeen vedet johdetaan ilmastuslinjoille. Puhdistusprosessi käsittää biologisen DN -aktiivilieteprosessin ja jälkiselkeytyksen. Fosfori saostetaan ferrosulfaatilla, jota syötetään hiekanerotuksen jälkeen ja ilmastuksen tulokanavaan. Puhdistusprosessiin syötetään vain tarvittaessa alkalointikemikaalia (soodaa), koska jäteveden luontaisesta koostumuksesta johtuen siihen ei yleensä ole tarvetta. (Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011).

### **2.2.2 Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamon lietteen käsittely**

Ali-Juhakkalan jäteveden puhdistusprosessista syntyvä liete käsitellään mädättämällä. Ennen lietteen syöttämistä mädättämöön, siihen lisätään polymeeriä ja liete tiivistetään mekaanisesti. Mädätys tapahtui mesofiilisella alueella (35 °C) ja viipymä mädättämössä oli noin 25 vuorokautta (Lahti Aqua Oy, 2012). Mädättämössä syntyvä biokaasu hyödynnetään lämmitysenergiana puhdistamolla ja osa lämmöstä myydään Lahti Energian kaukolämpöverkkoon. Metaanikaasuntuoton katkaisu tapahtuu mädättämön jälkeen ilmastamalla mädättämöstä tulevaa lietettä. Kaasuntuoton katkaisun jälkeen lietteeseen lisätään polymeeriä ja se kuivataan lietelingoilla. Lietelingoilla syntyvä rejektivesi palautetaan takaisin puhdistusprosessin alkuun. Kuivattu liete toimitetaan kompostoitavaksi Kujalan komposti Oy:lle. Liete kompostoidaan yhdessä biojätteen kanssa ja kompostoinnissa syntyvää multaa käytetään viherrakentamisessa. (Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011).

### **2.3 Kariniemen jätevedenpuhdistamo**

Kariniemen jätevedenpuhdistamo (Kuva 3) sijaitsee Lahden keskustassa Vesijärven rannalla ja sinne johdetaan Lahden pohjoispuolen jätevedet sekä jätevedet Hollolan kunnan Tervämäen, Kukkilan ja Messilän alueilta. Jätevedenpuhdistamo käsitteli vuonna 2007 keskimäärin noin 20 000 m<sup>3</sup> jätevettä päivässä. Puhdistamolle tuleva orgaaninen kuormitus vastaa noin 158 000 asukkaan jätevesiä. Kariniemen puhdistamolle johdetaan myös teollisuusjätevesiä. Lisäksi puhdistamon lietteen mädätysprosessiin johdetaan runsaasti orgaanista ainetta sisältäviä jakeita elintarviketeollisuudesta. Teollisuusjätevesien osuus kuormituksesta oli vuonna 2008 noin 25 %. (Lahden kaupunki, 2010; Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011; Lahti Aqua Oy, 2012).



*Kuva 3 Kariniemen jätevedenpuhdistamo (Lahti Aqua Oy, 2012).*

### **2.3.1 Kariniemen jätevedenpuhdistamon jäteveden käsittely**

Kariniemen jätevedenpuhdistamo on louhittu kallion sisään ja puhdistamolla jätevedet käsitellään biologis-kemiallisesti. Esikäsitteilynä puhdistamolla on välppäys, hiekanerotus, esi-ilmastus ja esiselkeytys. Vesi jaetaan hiekanerotuksen jälkeen kolmelle linjalle. Puhdistusprosessi käsittää biologisen DN -aktiivilieteprosessin ja jälkiselkeytyksen. Fosfori saostetaan ferrosulfaatilla, jota syötetään hiekanerotukseen ja ilmastuksen loppuun. Puhdistusprosessiin syötetään vain tarvittaessa alkalointikemikaalia (kalkkia), koska jäteveden luontaisesta koostumuksesta johtuen siihen ei yleensä ole tarvetta. (Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011).

### **2.3.2 Kariniemen jätevedenpuhdistamon lietteen käsittely**

Kariniemen jäteveden puhdistusprosessista syntyvä liete käsitellään mädättämällä. Ennen lietteen syöttämistä mädättämöön, siihen lisätään polymeeriä ja liete tiivistetään mekaanisesti. Mädätys tapahtui mesofiilisella alueella (35 °C) ja viipymä mädättämössä oli noin 27 vuorokautta (Lahti Aqua Oy, 2012). Mädättämöön johdetaan suoraan myös käsittelemätöntä elintarvikelaitoksen jätevettä kaasuntuotannon tehostamiseksi. Mädättämössä syntyvä biokaasu hyödynnetään lämmitysenergiana puhdistamolla ja osa lämmöstä myydään Lahti Energian kaukolämpöverkkoon. Metaanikaasuntuoton katkaisu tapahtuu mädättämön jälkeen ilmastamalla mädättämöstä tulevaa lietettä. Kaasuntuoton katkaisun jälkeen lietteeseen lisätään polymeeriä ja se kuivataan lietelinguilla. Lietelinguilla syntyvä rejektivesi palautetaan takaisin puhdistusprosessin alkuun. Kuivattu liete toimitetaan kompostoitavaksi Kujalan komposti Oy:lle. Liete kompostoidaan yhdessä biojätteen kanssa ja kompostoinnissa syntyvää multaa käytetään viherrakentamisessa. (Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011) Keväällä 2012 laitoksella kehitettiin rejektiveden erilliskäsittelyä rautakemikaalin (PIX) avulla fosforin saostamiseksi. Osassa saostuskokeita on käytetty näytteenä rejektivettä jota on käsitelty kyseisellä saostuskemikaalilla. (Lahti Aqua Oy, 2012).

## **2.4 Jätevedenpuhdistamoiden erot ja lupaehdot**

Kaikilla tässä työssä mukana olevilla jätevedenpuhdistamoilla jäteveden puhdistusprosessi on toteutettu biologis-kemiallisesti. Erona Suomenojan puhdistamon prosesseihin, Kariniemessä ja Ali-Juhakkalassa on käytössä lietteen tiivistys ennen mädätystä sekä mädätyksen jälkeen toteutettu metaanikaasuntuoton katkaisu ilmastuksella. Yleisesti voidaan todeta että Suomenojan jätevedenpuhdistamon lupaehdot ovat tiukempia kuin Lahden jätevedenpuhdistamoiden, mutta Suomenojalle ei ole asetettu lupaehtoa lähtevän jäteveden ammoniumtyyppipitoisuuden suhteen. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan puhdistamoiden nykyiset lupaehdot määräytyvät korkeimman hallinto-oikeuden 7.5.2004 antaman päätöksen perusteella. Lahden jätevedenpuhdistamoiden uudessa ympäristöluvassa (2011) lupaehtoja on tiukennettu mm. kokonaisfosforipitoisuuden suhteen. Uudesta ympäristöluvasta on valittu hallinto-oikeuteen.

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty työssä mukana olevien jätevedenpuhdistamoiden lupaehdot, asukasvastineluvut ja keskimääräiset puhdistustulokset (HSY, 2012; Lahti Aqua Oy, a, 2012; Lahti Aqua Oy, 2012). Asukasvastineluvulla (AVL) tarkoitetaan sellaista vuorokausikuormitusta, jonka seitsemän vuorokauden biokemiallinen hapenkulutus ( $BOD_7$ ) on 70 g happea ( $O_2$ ) (VNp 365/1994). Asukasvastineluku lasketaan puhdistamolle vuoden aikana tulevan suurimman viikkokuormituksen vuorokautisesta keskiarvosta poikkeuksellisia tilanteita lukuun ottamatta. Yhden AVL:n suuruinen hapenkulutus vastaa keskimäärin yhden henkilön jätevesikuormitusta vuorokaudessa. Taulukoissa esitettyjen vuosikeskiarvojen perusteella kaikki jätevedenpuhdistamot ovat täyttäneet määritellyt lupaehdot.

Suomenojan jätevedenpuhdistamo on kokoluokaltaan käsitellyn jätevesimäärän ja mekaanisessa kuivauksessa syntyvän lietemäärän perusteella huomattavasti Lahden puhdistamoita suurempi.

Taulukko 1 Suomenojan lupaehdot, asukasvastineluvut ja keskimääräiset puhdistustulokset vuodelta 2011.

	Suomenoja		Lupa-arvot
AVL	443 000		
	lähtevä vesi [mg/l]	puh.red. %	
Biologinen hapenkulutus (BOD <sub>7</sub> )	4,7	98	≤10 mg/l <sup>1</sup> ≥95 % <sup>1</sup>
Kokonaisfosfori (Kok-P)	0,3	96	≤0,4 mg/l <sup>1</sup> ≥93 % <sup>1</sup>
Kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> )	41	91	≤75 mg/l <sup>1</sup> ≥85 %
Kiintoaine	5,8		≤15 mg/l
Kokonaistyyppi (Kok-N)	16	74	≥70 % <sup>2</sup> (t>12°C)
<sup>1</sup> ) neljännesvuosikeskiarvona, <sup>2</sup> ) vuosikeskiarvona. Lisäksi valtioneuvoston asetuksen (888/2006) mukaan lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuus saa olla enintään 20 mg/l silloin kun veden lämpötila biologisessa prosessissa on vähintään +12 °C.			

Taulukko 2 Kariniemen ja Ali-Juhakkalan lupaehdot sekä asukasvastineluvut ja keskimääräiset puhdistustulokset vuodelta 2011.

	Ali-Juhakkala		Kariniemi		Lupa-arvot
AVL <sup>3</sup>	193 000		158 000		
	lähtevä vesi [mg/l]	puh.red. %	lähtevä vesi [mg/l]	puh.red. %	
Biologinen hapenkulutus (BOD <sub>7</sub> )	6,0	98,8	4,4	98,7	≤10 mg/l <sup>1</sup> ≥95 % <sup>1</sup>
Kokonaisfosfori (P <sub>kok</sub> )	0,23	97,6	0,25	97,5	≤0,5 mg/l <sup>1</sup> ≥90 % <sup>1</sup>
Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	2,35	95,8	2,17	96,0	≤4 mg/l <sup>2</sup> ≥90 % <sup>2</sup>
Kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> )	38,0	-	43,0	-	≤125 mg/l <sup>1</sup>
Kiintoaine	8,0	97,8	3,3	98,9	≥90 % <sup>1</sup>
Kokonaistyyppi (N <sub>kok</sub> )	13,2	76,9	13,2	76,8	≥70 % (t>12°C)
<sup>1</sup> ) neljännesvuosikeskiarvona, <sup>2</sup> ) vuosikeskiarvona mukaan lukien mahdolliset ohijuoksutukset ja poikkeustilanteet. Ammoniumtyypin osalta poistoteho lasketaan tulevan jäteveden kokonaistypestä, <sup>3</sup> ) Laskettu tässä työssä puhdistamon BOD <sub>7</sub> :n vuorokausitietojen perusteella.					

## 3 Teoria ja aikaisemman tiedon kuvaus

### 3.1 Puhdistamoliete ja lietteen mädätys

Jäteveden käsittelyssä syntyy sivutuotteena suuria määriä puhdistamolietettä. Lietettä syntyy mekaanisessa, kemiallisessa ja biologisessa puhdistusvaiheessa. Lietteestä voi muodostaa noin kolmanneksen puhdistamon käyttökustannuksista. Kemiallisesti saostettu liete koostuu fosfaatti-, hydroksidi- ja karbonaattisakasta sekä orgaanisesta aineesta. Rinnakkaissaostuslaitoksissa ylijäämäliete sisältää noin 10 - 20 % rautaa ja 2 - 3 % fosforia. Lietettä syntyy jätevedenpuhdistamolla noin 0,7 - 1,2 kg (kuivaainetta) jokaista poistettua BOD<sub>7</sub> -kilogrammaa kohti. Usein keskisuurilla ja suurilla jätevedenpuhdistamolla syntyvä liete käsitellään mädättämällä (Kuva 4). (Suomen ympäristökeskus).



Kuva 4 Suomenojan jätevedenpuhdistamon mädättämöt (Kuva Jarmo Sundberg, 2012).

Puhdistamolietteen mädätys voi tapahtua meso- tai termofiilisesti. Jätevedenpuhdistamoilla yleisempää on alhaisemmassa lämpötilassa tapahtuva mesofiilinen mädätys. Mesofiilinen mädätys tapahtuu suljetussa reaktorissa, hapettomassa tilassa ja noin 30 - 38 asteen lämpötilassa (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 425). Mädätysprosessin aikana bakteerit muuttavat osan orgaanisesta aineesta metaanipitoiseksi biokaasuksi ja lietteen kiintoainemäärä pienenee. Mädätyksessä ravinteet muuntuvat orgaanisesta epäorgaaniseen muotoon. Biologisesti lietteeseen sitoutunut fosfori ja typpi vapautuvat mädätyksessä liukoiseen muotoon. Prosessi tuottaa stabiilia ja helposti kuivattavaa lietettä. Mädätetty liete kuivataan tavallisesti mekaanisesti. Kuivauksen tehostamiseksi lietteen sekaan voidaan annostella polymeeriä. Mesofiilisesti mädätetty liete ei kelpaa hygieeniseltä laadultaan suoraan käsittelemättömänä maanviljelyyn (MMM 11/12). Luvussa 3.8 on käsitelty lannoitelainsäädännön vaatimuksia ja luvussa 3.9 on käsitelty puhdistamolietteen käyttöä lannoitteena. (Pöyry Environment Oy, 2007).

Kariniemen jätevedenpuhdistamolla syntyi keväällä 2012 noin 300 ja Ali-Juhakkalan puhdistamolla noin 85 kuutiota mädättämöön pumpattavaa lietettä vuorokaudessa (Lahti Aqua Oy, 2012). Suomenojan jätevedenpuhdistamolla linkokuivaukseen pumpattiin keväällä 2012 noin 900 kuutiota lietettä vuorokaudessa. Yhteensä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoilla syntyy mädätettyä kuivattua lietettä 11 300 - 12 800 tonnia (TS 28 %) vuodessa (Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus, 2011). Suomenojan jätevedenpuhdistamolla vuonna 2012 syntyi mädätettyä kuivattua lietettä noin 23 700 tonnia (TS 30 - 32 %) vuodessa (HSY, 2012).

### **3.2 Rejktivesi**

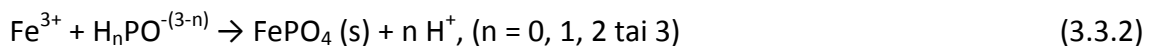
Rejktivedet ovat jätevesilietteen käsittelyssä lietteen tiivistyksessä ja mekaanisessa kuivauksessa erotettuja vesiä, jotka yleensä palautetaan puhdistamon prosessin alkuun. Rejktivesi sisältää paljon liukoisessa muodossa olevia ravinteita ja kemiallisesti happea kuluttavia yhdisteitä. Rejktiveden ammoniumtyppi- ja fosfaattipitoisuudet voivat olla hyvinkin suuria, jolloin ne sitovat osan jätevedenpuhdistamon puhdistuskapasiteetista. Usein rejktiveden typpipitoisuus on jätevedenpuhdistamolla suurempi ongelma kuin fosfori. Rejktiveden fosforipitoisuus voi nousta ongelmaksi, jos laitoksella on esim. käytössä biologinen fosforinpoisto. (Arnold;ym., 2000).

Rejktiveden sisältämä typpikuorma voi olla jopa neljännes koko prosessin alkuun tulevasta ammoniumtypestä (1000 mg/l), vaikka rejktiveden osuus kokonaisvirtaamasta on yleisesti vain joitain prosentteja (Janus ja van der Roest, 1997; Arnold;ym., 2000). Rejktiveden sisältämä ravinnekuormitus voi vaikuttaa olennaisesti jätevedenpuhdistamon puhdistustulokseen ja lähtevän veden laatuun. Jätevedenpuhdistamon sisäistä kuormaa voidaan pienentää käsittelemällä rejktivedet erillisenä tai säännöstelemällä rejktiveden syöttöä takaisin prosessiin esim. syöttämällä rejktivettä biologisen prosessin alkuun matalan kuormituksen vaiheessa kuten öisin. Rejktivesien erilliskäsittely on yleensä kustannustehokas tapa vapauttaa ja pienentää tarvittavaa puhdistuskapasiteettia. Rejktiveden erilliskäsittely voidaan tehdä usealla tavalla. Rejktiveden sisältämää liukoista fosforia voidaan saostaa kemiallisesti käyttämällä metallisuoloja tai kalkkia. Rejktiveden sisältämää tyyppiä voidaan poistaa esim. ammoniakkstrippauksella, struviittisaostuksella tai biologisin menetelmin. (Arnold;ym., 2000). Luvussa 5.12 on tarkasteltu Kariniemen puhdistamon jätevedenpuhdistamon fosfori- ja orgaanisen aineen tasetta, jos mädätetyn lietteen tai rejktiveden erilliskäsittely toteutettaisiin kalkilla.

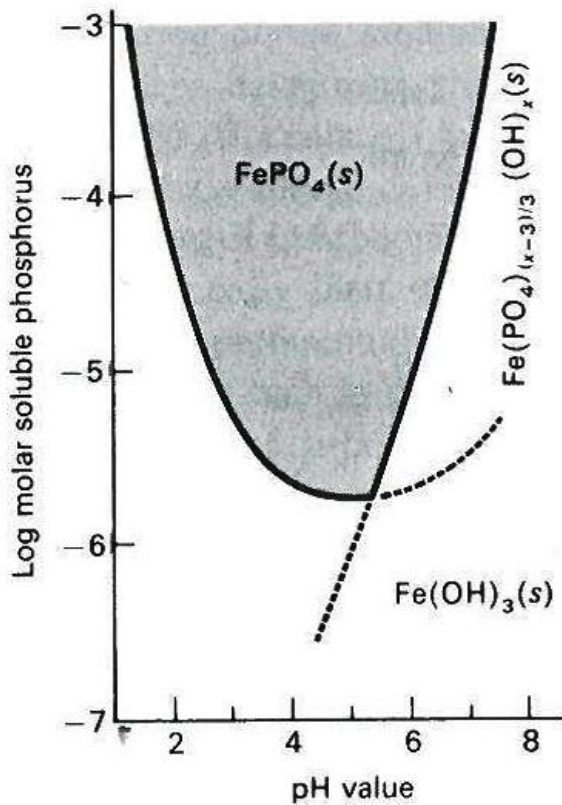
Keväällä vuonna 2012 linkokuivauksessa syntyi rejktivettä Kariniemen jätevedenpuhdistamolla noin 260 kuutiota (Lahti Aqua Oy, 2012) ja Suomenojan jätevedenpuhdistamolla noin 870 kuutiota vuorokaudessa (HSY, 2012).

### 3.3 Fosfaatin saostaminen jätevedestä ferrosulfaatilla

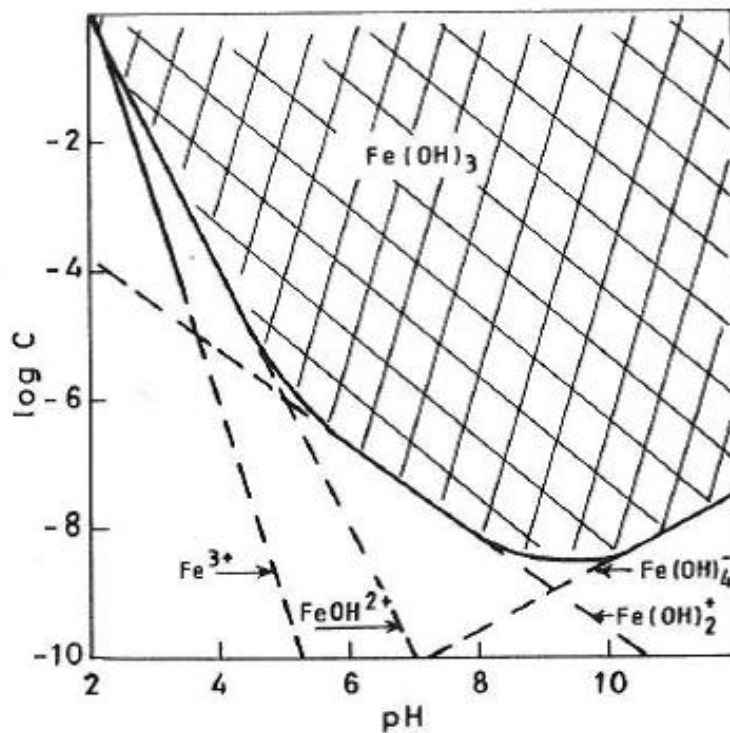
Puhdistamoilla käytetään yleisesti saostuskemikaalina ferrosulfaattia ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ) liukaisen fosforin saostamiseen. Saostuskemikaalina käytetyn ferrosulfaatin sisältämä kahdenarvoinen ferrirauta ( $\text{Fe}^{2+}$ ) hapettuu jätevedenpuhdistusprosessissa ensin kolmenarvoiseksi ferriraudaksi ( $\text{Fe}^{3+}$ ) pH:n ollessa 6 - 8 (*Reaktio 3.3.1*) (Ferrosulfaatin käyttöopas, 2002). Muodostuneet ferri-ionit reagoivat jätevedessä olevien hydroksyyli- ja fosfaatti-ionien kanssa muodostaen saostumia. Ortofosfaatti-ionit ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) muodostavat niukkaliukoisia yhdisteitä rautakationien kanssa mm. ferrifosfaattia (*Reaktio 3.3.2*) (Ferrosulfaatin käyttöopas, 2002). Fosfaatin saostamiseksi jätevedestä ferrosulfaatilla on optimi pH-arvo 4,5 - 5 (Isoaho ja Valve, 1986 s. 156). Kolmenarvoinen rauta osallistuu jätevedessä myös hydroksyylireaktioihin pH:n ollessa yli 6 muodostaen mm. ferrihydroksidia (*Reaktio 3.3.3*) (Ferrosulfaatin käyttöopas, 2002). Jäteveden pH vaikuttaa ferrifosfaatin ja rautahydroksidin muodostumiseen sekä niiden keskinäiseen suhteeseen (*Kuvaaja 1*) (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 308).



Ferrosulfaatilla saostettaessa muodostuu jäteveden pH:sta riippuen myös muita rautayhdisteitä, joista osa voi olla myös vesiliukoisia. Rauta esiintyy jätevedessä yleensä kolmenarvoisena ferri-ionina ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Jätevedessä raudan hydroksyylireaktiossa syntyy rautahydroksidin ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) lisäksi muita rautahydroksidiyhdisteitä (mm.  $\text{FeO}$  ja  $\text{FeOOH}$ ), joilla on kyky adsorption avulla sitoa anioneja pintaansa. Kuvaajassa 2 on kuvattu kolmenarvoisen rautaionin hydrolysaatiota ja rautahydroksidiyhdisteiden ja -ionien esiintymistä konsentraationa ( $C = \text{mol/l}$ ) puhtaassa vedessä eri pH-arvoissa. Liukoinen fosfaatti esiintyy jätevedessä anionina ortofosfaattina, jolloin se voi sitoutua muodostuvien rautahydroksidiyhdisteiden pintaan ja muodostaa kolloidirakenteen. Ferrosulfaatilla saostettaessa jäteveden liukoinen fosfori saostuu jätevedestä lietteeseen ferrifosfaattina sekä rautahydroksidifosfaattikolloidina. (Isoaho ja Valve, 1986 ss. 156-157).

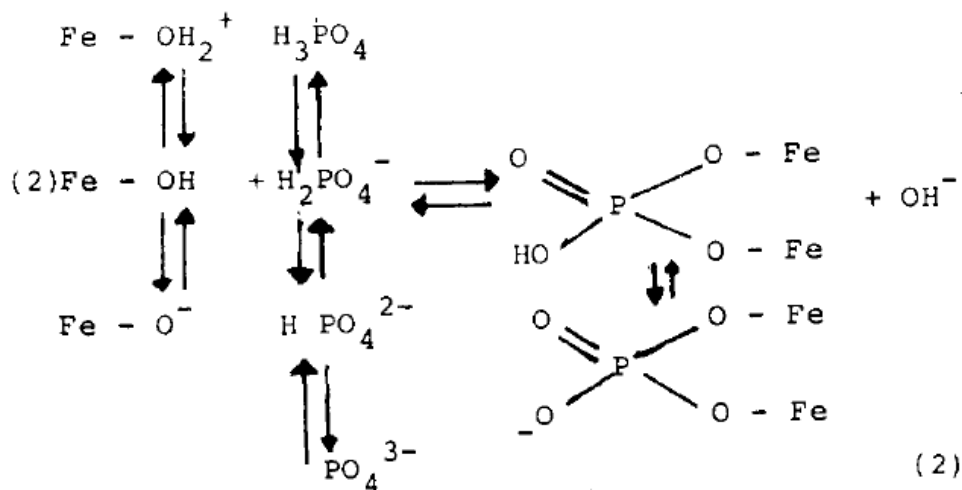


Kuvaaja 1 Ferrifosfaatin liukoisuuden riippuvuus jäteveden pH:sta ja liukoisen fosfaatin määrästä (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 309).



Kuvaaja 2 Rautaionin ( $\text{Fe}^{3+}$ ) hydrolysaatio puhtaassa vedessä (Isoaho ja Valve, 1986 s. 163).

Fosfaattianionien kiinnittyminen raudan vesipitoisille hydroksidi- ja oksidipinnoille tapahtuu niin sanotun ligandinvaihtomekanismin avulla, jossa pidätyvät anionit tunkeutuvat metallin koordinaatiokehään ja syrjäyttävät sieltä H<sub>2</sub>O- tai OH-ligandin liittyen samalla itse metalliatomiin (Kuva 5). Ligandinvaihtomekanismilla voi muodostua myös monihampaisia tai rengasrakenteisia ligandeja. (Heinonen;ym., 1992 ss. 65-67; Tchobanoglous ja Burton, 1991 ss. 313-314).



Kuva 5 Rautahydroksidin ligandinvaihtoreaktiot fosfaatin kanssa (Lambertus ja Lijklema, 1980).

Fosfaattianionien sitoutumiseen vaikuttavat H<sub>2</sub>O- ja OH-ligandien keskinäinen suhde sekä kiinnittymispinnan sähkövaraus, jotka molemmat ovat riippuvaisia pH:sta. Oksidipinnoilla on pH:n noustessa enemmän OH- kuin H<sub>2</sub>O-ryhmiä, jolloin oksidipinnan sähkövaraus muuttuu negatiivisemmaksi. Fosfaattianionin on helpompi lähestyä positiivisesti varautunutta oksidipintaa syrjäyttäen H<sub>2</sub>O-ryhmä kuin mennä negatiiviselle pinnalle syrjäyttäen OH-ryhmä. Rautaoksidit voivat sitoa fosforia pH:n ollessa 3 - 8,5. Alhaisemmassa tai korkeammassa pH:ssa raudan (Fe<sup>3+</sup>) liukoisuus kasvaa ja fosforinsitomispaikat vähenevät. Mitä enemmän sitoutumispaikkoja on, sitä useammalla happiatomilla fosfori voi syrjäyttää oksidipinnan ligandeja. Mitä useammalla happiatomilla fosfori on kiinnittynyt oksidien keskuskationeihin, sitä vahvemmin se on pidättynyt pinnalle. Tällainen sitoutumismekanismi johtaa siihen, että anionit kiinnittyvät lujasti toisiinsa, eivätkä huuhtoudu helposti. (Heinonen;ym., 1992 s. 66; Bohn, 2001 s. 307).

### 3.4 Kalkkituotteet

Kalkkikivi on synnyltään orgaaninen tai epäorgaaninen, sedimentäärinen tai kiteytynyt karbonaattikivi, jonka mineraaleista pääsääntöisesti yli 80 % on karbonaattimineraaleja. Kalkkikivi murskataan, jauhetaan ja seulotaan eri raekokoluokkiin käyttötarkoituksen mukaan. Vesilaitoksilla ja jätevedenpuhdistamoilla eri kalkkituotteita käytetään yleisesti pH:n ja alkaliteetin säätöön sekä puhdistamolietteen kalkkistabilointiin.

#### 3.4.1 Poltettu ja sammutettu kalkki

Kalkkikivi poltetaan noin 1100 asteessa kierto- tai kuilu-uunissa poltetuksi kalkiksi (Kuva 6). Kalkkikiven kalsiumkarbonaatti muuttuu poltossa kalsiumoksidiksi (CaO). Valmistusprosessissa poltetu kalkki sammutetaan eli yhdistetään kontrolloidusti veden kanssa. Reagoidessaan veden kanssa kalsiumoksidi muuttuu kalsiumhydroksidiksi (Ca(OH)<sub>2</sub>) (Reaktio 3.4.1). Kalsiumoksidin reaktio veden kanssa on eksoterminen ja vapauttaa lämpöä 1,140 kJ kiloa (CaO) kohden. (Nordkalk Oy, 2012a).

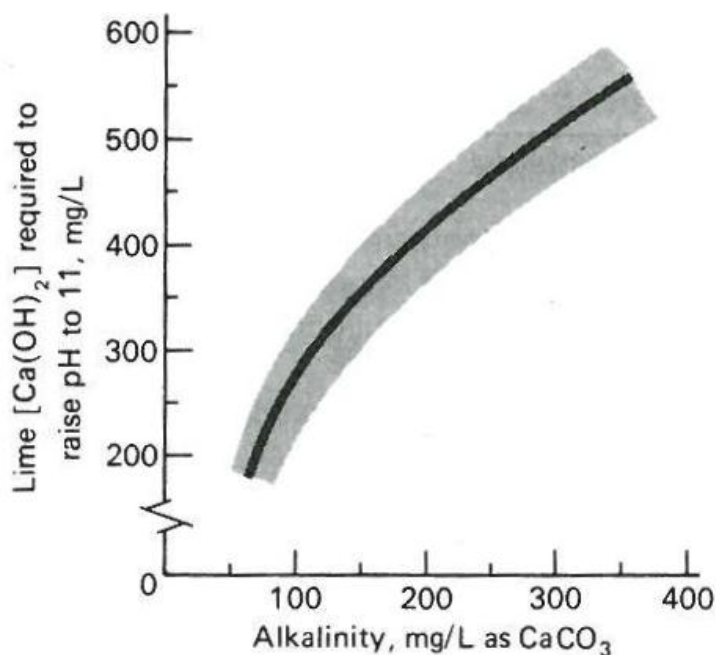


Kuva 6 Nordkalk Oy:n kuilu-uuni Lohjalla Tytyrissä (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).

### 3.4.2 Kalkkituotteiden liukoisuus ja annokset

Kalsiumoksidi (CaO) ja kalsiumhydroksidi (Ca(OH)<sub>2</sub>) ovat vahvoja emäksiä, jotka liuke-  
nevat hyvin veteen pH:sta riippumatta. Kalsiumoksidin liukoisuus veteen on 1,19  
(25 °C) g ja kalsiumhydroksidin 1,73 g noin litraa vettä kohden (1000 g / 20 °C) (Lange,  
1985). Kalkkituotteiden liukoisuuteen jätevedessä kuitenkin vaikuttavat myös kalkin  
muodostamat reaktiot jätevedessä.

Alkaliteetin kohottamiseksi 1 mmol/l tarvitaan teoreettisesti sammutettua kalkkia 74  
g/m<sup>3</sup>. Saavutettuun vaikutukseen vaikuttavat myös muut jäteveden ominaisuudet ku-  
ten veden hiilidioksidipitoisuus, sulfaattipitoisuus ja eri metallien pitoisuudet. Tehok-  
kaaseen fosfaattisaostukseen tarvittavan kalkkiannoksen suuruus riippuu jäteveden  
alkaliteetista. Mitä korkeampi alkaliteetti on, sitä suurempi kalkkimäärä tarvitaan tie-  
tyin pH-tason saavuttamiseksi (Kuvaaja 3). (Nordkalk Oy, 2012a; 2012b).



Kuvaaja 3 Jäteveden alkaliteetin vaikutus ja tarvittava kalkkiannos (Ca(OH)<sub>2</sub>) jotta saa-  
vutetaan pH-arvo 11 (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 738).

### 3.5 Fosfaatin saostaminen jätevedestä kalkilla

Fosforiyhdisteet voidaan saostaa jäte- tai rejektivedestä kalsiumionien avulla. Kalsium- ja hydroksidi-ionit reagoivat liukoisen ortofosfaatin ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) kanssa muodostaen lopulta hydroksiapatiittia (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 745). Hydroksiapatiitin muodostuminen on hidasta ja sitä muodostuu, kun jäteveden pH kohoaa noin arvoon 10 (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 308). Hydroksiapatiitti koostuu kalsiumista, fosfaatista sekä hydroksidista ja siitä kirjallisuudessa esitetyt reaktiot ja olomuodot vaihtelevat (*Reaktiot 3.5.1 ja 3.5.2*) (Tchobanoglous ja Burton, 1991 ss. 308, 742).

Hydroksiapatiitin muodostuminen:

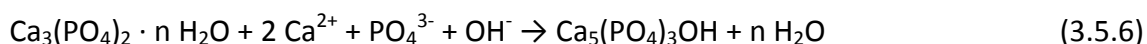
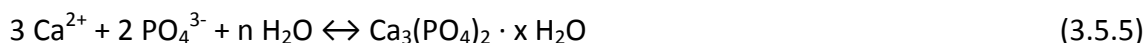
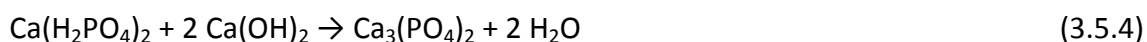


Fosfaatin kalkkisaostuksessa muodostuvien yhdisteiden saostuminen on hyvin monimutkainen prosessi. Saostuksessa muodostuviin yhdisteisiin vaikuttaa kalsiumin ja fosfaatin moolisuhteet jätevedessä, jäteveden pH ja lämpötila, jäteveden sisältämät muut ionit ja niiden kylläisyysaste sekä saostuksesta kulunut aika. Fosfaatin kalkkisaostusta on mallinnettu Ostwaldin säännön perusteella, jonka mukaan termodynaamisesti pysymättömin faasi muodostuu aina ensimmäiseksi. Kiteytymisprosessissa yhdisteen amorfinen vaihe edeltää aina faasimuutosta liukoisesta kiteiseen muotoon. Kiteytyminen alkaa, kun liuos saavuttaa kylläisyyden tietyn aineen suhteen. Faasimuutos tapahtuu liukenemisen ja uudelleen saostumisen kautta. (Barat;ym., 2011).

Saostettaessa kalkilla jätevedessä muodostuu aluksi mm. kalsiumdivetyfosfaattia ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ). (*Reaktiot 3.5.3*). Kalsium ja fosfori moolisuhteen sekä pH:n noustessa muodostuu edelleen amorfista kalsiumfosfaattia ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) (*Reaktiot 3.5.4 ja 3.5.5*) ja lopulta hydroksiapatiittia (*Reaktiot 3.5.6*).

Kalsiumdivetyfosfaattia muodostuu pH:ssa 6 - 7 ja kalsiumfosfaattia pH:ssa 9 - 12. Alhaisemmassa pH:ssa saostettaessa muodostuva kalsiumdivetyfosfaatti laskeutuu nopeasti. Korkeammassa pH:ssa muodostuva kalsiumfosfaatti laskeutuu hitaasti ja tarvitsee flokkulantin lisäyksen parantamaan laskeutumista. Fosfaattia saostettaessa kalkilla jätevedestä lietteeseen saostuu hydroksiapatiittia, sekä muita kalsiumfosfaatin muotoja. (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 742; Barat;ym., 2011).

Fosforin kalkkisaostuksessa jätevedessä esiintyviä reaktioita:



Fosforiyhdisteiden hyvä saostuminen edellyttää korkeaa pH:ta. Optimi pH ortofosfaatin saostamiseksi on 10,5, jolla saavutetaan alle 1 mg/l jäännöspitoisuus (EuLA, 2012). Kovissa vesissä, joiden alkaliteetti on korkea, hyvä fosforireduktio voidaan saavuttaa jo pH-alueella 9,5 - 10,5. Pehmeissä vesissä pH:n on oltava yli 11,2, jotta fosfaatin saostuminen olisi tehokasta. Jos jäteveden alkaliteetti on normaalitasoa (1 - 2,5 mmol/l), sopiva pH hyvälle fosfaattisaostukselle saavutetaan yleensä kalsiumhydroksidin annostuksella 200 - 300 mg litraa kohti. (Nordkalk Oy, 2012a).

Fosfaatin kalkkisaostus on jaettu kirjallisuudessa korkeaan ja matalaan kalkkisaostukseen saostuksessa saavutetun pH:n mukaan. Matalassa kalkkisaostuksessa pH on 8,5 - 9,5 ja se on saavuttu kalsiumhydroksidin annostuksella 50 - 250 mg litraa jätevetä kohden. Korkeassa kalkkisaostuksessa pH on yli 9,2 ja se on saavutettu kalsiumhydroksidin annostuksella 100 - 300 mg litraa jätevetä kohden. (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 745; EuLA, 2012).

Ero korkean ja matalan kalkkisaostuksen kohdalla on fosfaatin jäännöspitoisuudessa, joka on matalassa pH:ssa saostettaessa 2 - 3 mg/l ja korkeassa alle 2 mg/l. Matalassa kalkkisaostuksessa saostuksen vaatimukset ovat tarkemmat, kuten kalsium- ja magnesiumionin moolisuhteiden tulee olla jätevedessä pienempi kuin 5/1. Kalkkisaostuksella päästään yleensä noin 65 - 80 %:n fosfaattireduktioon. (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 745; EuLA, 2012).

Saostettaessa kalkilla saostuu myös osa veden bikarbonaatti- ja magnesiumioneista (*Reaktiot 3.5.7 ja 3.5.8*) sekä orgaanista ainesta. Kovissa vesissä kalsiumkarbonaatin saostuminen samalla parantaa muodostuneiden fosfaattiflokkien laskeutumista. (Nordkalk Oy, 2012a; Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 742).

Kalsiumkarbonaatin saostuminen:



### **3.6 Lietteen kalkkistabilointi**

Lietteen kalkkistabilointi on vanha ja tunnettu lietteen käsittelymenetelmä. Suomessa puhdistamolietteen kalkkistabilointi on nykyään harvinaista. Lietteen käsittelymenetelmänä kalkkistabilointi on yleisemmin käytössä Keski-Euroopassa, jossa puhdistamolietteen hyödyntäminen on maataloudessa muutenkin yleisempää.

Kalkkistabiloinnissa mekaanisesti kuivattuun lietteeseen lisätään poltettua kalkkia, jolloin kalkki reagoi lietteessä olevan veden kanssa nostaan pH:ta. Kalkin ja veden reaktio on eksotermisen ja nostaa lietteen lämpötilaa. Korkea pH ja lämpötila vaikuttavat lietteen hygieenisyyteen. Kansallisen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelon mukaan pH:n on noustava tasolle 12 vähintään kahden tunnin ajaksi, jotta lietteen kalkkistabiloinnilla saavutetaan riittävä hygieeninen taso. Näin käsitelty puhdistamoliete soveltuu tietyin rajoituksin käytettäväksi maataloudessa maanparannusaineena. (MMM 24/11) Kalkkistabiloinnin etuna voidaan pitää myös lämpötilan noususta aiheutuvaa lietteen kuivumista ja käsiteltävyyden helpottumista. Kalkkistabiloinnilla voidaan pienentää myös puhdistamolietteen aiheuttamia hajuhaittoja. (Kiuru & Rautiainen Oy, 2008).

Yleisesti kalkkistabiloinnissa käytettävät annostelusuositukset ovat väljiä ja kuivatun lietteen sekaan annosteltava kalkin määrä riippuu voimakkaasti kalkin ja lietteen sekoituksen tehokkuudesta. Kirjallisuudessa on pH-arvon 12 saavuttamiseksi esitetty kalsiumoksidilla annostusta 0,3 - 0,4 kg lietteen kuiva-ainekiloa kohden tai 30 kg lietekuutiota kohden (Kiuru & Rautiainen Oy, 2008; Vihersaari, 2004).

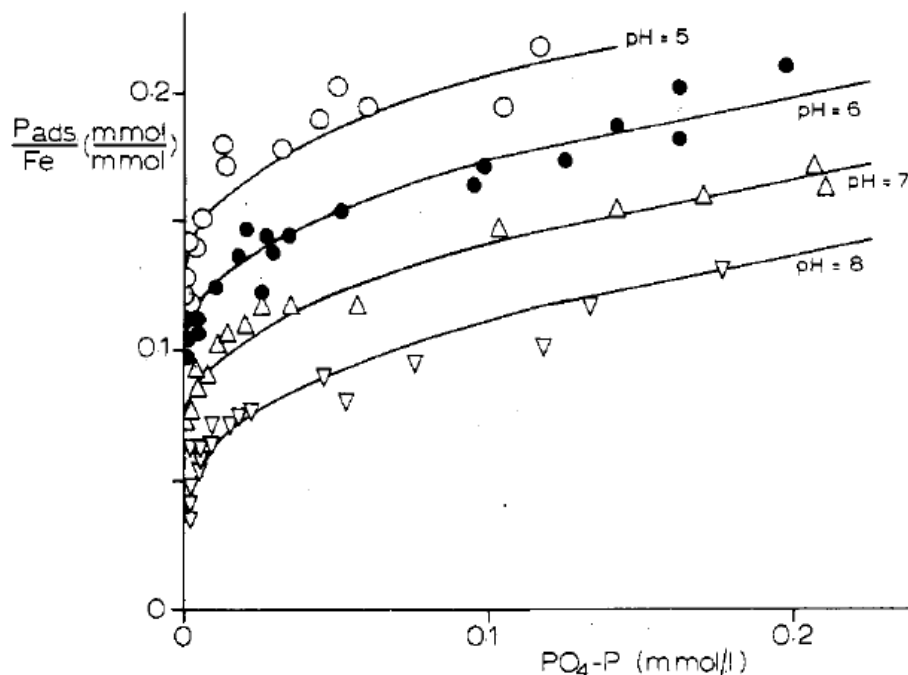
Seyhan ja Erdinler (2003) tutkivat biologisen fosforinpoistolaitoksen jätevesilietteiden lannoitevaikutusta sekä kalkkistabiloinnin vaikutusta lietteessä olevan fosforin liukoisuuteen ja käyttökelpoisuuteen kasveille. Kyseisen tutkimuksen mukaan kalkkistabilointi tulisi tehdä märkään lietteeseen mekaanisesti kuivatun lietteen sijaan fosforin liukoisuuden parantamiseksi. Tutkimuksessa oli mm. kasveille levitetty kuivaamatonta kalkkikäsiteltyä ja mekaanisen kuivauksen jälkeen kalkkikäsiteltyä lietettä. Mädätetyn lietteen esikäsitelyllä ennen lietteen kuivausta voidaan mahdollisesti myös vähentää mekaanisesti kuivatun lietteen kalkkistabiloinnissa tarvittavaa kalkkimäärää.

### 3.7 pH:n nousun vaikutus lietteeseen

#### 3.7.1 Ferrifosfaatti ja rautahydroksidi

Ferrosulfaatilla saostettaessa muodostunut kiinteä ferrifosfaattisakka ( $\text{FePO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) ei pH:n nousun vaikutuksesta liukene lietteestä liukoiseen muotoon. Ferrifosfaatin liukoisuus veteen on pH:ssa 7 vain hyvin pieni ( $1,86 \cdot 10^{-12} \text{ g/l}$ ) ja kirjallisuuden mukaan liukoisuus pienenee pH:n noustessa (European Commission, 2002; Robert ja Weast, 1983).

Ferrosulfaatilla saostettaessa muodostuneiden rautahydroksidiyhdisteiden kyky sitoa fosfaattia pintareaktioillaan heikkenee mitä enemmän hydroksidiryhmiä kolmiarvoisen rauta-ionin ympärille on sitoutunut. Hydroksidiryhmien määrä ja näin oksidipintojen negatiivinen varaus kasvaa pH:n nousun myötä, jolloin fosforin sitoutumistaipumus heikkenee. Koska pH:n nousu vaikuttaa heikentävästi raudan kykyyn sitoa fosfaattia, vapautuu pH:n nousun myötä lietteestä rautahydroksidikolloidien pinnoilta fosforia takaisin liukoiseen muotoon (Hartikainen & Peltovuori, 2002). Rautahydroksidin pinnoille sitoutunut fosfaatti vapautuu sitä herkemmin mitä korkeampi pH saavutetaan (Kuvaaja 4) (Lambertus ja Lijklema, 1980).



Kuvaaja 4 pH:n vaikutus rautahydroksidin ( $\text{Fe}^{3+}$ ) kykyyn adsorboida fosfaattia (Lambertus, 1980).

### **3.7.2 Kalsiumfosfaattiyhdisteet**

Saostettaessa kalkilla muodostuu yhdisteitä, joissa on kalsiumfosfaattia (mm. hydroksiapatiittia). Kalsiumfosfaatti ei liukene veteen ja kalsiumvetyfosfaatin liukoisuus veteen on kohtalainen (Patnaik, 2003 s. 174). Hydroksiapatiitti on veteen niukkaliukoista korkeassa pH:ssa (Nordkalk Oy, 2012a).

Jos orgaaninen mädätysjäännös rupeaa kalkkisaostuksen jälkeen hapettumaan, syntyy aineksen hajoamistuotteina liukoisia orgaanisia happoja (karboksyylihappoja). Näin vapautuneet protonit saattavat muuttaa kalsiumfosfaatin liukoisemmaksi kalsiumdivetyfosfaatiksi. Koska vapautuneet vety-ionit kuluvat kalsiumfosfaatin liuottamiseen, ei jäteveden pH näin nouse. (Hartikainen, 2012).

### **3.7.3 Orgaaninen aines**

pH:n nousu lisää orgaanisen aineksen hajoamista ja liukoisuutta. Liukoinen anionimuotoinen orgaaninen aines saattaa muodostaa kompleksin kalkitusaineen kanssa ja vähentää näin kalkin saostavaa vaikutusta (Hartikainen, 2012).

Orgaanisen aineen hajotessa muodostuvat karboksyylihapot voivat myös muodostaa kompleksin metallien kanssa. Metallikompleksin muodostuminen vähentää metallioksidien sitoutumispaikkoja (sorptiokapasiteettia) ja näin vähentää fosforin sitoutumista. (Erdinler ja Seyhan, 2006).

### **3.8 Lannoitelainsäädäntö ja puhdistamolietteen käyttö lannoitteena**

Puhdistamolietteitä koskevat säädökset ovat olleet muutoksen kohteena viimeaikoina ja puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä annettu Valtioneuvoston päätös (282/1994) on kumottu. Uudet puhdistamolietteitä koskevia säädökset eivät suuremmin tuo muutoksia nykykäytäntöihin. Puhdistamolietettä koskevia säädöksiä löytyy lannoitevalmistelain (539/2006) nojalla annetuissa Maa- ja metsätalousministeriön asetuksissa 24/11, 11/12 ja 12/12 sekä Valtioneuvoston jäteasetuksessa 179/2012. MMM:n asetukset 12/12 ja 11/12 astuivat voimaan 10.5.2012. Typpi- ja fosforilannoitteiden käytöstä maataloudessa on säädetty Maa- ja metsätalousministeriön asetuksista 503/2007 sekä Valtioneuvoston asetuksen 931/2000, jotka vaikuttavat sallittujen levitysmäärien kautta lietteen hyödyntämiseen maataloudessa.

#### **3.8.1 Jäteasetus 179/2012**

Jäteasetuksessa (18 §) säädetään yhdyskuntajätevesilietteen laadun seurannasta.

Yhdyskuntajätevesilietteen tuottajan on määritettävä lietteen sisältämien raskasmetallien ja tarvittaessa muiden haitallisten aineiden pitoisuudet sekä kokonaistypen ja kokonaisfosforin pitoisuudet. Lietteen laadun seurantavelvollisuus koskee kaikkia yhdyskuntajätevesilietteen tuottajia, ei ainoastaan lietteen maatalouskäyttöä. Lietteen tuottajaa koskevat jätteen tuottajan kirjanpitoa koskevat vaatimukset (20 §). Lisäksi jäteasetus sisältää erilliset vaatimukset yhdyskuntajätevesilietteiden kirjanpidosta ja valvontaviranomaiselle toimitettavista tiedoista (21 §), kuten lietteen määrä, lietteen esikäsittely taudinaiheuttajien ja kasvintuhoojien vähentämiseksi, määritetyt lietteen laatua kuvaavat ominaisuudet, hyödynnetyn tai loppukäsitellyn lietteen määrä ja hyödyntämis- tai loppukäsittelytapa sekä maanviljelykyttöön toimitetun lietteen määrä. (VNa 179/2012).

### **3.8.2 Lannoitevalmistelaki 539/2006**

Lannoitevalmistelaki edellyttää, että kaikilla lannoitevalmisteilla on hyväksytty tyyppinimi (6§). Puhdistamolietteistä voidaan valmistaa lannoitevalmisteita, joiden tyyppinimi kuuluu tyyppinimiluettelon luokkaan ”Orgaaniset maanparannusaineet” tai ”Maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet”. Lannoitevalmistelain määrittelyn mukaan sellaisenaan lannoitevalmisteena käytettävät sivutuotteet ovat lannoitevalmisteena käytettäviä teollisuus-, poltto- tai tuotantolaitosten, biokaasu- tai kompostilaitosten taikka muiden laitosten sekä jätevedenpuhdistamojen tai muun vastaavan toiminnan yhteydessä syntyviä tuotteita. (MMM:n 11/12; Lannoitevalmistelaki 539/2006).

Jäljempänä kuvatun MMM:n asetuksen 11/12 mukaan lannoitevalmistelain 539/2006 edellyttämää laitoshyväksyntää ei edellytetä näiltä maanparannusaineita sellaisenaan käytettäviä sivutuotteita valmistavilta jätevedenpuhdistuslaitoksilta, jotka siis käsittelevät puhdistamolietettä puhdistamon yhteydessä mm. kalkkistabiloimalla, kemiallisesti hapettamalla tai termofiilisesti mädättämällä. (MMM:n 11/12; Lannoitevalmistelaki 539/2006).

### **3.8.3 Asetus lannoitevalmisteista 24/11**

MMM:n asetus 24/11 ryhmittelee lannoitevalmisteet lannoitevalmistelain (539/2006) mukaisesti luokkiin sekä kansallisiin tyyppinimiryhmiin. Kansallisen tyyppinimiluettelon mukaan kalkkistabiloitu puhdistamoliete ja hygienisoitu meso- tai termofiilisen mädätyksen sivutuotteena syntynyt mädätysjäännös kuuluvat ryhmään 3A5 maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet. Asetus 24/11 säätelee myös tyyppinimiryhmään 3A5 kuuluvien lannoitevalmisteiden käyttöä peltoviljelyssä. Asetuksessa mainitaan mm., että sivutuotteen tulee olla hajoamisasteeltaan sellaisia, että se voidaan saattaa markkinoille ja eikä sivutuotteen käytöstä saa aiheutua toimintaympäristöhuomioiden häiritsevää hajuhaittaa. Asetuksessa mainitaan myös, ettei maanparannusaineessa saa olla haittaa aiheuttavia määriä pysyviä tai hajoavia, kasvien kasvulle haitallisia (fytotoksisia) aineita tai ympäristölle myrkyllisiä tai haitallisia aineita.

Asetuksessa on mainittu myös, että lannoitteiden käytössä on noudatettava myös Valtioneuvoston asetusta 931/2000, joka rajoittaa maataloudesta peräisin olevien nitraattien määrää. Valtioneuvoston asetuksessa 931/2000 säädetään myös typpilannoituksen käytön rajoituksista maataloudessa mm. levitysjankohdista. Asetuksen mukaan typpilannoitteen käytön enimmäismäärä on kokonaistyyppinä laskettuna 170 kg/ha/v. Maataloudessa viiden vuoden käyttöjaksona annettuna käytettävän analysoidun vesi- ja ammoniumsitraattiliukoisen fosforin määrä saa olla korkeintaan 400 kg/ha. (MMM 24/11).

#### **3.8.4 Asetus lannoitevalmisteista annetun asetuksen muuttamisesta 12/12**

Lannoitevalmisteista annetun Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muutoksen 12/12 (11a §) määräykset koskevat nimenomaan typpinimiryhmän 3A5 eli maanparannusaineena sellaisenaan käytettävien sivutuotteiden käyttöä maataloudessa. Asetukseen 12/12 on sisällytetty myös lietteen käyttöön liittyvät vaatimukset peltomaan raskasmetallipitoisuuksista ja niiden analysoinnista sekä varoaikaa ja soveltuvaa viljelymaata koskevat säädökset. Rajoitukset lietteen sisältämille raskasmetallin levitysmäärille on muutettu lyijyn ja elohopean osalta aikaisempaa alhaisemmiksi.

Puhdistamolietettä saa käyttää vain sellaisella viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta tai öljykasveja tai sellaisia kasveja, joita ei yleensä käytetä ihmisen ravinnoksi tuoreena, syömällä maanalainen osa tai eläinten rehuksi. Nurmelle jätevesilietettä saa levittää vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla huolellisesti. Yleisesti viljelymaalla, jolla on käytetty lannoitteena 3A5 typpiryhmään luokiteltua puhdistamolietevalmistettä, ei saa viiden vuoden varoikana viljellä perunaa, juureksia, vihanneksia eikä juuri- ja yrttimausteita. (MMM 12/12).

### **3.8.5 Asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 11/12**

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 11/12 (3 §) veloitetaan toiminnanharjoittaja pitämään tiedostoa puhdistamolietteen käsittelyprosessista taudinaiheuttajien ja kasvintuhoojien vähentämiseksi, käsitellyn lietteen käytöstä tehdyistä sopimuksista, käsitellyn lietteen vastaanottajista ja paikoista, joissa lietettä käytetään ja MMM:n asetuksen 12/12 mukaisesti määritellyistä viljelymaan laatua kuvaavista ominaisuuksista. (MMM 11/12).

### **3.8.6 Asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuista 503/2007**

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 503/2007 on määritelty rajat typpi- ja fosforilannoitteiden enimmäislevitysmäärille. Rajat lannoitteiden enimmäislevitysmäärille vaihtelevat lannoitetyypin, viljeltävän kasvin, maalajin, viljelyalueen, satotason ja pellon viljavuusluokan perusteella. Asetuksen 503/2007 perusteella fosforilannoitteen enimmäismäärä vaihtelee peltomaan viljavuusluokan ja niiden peltokasvien kohdalla, joilla puhdistamolietteen käyttö on sallittua 0 - 63 kg/ha/v. Typpilannoituksen enimmäismäärä vaihtelee peltokasvien (viljan, öljykasvien ja palkokasvien) kohdalla 20 - 120 kg/ha/v. Asetuksen perusteella lannoitemääriä laskettaessa lannoitevalmisteina liete-pohjaisten maanparannusaineiden kokonaisfosforista otetaan huomioon 40 % valmisteiden sisältämästä kokonaisfosforimäärästä. Lietteen levitysmäärä valitaan sen sisältämien ravinteiden tai raskasmetallipitoisuuksien perusteella, valitsemalla pienin levitysmäärä hehtaaria kohti. Typpi- ja fosforilannoituksessa noudatetaan viiden vuoden tasausjaksoa. (MMM 503/2007)

Puhdistamolietettä voidaan käyttää lannoitteena myös tiettyjen peltokasvien lisäksi muiden kasvien kuten mm. nurmien perustamisessa. Näiden kasvien kohdalla voidaan sallia suurempia typpi- ja fosforilannoitusmääriä. Typpi- ja fosforilannoituksen enimmäismäärä on kuitenkin rajoitettu kokonaistypin määrään 170 kg/ha/v (VNa 931/2000, 2000) ja vesi- ja ammoniumsitraattiliukoisen fosforin määrä saa olla korkeintaan viiden vuoden käyttöjaksona 400 kg/ha (MMM 24/11).

### **3.9 Puhdistamolietteen soveltuvuus lannoitteeksi**

Vuosittain Suomessa muodostuu jätevesilietettä arviolta noin 150 000 (TS) tonnia ja siitä vain 10 % menee maatalouskäyttöön. Suurin osa syntyvästä puhdistamolietteestä käytetään kompostoituna viherrakentamiseen (50 %) ja loput maisemointiin tai sijoitetaan kaatopaikoille. (Kapuinen, 2008).

Ympäristöministeriössä on valmisteilla asetus, jolla kaatopaikolle sijoitettavan jätteen orgaanisen aineen määrää tullaan rajoittaman. Orgaanisen aineen kaatopaikkakiellon on tarkoitus tulla voimaan vuoden 2016 alussa. (Pfister, 2012) Tämä tarkoittaa sitä, ettei jätevedenpuhdistamoilla syntyvää puhdistamolietettä saa toimittaa kaatopaikolle. Myös puhdistamolietteen käyttö kaatopaikkojen pintaverhoilussa tulee vähentymään, kun vuoden 2007 EU:n kaatopaikkadirektiivin mukaisesti vanhat kaatopaikat on suljettu ja niiden pintaverhoilu saadaan päätökseen (Neuvoston direktiivi 1999/31/EY).

Jos puhdistamolietteen maatalouskäyttöä ei saada lisättyä, voi lietteen poltto yleistyä. Lietteen poltto on kustannuksiltaan kallista verrattuna muihin hyödyntämismenetelmiin ja lietteen lämpöarvo on vähäinen. Lietteen poltossa syntyvää tuhkaa ei ole määritelty lannoiteasetuksen tyyppinimiluettelossa. Poltossa syntyvää tuhkaa ei voida käyttää näin lannoitevalmisteena eikä maanparannusaineena. (MMM 24/11) Lietetuhka tulee käsitellä stabiiliksi, sijoittaa kaatopaikalle tai jätteenkäsittelylaitokseen. Lietteen poltosta syntyvää tuhkaa luokitellaan nykyisen jätelain perusteella vaaralliseksi jätteeksi (VNa 179/2012). Lietteenpoltosta syntyvää tuhkaa on kuitenkin käytetty Hollannissa lannoiteteollisuuden fosforimalmina. Lietetuhkan sisältämä rauta haittaa fosforin hyödyntämistä malmina ja lisää huomattavasti talteenoton kustannuksia. Jos fosfori saostettaisiin jätevedestä kalkin avulla, olisi lietetuhkan hyödyntäminen helpompaa. Fosforiraaka-aineiden vähentyminen ja hinnan kallistuminen kuitenkin lisäävät lietteen kiinnostavuutta lannoitteiden valmistuksessa. (Schipper;ym.).

### 3.9.1 Lietteen ravinteiden käyttökelpoisuus kasveille

Nykyisessä jätevesien puhdistusprosessissa ravinteet typpi ja fosfori muuttuvat kasveille epäedulliseen muotoon. Yleensä peltoviljelyssä kasvua rajoittavana tekijänä on typpi ja liukoisen typen osuus puhdistamolietteestä on vähäinen. Lietetuotteilla on merkittävä fosforilannoitusvaikutus, mutta vain harvoilla tiloilla on kuitenkaan merkittävää fosforilannoitustarvetta. Lietetuotteilla on maataloudessa myös ravinteiden lisäksi maanparannusvaikutusta, mutta lietetuotteiden kiinnostavuus olisi yleisesti parempi, jos liukoisen typen osuus lietteessä olisi suurempi. Suurin maataloudessa lietetuotteiden levitysmäärää rajoittava tekijä on lietteen fosforipitoisuus. (Kapuinen, 2008).

Puhdistamolietteen hyödyntämiseen maataloudessa vaikuttaa lannoitusmäärien perusteella maksettavat ympäristötuet. Ympäristötuen maksaminen viljelijälle edellyttää fosforin enimmäislannoitusmäärien ja lisätoimenpiteiden noudattamista. Fosforin enimmäislannoitusmäärät ympäristötuesta perustuvat peltolohkon fosforitilaan, joka määritetään viljavuustutkimuksella. (Maaseutuvirasto, 2009).

Lietetuotteiden käyttö maanviljelyssä lisää peltomaan ravinnepitoisuutta. Kalkki parantaa yleisesti maaperän ravintoaineiden käyttökelpoisuutta kasveille. Kalkin aiheuttama pH:n nousu vapauttaa maassa jo ennestään olevaa fosforia liukoiseen muotoon. Kalkki muodostaa fosfaattien kanssa kalsiumfosfaatteja, jotka ovat kasveille käyttökelpoisia nopeasti muodostumisen jälkeen. Kuivatun puhdistamolietteen kalkkistabilointi voi myös hidastaa lietteen sisältämän fosforin saatavuutta kasveille. Kalkki voi muodostaa maaperässä myös kalsiumkarbonaattia, joka sitoo fosforia (sorptio) eikä fosfori ole näin kasvien käytettävissä. Kalkkistabilointi voi vähentää fosforin liukoisuutta muodostaen korkeassa pH:ssa raskasmetallien kanssa hyvin pysyviä yhdisteitä, toisaalta tämä vähentää myös kasvien kykyä sitoa maaperän raskasmetalleja. Yleisesti lietepohjaiset tuotteet vapauttavat liukoista fosforia väkilannoitteita hitaammin ja lannoitevaikutus on näin tasaisempaa. (Seyhan ja Erdinler, 2003).

Jätevesilietteen sisältämästä fosforista vain osa on kasveille käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa. Maahan lisätty fosfori voi lyhyessä ajassa muuntua kasveille käyttökelvottomaan muotoon tai muuntua vähitellen käyttökelpoiseksi (Seyhan ja Erdinler, 2003). Kirjallisuuden mukaan kemiallisesti saostetun puhdistamolietteen fosforin käyttökelpoisuus kasveille vaihteli muutamasta prosentista 20 %:iin kokonaisfosforista (Kapuinen, 2008; Nykänen-Kurki;ym., 2001 s. 30). Nykyinen ympäristötukijärjestelmä rajoittaa lietetuotteiden käyttöä merkittävästi, koska tukijärjestelmä olettaa lietetuotteiden kokonaisfosforista 40 %:n olevan kasveille käyttökelpoista (Maaseutuvirasto, 2009). Koska todellinen lietetuotteiden liukoisen fosforin osuus on yleensä arviota pienempi, jää fosforin osalta lannoitusvaikutus pienemmäksi. Lietteen kalkkistabiloinnin käytön kohdalla on myös viitteitä siitä, että menetelmä lisäisi fosforin liukoisuutta jopa 50 - 90 %:iin kokonaisfosforista ja lisäisi näin huomattavasti fosforin käytettävyyttä kasveille. (Kapuinen, 2008).

### **3.9.2 Lietteen maanparannusvaikutus**

Puhdistamolietteellä on myös runsaan orgaanisen aineksen takia peltomaata rakenteellisesti parantavia ominaisuuksia. Puhdistamolietteen sisältämästä kuiva-aineesta noin 50 % on orgaanista ainetta. Puhdistamolietteen käyttö parantaa maan mururakennetta ja tekee maasta kuohkeaa ja helpommin muokattava. Orgaanisen aineksen (humuksen) lisäyksen johdosta maan ravinteiden ja veden pidätyskyky paranee sekä pieneliötoiminta vilkastuu. Riittävä humuspitoisuus on välttämätön maaperän normaalille toiminnalle. Tehokas maan viljelykäyttö ja pelkkien väkilannoitteiden käyttö saattaa vähitellen kuluttaa maaperän sisältämää orgaanista ainetta. Puhdistamolietteen humuksen satoa parantavan vaikutuksen on arvioitu olevan yhtä suuri kuin muilla orgaanisilla lannoitteilla kuten esimerkiksi karjanlannalla, mutta vaikutus on kuitenkin pitempiaikaisempi. Lietteen mädätys vähentää orgaanisen aineksen määrää lietteessä ja pienentää näin puhdistamolietteen maanparannusvaikutusta. (Vihersaari, 2002).

### 3.9.3 Lietteen sisältämät raskasmetallit ja muut haitta-aineet

Nykyisin puhdistamolietteen sisältämät raskasmetallit eivät ole lietteen hyödyntämistä haittaava ongelma. Raskasmetallien päätymistä kunnallisille jäteveden puhdistamoille on onnistuttu vähentämään puuttamalla yhdyskuntapuhdistamoille viemäroittävien teollisuuden jätevesien laatuun.

MMM:n asetuksen 12/12 mukaan puhdistamolietettä saa käyttää maataloudessa lannoitteena vain, jos lietteen käytöstä aiheutuva haitallisten metallien kuormitus ei ylitä alla (Taulukko 3) esitettyjä vuotuisia enimmäiskuormituksia. Puhdistamolietteen leviytykseen vaikuttaa myös viljelymaan sisältämät raskasmetallien pitoisuudet. (MMM:n 12/12).

*Taulukko 3 Puhdistamolietteen käytöstä aiheutuva suurin sallittu vuotuinen haitallisten metallien määrä.*

Alkuaine	g/ha
Elohopea (Hg)	1,0
Kadmium (Cd)	1,5
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	600
Lyijy (Pb)	100
Nikkeli (Ni)	100
Sinkki (Zn)	1500

Kalkkituotteet sisältävät luonnostaan pieniä pitoisuuksia raskasmetalleja. Kalkkituotteiden raskasmetallipitoisuudet ovat puhdistamolietteeeseen ja sallittuihin raskasmetallipitoisuuksiin nähden hyvin pieniä. Kalkin lisäys puhdistamolietteeeseen ei merkitsevästi lisää maaperän raskasmetallipitoisuutta. (Liite 1 ja 2 sammutetun ja poltetun kalkin tuotekortit).

Puhdistamoliete sisältää raskasmetallien lisäksi myös ympäristön ja terveyden kannalta muita orgaanisia haitallisia aineita. Tutkimuksissa on todettu puhdistamolietteen sisältävän mm. palonestoaineita ja perfluorattuja yhdisteitä. Useista orgaanisista haitta-aineista on vain vähän tietoa ja tästä syystä puhdistamolietteen soveltuvuudesta lannoitteeksi kiistellään. (Nikunen, 2010).

### 3.9.4 Lietteen hygieenisuus

Jätevesi ja puhdistamoliete sisältävät taudinaiheuttajia ja kasvintuhoojia, jotka voivat aiheuttaa virus-, bakteri tai loistauteja. Käsittelemätön puhdistamoliete sisältää ulosteperäisiä bakteereja kuten mm. *E. coli* ja *Salmonella*. Lietteen mesofiilinen mädätys pienentää jonkin verran näitä taudinaiheuttajia, mutta ei poista niitä kokonaan.

Lannoitevalmistelain mukaan lietevalmisten tulee hygienisoida tyyppinimen mukaan vaaditulla menetelmällä, esim. kompostoimalla tai kalkkistabiloinnilla. Lannoitevalmistasetuksessa on lueteltu sallittujen taudinaiheuttajien enimmäismäärät (*Taulukko 4*). Hygienisointivaatimuksista huolimatta puhdistamolietettä sisältävien tuotteiden levityksen mukana tulee myös rajoituksia pellon maatalouskäyttöön. Lannoiteasetuksen mukaisien puhdistamolietettä sisältävien tuotteiden levitysjankohdasta pellon käyttöä rajoitetaan maksimissaan viisi vuotta riippuen tuotteen tyyppinimestä. (MMM 24/11).

*Taulukko 4 Lannoitevalmisteissa sallitut taudinaiheuttajien/indikaattorieliöiden enimmäismäärät.*

<b>Taudinaiheuttaja/ indikaattori</b>	<b>Enimmäismäärä</b>
<i>Salmonella</i>	Ei todettavissa 25 grammassa näytettä
<i>Escherichia coli</i>	1000 pmy/g ja alle 100 pmy/g ammattimaiseen kasvihuoneviljelyyn tarkoitetuissa kasvualustoissa, joissa syötävät kasvinosat ovat suoraan kosketuksessa kasvualustaan
Juuripoltesieni (mm. <i>Fusarium</i> ; todettu viljelytestillä)	Ei todettavissa taimituotannossa käytetyissä kasvualustoissa

### **3.9.5 Lietteen maatalouskäytön muita rajoituksia**

Rajoitukset lannoitteiden levitysajankohdasta aiheuttavat haasteita myös puhdistamolietteen käytölle maataloudessa lannoitteena (VNa 931/2000, 2000). Puhdistamolietteen välivarastointi lannoitusajankohtien välillä vaatii runsaasti tilaa. Jos kyse on lietettä sisältävästä myytävästä tuotteesta, tulee välivarastoinnissa varmistaa puhdistamolietteen hygieenisyyden säilyminen. Kompostoidun puhdistamolietteen kenttäsäilytyksessä on olemassa riski eläinten mm. lintujen ja niiden ulosteiden sisältämien bakteerien leviämisestä.

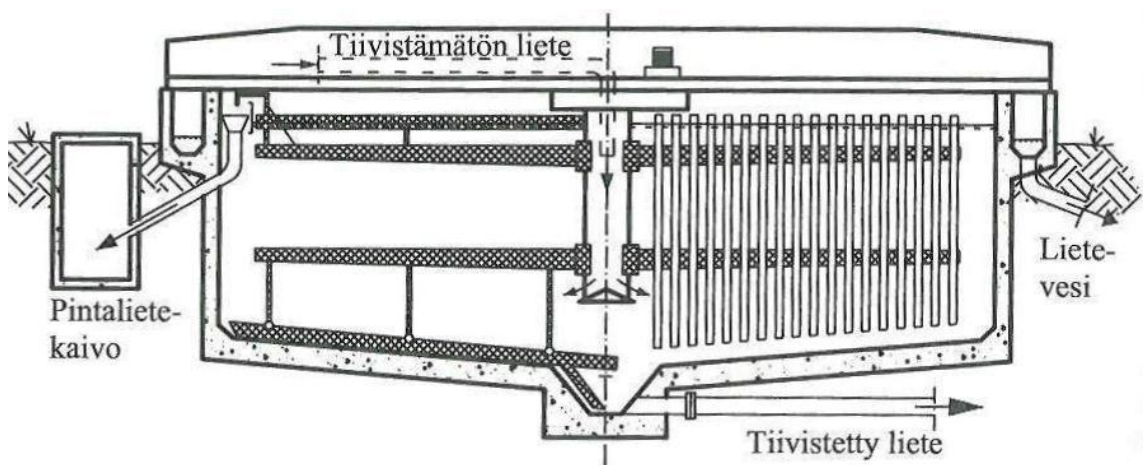
Valtakunnallisesti suurin osa puhdistamolietteestä syntyy suurten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla ja lietteen pitkät kuljetusmatkat lisäävät kustannuksia. Puhdistamolietettä on taloudellista kuljettaa tällä hetkellä maanviljelyskäyttöön noin 50 km säteellä puhdistamolta. Lietetuotteilla tulee saavuttaa ravinteiden, ainakin fosforin, osalta lannoitevaikutusta, koska pelkkä maanparannusvaikutus ei ole taloudellisesti riittävä syy lietetuotteiden käytölle maataloudessa. (Kapuinen, 2008).

### 3.10 Lietteen tiivistys ja laskeutuvuus

#### 3.10.1 Lietteen gravitaatiotiivistys

Gravitaatiotiivistimet voivat olla panos tai jatkuvatoimisia (Kuva 7). Jatkuvatoimiset gravitaatiotiivistimet ovat yleensä pyöreitä altaita, jotka on varustettu hitaasti pyörivällä hämmentimellä. Gravitaatiotiivistyksessä lietteen annetaan tiivistyä painovoimaisesti altaan pohjalle. Tiivistämö on usein varustettu veden erottumista parantavilla pystysuorilla säleillä ja tiivistynyttä lietettä ohjaavalla pohjalaahaimella. Tiivistämön yläosasta poistetaan syntyvää rejektiä ja pohjalta tiivistynyttä lietettä. (RIL 124-2, 2004 s. 562).

Jatkuvatoimisessa gravitaatiotiivistimessä lietteen viipymän tulee olla pienempi kuin 12 tuntia ja tiivistimet mitoitetaan hydrauliselle pintakuormalle noin 0,2 - 0,5 m/h. Jatkuvatoimisen tiivistimen mitoitustapana käytetään myös kuiva-ainekuormaa, joka vaihtelee lietteen tyyppin mukaan. Kemialliselle lietteelle käytettävä kuiva-ainekuorma on 80 - 150 kg TS/m<sup>2</sup> päivässä. Lietteen gravitaatiotiivistyksessä saavutettu kiintoainepitoisuus lietteelle on noin 3 - 9 %. Lietteen tiivistyksessä kalkin lisäyksellä voidaan parantaa lietteen tiivistymistä. Lietteen tiivistymiseen vaikuttaa käytetyn kalkin määrä ja mahdollisesti samanaikaisesti muut käytetyt kemikaalit, kuten polymeerit. Aina lisätessä puhdistamolietteeseen kalkkia tai muita saostuskemikaaleja syntyvän lietteen määrä kasvaa. (EuLA, 2012; RIL 124-2, 2004 s. 562).

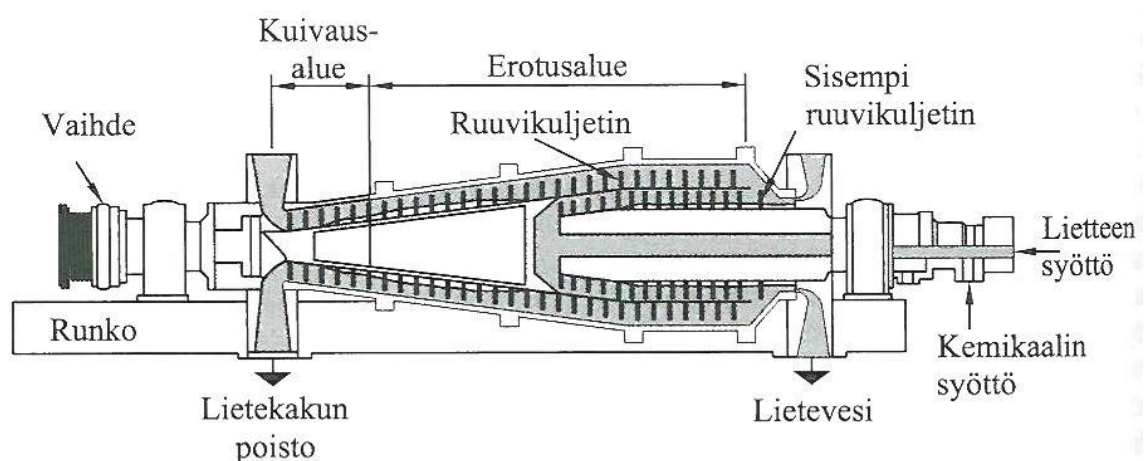


Kuva 7 Gravitaatiotiivistin (RIL 124-2, 2004 s. 562).

### 3.10.2 Lietteen mekaaninen kuivaus

Lietteen mekaaninen kuivaus voidaan suorittaa useilla eri tavoilla. Yleisesti käytettäviä laitteistoja lietteen mekaaniseen kuivaukseen ovat mm. Euroopassa yleisesti käytetty suotonauhapuristin sekä Suomessa lietelinko (Kuva 8). Linkokuivaus on, tiivistetyn kuiva-ainepitoisuudeltaan noin 1 - 8 %:n lietteen, mekaanista kuivausta lietelingoilla kuiva-ainepitoisuuteen 20 - 30 %. Kuivaus vähentää merkittävästi lietteen tilavuutta ja siten muualle kuljetettavan lietteen määrää. (Tchobanoglous ja Burton, 1991).

Lietteen mekaanisessa kuivauksessa voidaan käyttää apuaineita mm. polymeeriä tai kalkkia. Lietteen kunnostus kalkilla parantaa lietteen rakennetta ja helpottaa sen käsiteltävyyttä. Lietteen kuivausta voidaan tehostaa annostelemalla apuaineita tiivistämöön tai ennen lietteen syöttöä mekaaniseen kuivaukseen. Kalkin lisäys lietteeseen rikkoo lietteen mikro-organismeja ympäröivän hyytelömäisen rakenteen, jolloin veden erottuminen lietteestä paranee. Kalkilla käsitelty liete on kirjallisuuden mukaan mekaanisesti helpommin kuivattavaa ja lietteen kuivaukseen kuluva aika on lyhyempi. Lietteen mekaanisessa kuivauksessa käytettävä kalkin annostus on noin 20 - 30 % lietteen kuiva-ainepitoisuudesta (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 850). (Nordkalk Oy, 2012a; EuLA, 2012).



Kuva 8 Lietelinko (RIL 124-2, 2004 s. 568).

## 4 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät

### 4.1 Näytteet

Tutkittavat näytteet oli otettu kolmelta suomalaiselta yhdyskuntajätevedenpuhdistamolta mädätetyn puhdistamolietteen tiivistyksestä poistuvasta jakeesta (Kuva 9) sekä mädätetyn puhdistamolietteen linkokuivauksessa syntyvästä rejektivedestä. Rejektivesinäytteet on merkitty tulosaineistossa seuraavasti: R01, RA1, R02 ja RA2 sekä rautakemikaalilla erilliskäsitellyt rejektivesinäytteet R03 (PIX) ja RA3 (PIX). Lietenäytteet on merkitty tulosaineistossa seuraavasti: L01, LA2, L02 ja LA2 sekä kalsiumoksidilla saostetut lietenäytteet LB1 ja LB2. Merkinnän ensimmäinen kirjain R tai L kertoo onko kyseessä rejektivesi tai lietenäyte. Seuraava merkintä: 0, A, tai B kertoo onko kyseessä nollanäyte (0), kalsiumhydroksidilla saostettu (A) tai kalsiumoksidilla saostettu (B) näyte. Viimeinen numero 1, 2 tai 3 erottelee näytteenottokerran jätevedenpuhdistamolta.



Kuva 9 Mädätetyn lietteen näytteenotto lietepumpulta Suomenojan jätevedenpuhdistamolla. Näyte otettiin oikeanpuoleisen lietepumpun näytteenottoletkusta. (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).

Suomenojan jätevedenpuhdistamolta rejektivettä haettiin 28.2.2012 (R01 ja RA1) ja mädätettyä lietettä 5.3.2012 (L01, LA1 ja LB1). Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamolta haettiin rejektivettä (R01 ja RA1) ja mädätettyä lietettä (L01, LA1 ja LB1) 3.5.2012. Kariniemen jätevedenpuhdistamolta rejektivettä haettiin 19.4.2012 (R03 ja RA3), 3.5.2012 (R01 ja RA1) ja 12.6.2012 (R02 ja RA2) sekä mädätettyä lietettä 19.4.2012 (L01, LA1 ja LB1) ja 3.5.2012 (L02, LA2 ja LB2).

Jätevedenpuhdistamoilta näytteet otettiin suljettaviin 10 litran muovisiin kanistereihin. Näytteet kuljetettiin autolla ja toimitettiin Aalto-yliopiston vesilaboratorioon muutamman tunnin sisällä näytteenotosta. Näytteitä säilytettiin yön yli jääkaapissa viiden asteen lämpötilassa. Saostuskokeet tehtiin seuraavana päivänä näytteenotosta ja näytekannisterit otettiin huoneenlämpöön muutamaa tuntia ennen kokeiden tekemistä. Ennen näytteiden jakamista pienempiin osiin kanisteria sekoitettiin näytteen homogeenisuuden varmistamiseksi.

#### 4.1.1 Puhdistamoiden rejekti- ja lietenäytteiden erot

Tässä työssä analysoidut lietenäytteet otettiin jätevedenpuhdistamoilta mädättämöstä tulevasta lietteestä ennen mahdollista jälkiselkeytystä. Rejektiväsinäytteet otettiin lietteen kuivauksen yhteydessä syntyvästä linkorejektistä (Kuva 10).



*Kuva 10 Linkorejektin näytteenotto lietelingolta Suomenojan jätevedenpuhdistamolla (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).*

Koostumukseltaan eri laitoksilta otetut rejekti- ja lietenäytteet erosivat ravinnepitoisuuksiltaan paljon toisistaan. Kariniemen puhdistamon näytteet olivat selvästi erilaisia. Kariniemen laitoksen näytteiden korkea pH, fosfaattipitoisuus, alkaliteetti ja kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Cr}$ ) johtuivat mädättämöön syötetystä teollisuuden jätevesijäkeestä. Suomenojan puhdistamolla rejektiveden ja lietteen kokonaisfosforipitoisuus oli verraten korkea. Lietenäytteiden kuiva-ainepitoisuudet olivat kaikissa puhdistamoissa alhaisia noin 2 - 3 %. Taulukossa 5 on esitetty laitoksilta otettujen rejekti- ja lietenäytteiden tuloksien keskiarvot kaikilta näytteenotto-kerroilta ( $n = 1 - 2$ ). Taulukossa ei ole esitetty Kariniemen jätevedenpuhdistamon rautakemikaalilla erilliskäsiteltyä rejektivettä.

Taulukko 5 Rejktivesi- ja lietenäytteiden tuloksia.

	Kuiva- aine [%]	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg/l P]	Kok-P [mg/l P]	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l N]	Alkaliteetti [mmol/l]	COD <sub>Cr</sub> [mg/l]
<b>Rejktivesi</b>							
<b>Suomenoja</b>	0,6	7,6	0,5	92	700	59	860
<b>Kariniemi</b>	0,8	8,4	21,7	33	1130	165	2690
<b>Ali-Juhakkala</b>	0,2	7,9	0,7	17	890	74	720
<b>Mädätetty liete</b>							
<b>Suomenoja</b>	2,7	7,3	3,1	812	780	66	1730
<b>Kariniemi</b>	2,9	8,1	42,7	601	1210	192	4110
<b>Ali-Juhakkala</b>	2,0	7,6	5,4	586	1040	84	2020

Laitoksilta otetut lietenäytteet erosivat toisistaan myös visuaalisesti. Suomenojan lietenäyte oli koostumukseltaan selvästi erilaista kuin Lahden puhdistamoiden lietenäytteet. Suomenojan puhdistamon lietenäytteessä oli paakkuja ja mm. hiuksia. Lahden puhdistamoiden lietenäytteet olivat tasalaatuisempia. Kaikkien puhdistamoiden lietenäytteiden haju oli suhteellisen mieta.

## **4.2 Laitteet**

### **4.2.1 Näytteenottopipetit**

Analyseissa lietenäytteet otettiin käyttäen mekaanisia säädettäviä Finnipipettejä. Lietenäytteet ovat koostumukseltaan epähomogeenisiä ja ongelmana lietenäytteiden pipetoinnissa oli muovisten pipetin kärkien ajoittainen tukkeutuminen. Lietteiden pipetoinnissa käytettiin pipetin kärkiä, joista oli katkaistu saksilla muutama milli kärkeä pois. Muokkauksen johdosta pipetin kärjen suuaukko oli suurempi ja näin suuaukon tukkeutuminen saatiin vähenemään. Pipetin kärkien leikkaaminen saattaa vaikuttaa pipetoidun tilavuuden kautta hieman analyysien tarkkuuteen, mutta kuitenkin vähemmän kuin koko suuaukon tukkeutuminen. Kiintoainemäärittelyksissä käytettiin lasisia mittapipettejä, joiden suuaukko oli halkaisijaltaan noin 5 - 6 mm.

### **4.2.2 Sekoittimet**

Saostuskokeissa käytettiin sarjasekoitinta Kemira Flocculator 2000. Sarjasekoittimessa sekoitusnopeutta voitiin säätää vain kahteen eri nopeuteen pikasekoitukselle noin kierrosnopeuteen 400 RPM ja nopealle hämmennykselle noin kierrosnopeuteen 90 RPM.

### **4.2.3 Sentrifugi**

Liete- ja rejektivesinäytteiden esikäsitelyssä käytettiin Jouan MR18-12 sentrifugia, jolla näytteen kiintoaine saatiin keskipakovoiman avulla laskeutumaan näyteputken pohjalle.

### **4.2.4 Vaa'at**

Kalkin annostukseen käytettiin Sartorius analytic analyysivaakaa. Kuiva-aine ja kiintoainemäärittelyksissä upokkaiden ja suodatinpapereiden punnitukseen käytettiin Mettler Toledo XS204 analyysivaakaa.

#### **4.2.5 pH-mittari**

pH-mittaukseen käytettiin Orionin pH-mittaria, jossa oli Radiometerin pH-elektrodi sekä erillinen lämpötila-anturi. Alkaliteettimäärityksessä käytettiin WTW InoLab pH 720 pH-mittaria, jossa oli yhdistelmäanturi WTW SenTix 41.

#### **4.2.6 FIA**

FIA eli jatkuvavirtausinjektioanalyysointia käytettiin kokonaisfosfori-, fosfaattifosfori- ja ammoniumtyppimäärityksiin. Kokonaisfosfori ja fosfaattifosfori määritettiin käyttäen Foss:n FIA -analyysointia FIAstar 5000 Analyzer. Ammoniumtyppi määritettiin käyttäen Foss:n FIA -analyysointia Tecator 5012 Analyzer, 5042 Detector. FIA -määritykset tehtiin Aalto-yliopiston vesilaboratorion henkilökunnan toimesta.

FIA -tekniikassa näyte mitataan spektrofotometrisesti. Näyte syötetään injektioventtiilin kautta jatkuvasti virtaavaan kantajaliuokseen. Tämän jälkeen näyte-kantajaliuokseen lisätään jatkuvasti virtaavat mittausreagenssit. Näyte reagensseineen virtaa fotometrisen läpivirtauskyvetillä varustetun detektorin läpi, jolloin näytteen absorbanssi mitataan käyttäen määritykseen sopivaa aallonpituutta. Näytteen ja reagenssien välisen värinmuodostuksen aiheuttaman valon absorptioon perusteella voidaan määrittää tietyn aineen pitoisuus näytteessä.

#### **4.2.7 Lämpökaappi**

Kuiva- ja kiintoainemäärityksissä näytteiden kuivaamiseen 105 asteessa käytettiin Termaks lämpökaappia.

### 4.3 Käytetyt kalkkituotteet

Analyseissa käytettiin Nordkalk Oy:n valmistamia kalkkituotteita (Kuva 11). Sammutettu kalkki  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  oli valmistettu suomalaisesta kalkkikivestä (Liite 1 tuotekortti) ja poltettu kalkki  $\text{CaO}$  oli valmistettu suomalaisesta kalkkikivestä (Liite 2 tuotekortti).

Molemmat käytetyt kalkkituotteet ovat syövyttäviä vahvoja emäksiä, joten aineiden käytössä tulee noudattaa varovaisuutta. Kalsiumoksidi reagoi voimakkaasti veden kanssa ja saattaa näin aiheuttaa roiskumisvaaran. Kalkkituotteet voivat aiheuttaa kemiallisia palovammoja ja ärsytystä joutuessaan iholle, hengitysteihin tai silmiin. Kalkkituotteet pölyävät helposti ja kalkkipölyn leviämistä tulee käytön yhteydessä rajoittaa. Pölyltä tulee suojautua myös henkilösuojaimin. Kalkkituotteiden käytön yhteydessä tulee käyttää P2-tyyppin pölynsuodattimella varustettua hengityssuojainta, tiiviitä suojalaseja, pitkähihaista suojavaatetusta sekä sopivia suojakäsineitä (esim. nitrilikumi). (Käyttöturvallisuustiedotteet: kalsiumhydroksidi ja kalsiumoksidi, 2011).



Kuva 11 Louhittua kalkkikiveä Lohjalla Tytyrissä Nordkalk Oy:n pihalla (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).

## **4.4 Koejärjestelyt**

Kokeet toteutettiin kahdessa vaiheessa, ensin suoritettiin esikokeita Suomenojan jätevedenpuhdistamon rejektille ja mädätetylle lietteelle. Toisessa vaiheessa toteutettiin varsinaiset saostuskokeet Suomenojan jätevedenpuhdistamon sekä myös Lahden Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamoiden rejektivesille ja mädätetyille lietteille. Kokeet tehtiin vetokaapissa, koska pH:n nousu vapauttaa näytteissä olevaa ammoniumtyyppiä kaasumaisena ammoniakkinä.

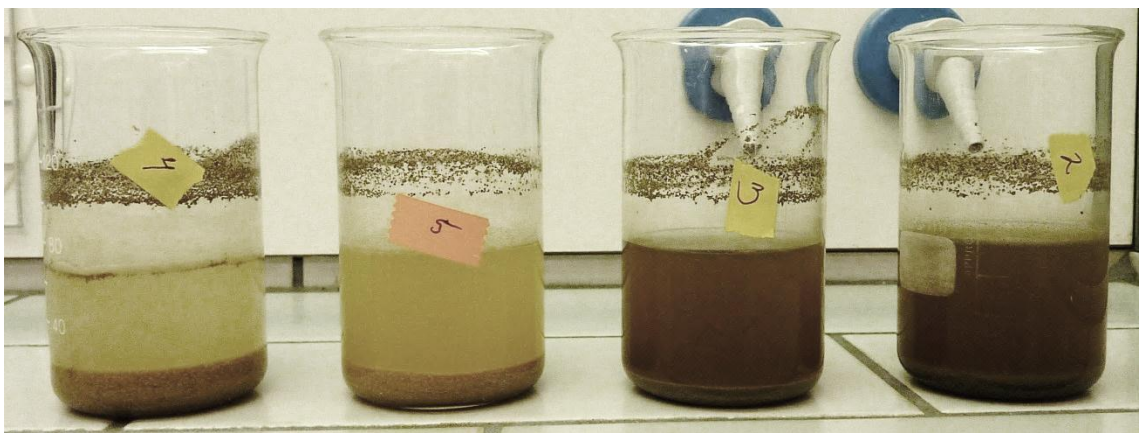
### **4.4.1 Esikokeet**

Esikokeissa selvitettiin kalsiumhydroksidin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ja kalsiumoksidin  $\text{CaO}$  annostuksen vaikutusta pH:n nousuun ja haettiin oikeaa annostusta (*Kuva 12*). Esikokeiden tarkoituksena oli myös testata saostuskokeiden koejärjestelyjä ja valittuja analyysimenetelmiä. Esikokeet tehtiin Suomenojan jätevedenpuhdistamon rejektivedellä 28.2.2012 ja mädätetyllä lietteellä 5.3.2012.

Työssä käytetyt kalkkituotteiden annokset valittiin siten, että lietteellä ja rejektillä saavutetaan vähintään pH 9 fosfaatin saostamiseksi. Kalkkiannoksen ei kuitenkaan tulisi ylittää kuivatun lietteen kalkkistabiloinnissa yleisesti käytettyä annosta suhteessa lietteen kuiva-aineeseen. Kalkkituotteiden annostuksen yhteydessä tuli myös varmistaa jäteveden ja kalkin hyvä kontaktoituminen tehokkaalla sekoituksella.

Esikokeissa ilmeni, että monen analyysin kohdalla tarvittava standardin mukainen esikäsittelymenetelmä, suodattaminen Whatman 0,45  $\mu\text{m}$ :n kalvon läpi, oli rejektivesille ja varsinkin lietteille hyvin hidasta. Vesi-imulla 0,45  $\mu\text{m}$ :n kalvon läpi tuli puolessa tunnissa vain 15 ml, vaikka suodatinkalvoa vaihdettiin suodatuksen aikana useita kertoja. Suodattamisen hitaudesta johtuen analyysiin tarvittavaa näytemäärää oli vaikea saada.

Esikokeiden analyysitulosten perusteella voitiin todeta myös, ettei työssä käytettyjen standardien mukaan tehtyjä fosforituloksia, jossa näyte oli suodatettu 0,45 µm:n kalvon läpi, pystytä vertaamaan jätevedenpuhdistamon omiin analyysituloksiin. Suomenojan jätevedenpuhdistamolla analyysit tehdään suodatuksen kohdalla poiketen standardeista eli suodatus tapahtuu Whatman GF/A -lasikuitusuodattimella. Näistä syistä esikokeiden perusteella varsinaisissa saostuskokeissa päädyttiin käyttämään suodatuksen kohdalla standardista poikkeavia analysointimenetelmiä ja suodattamaan kaikki näytteet Whatman GF/A -lasikuitusuodattimella.



*Kuva 12 Suomenojan jätevedenpuhdistamon rejektiveden pH:n säätökokeet (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).*

#### **4.4.2 Saostuskokeet**

Saostuskokeet tehtiin sarjasekoittimilla (Kuva 13). Sekoittimen dekantterilasiin mitattiin mittalasilla yksi litra huoneenlämpöistä sekoitettua näytettä ja sekaan kaadettiin tunnettu määrä kalkkia. Sekoittimet käynnistettiin kalkin sekoittumisen ja kontaktoinnin varmistamiseksi ensin pikasekoitukselle noin 60 minuutiksi. 30 minuutin kohdalla näytteestä mitattiin pH. Jos näytteen pH ei ollut noussut lähelle pH 9, niin näyteastiaan lisättiin kalkkia gramman annoksina. 60 minuuttia viimeisen kalkkilisäyksen jälkeen näytteiden pH vielä tarkistettiin ja sekoittimien pyörimisnopeutta hidastettiin nopealle hämmennykselle. Hämmennystä jatkettiin noin kaksi tuntia. Hämmennyksen aikana sekoitusastioiden pohjalle alkoi muodostua saostumaa.

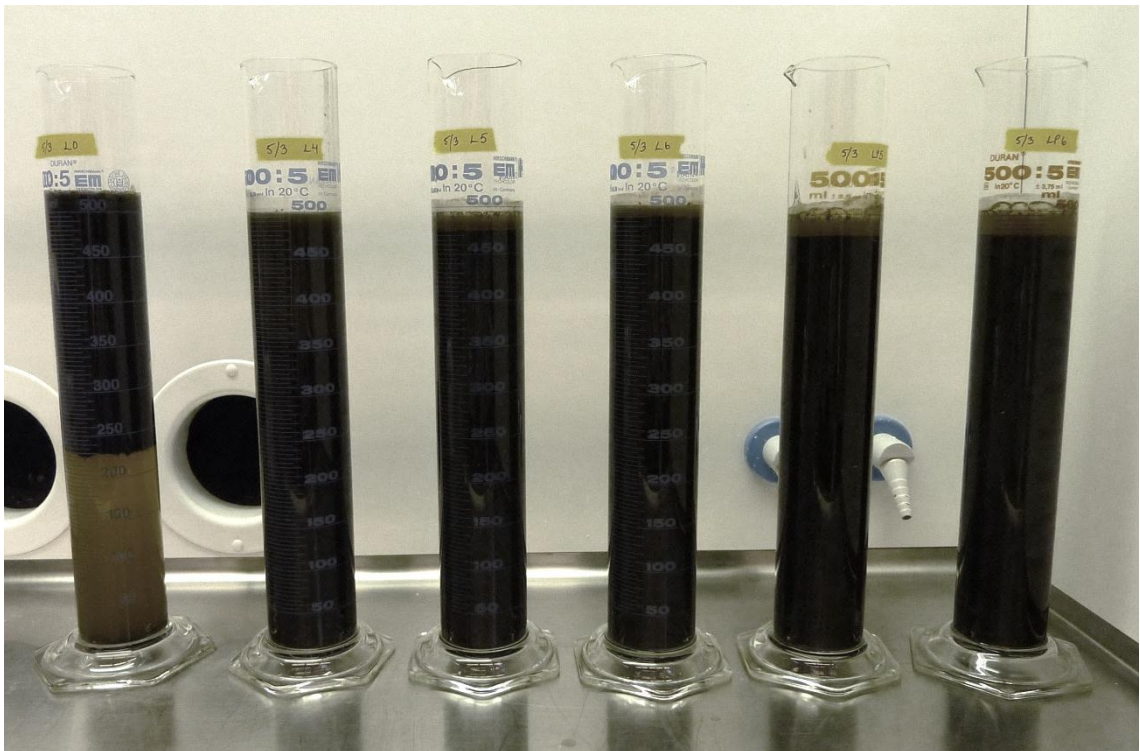
Hämmennyksen jälkeen sekoitusastioista otettiin kolmenlaisia näytteitä 100 ml:n muovisiin näytepulloihin: käsittelemättömät näytteet suoraan sekoitusastioista, sentrifugoidut näytteet sekä sentrifugoidut ja suodatetut näytteet. Nollanäytteet, joihin ei lisätty kalkkia, esikäteltiin kuten saostuskokeiden näytteet. Näytepullot otettiin täyteen tai ylimääräinen ilma puristettiin pois pullosta. Näytepulloja säilytettiin analysointia varten jääkaapissa (5 °C). Suurimmaksi osaksi näytteiden analysointi pyrittiin tekemään seuraavan kahden vuorokauden kuluessa saostuskokeista.



*Kuva 13 Työssä käytetyt sarjasekoittimet (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).*

#### 4.4.3 Laskeutuskokeet

Hämmennyksen jälkeen sekoitusastioista kaadettiin näytettä selkeytymään 500 ml:n mittalasiin. Nollanäytteet, joihin ei lisätty kalkkia, kaadettiin mittalaseihin suoraan näyttekanistereista. Mittalasiin annettiin seistä vetokaapissa vuorokauden. Vuorokauden kuluttua näytteiden laskeutuvuutta arvioitiin visuaalisesti mm. faasirajojen perusteella (Kuva 14). Mittalasiin pintakerroksesta 450 ml:n kohdalta ja pohjakerroksesta 150 ml:n kohdalta otettiin kiintoainenäytteet suurisuisella lasipipetillä. Kiintoainemäärityksessä syntyvä suodos otettiin fosfaattimääritystä varten. Jos kiintoainemäärityksessä syntyvää suodosta oli liian vähän, näytettä sentrifugoitiin ja suodatettiin lisää.



Kuva 14 Suomenojan jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen laskeutuvuuskokeet (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).

## **4.5 Analysoitavien näytteiden esikäsittely**

### **4.5.1 Sentrifugointi**

Rejeki- ja lietenäytteet sentrifugoitiin 50 ml:n muoviputkissa. Samaan aikaan sentrifugoitumaan laitettiin neljä muoviputkea, joihin oli kaadettu 45 ml:ä näytettä. Sentrifugointinopeus oli ensin viisi minuuttia kierrosnopeudella 5 000 RPM ja sen jälkeen vielä kaksi minuuttia kierrosnopeudella 8 000 RPM. Kiintoaine erottui näytteissä selkeästi ja nestefaasi oli kirkasta, vaikkakin värillistä. Kahdesta sentrifugoidusta näyteputkesta kaadettiin selkeytynyt neste muoviseen 100 ml näytepulloon, välttämättä sekoittamasta mukaan pohjalle saostunutta sakkaa.

### **4.5.2 Suodatus**

Kahdesta sentrifugoidusta näyteputkesta selkeytynyt neste kaadettiin suodatuslaitteiston suppiloon, josta suodos valui suodatinpaperin läpi suoraan muoviseen 100 ml näytepulloon. Suodatuksessa käytettiin GF/A Whatman -lasikuitusuodatinpaperia, joka suodattaa näytteestä pois kaikki yli 1,6 µm:n partikkelit.

### **4.5.3 Hygieeninen laatu**

Lietenäytteistä tutkittiin hygieeninen laatu Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Viljavuuspalveluun lähetettiin analysoitavaksi kaksi Kariniemen jätevedenpuhdistamon lietenäytettä toinen käsittelemättömästä lietteestä (KN 0) ja toinen kalsiumhydroksidilla käsitellystä näytteestä (KN LA). Molemmat näytteet otettiin kokoomanäytteenä kahdeksasta sakasta, joka jäi sentrifugoinnissa sentrifugiputkien pohjalle. Kokoomanäytteet kaavittiin metallilusikalla yhteen muoviseen sentrifugiputkeen ja suljettiin muovisella kierrekorkilla. Näytteenottovälineet olivat puhtaita laboratorion astianpesukoneen pesemiä, mutta eivät steriilejä. Vaikka näytteenottovälineet eivät olleet steriilejä, voidaan olettaa että *Salmonellan* esiintyessä näytteissä se on peräisin jätevesilietteestä. Näyteputket pakattiin kahteen erilliseen muovipussiin ja suljettiin teipillä. Näytteitä säilytettiin yön yli jääkaapissa (5 °C). Näytteet pakattiin lähetystä varten pieneen pahvilaatikkoon ja lähetettiin viljavuuspalveluun ovelta ovelle pakettina. Näytteet analysoitiin Viljavuuspalvelussa samana päivänä. Näytteistä määritettiin *Salmonella* ja *E. coli*.

#### 4.6 Esikäsitteilyt, analyysit ja standardit

Kalkkikäsitteily toteutettiin mädätetyllä lietteellä sammutetulla kalkilla ja poltetulla kalkilla. Rejektivedellä kalkkikäsitteily toteutettiin vain sammutetulla kalkilla. Laskeutuskokeet suoritettiin kalkkikäsitellyille näytteille sekä rejektiveden ja mädätetyn lietteen nollanäytteille. Taulukossa 6 on esitetty eri näytteille toteutetut käsitteilyt. Käsittelemättömistä näytteistä määritettiin vain kokonaisfosfori. Sentrifuugatuista näytteistä alkaliteetti. Sentrifuugatuista ja suodatetuista näytteistä määritettiin fosfaattifosfori, ammoniumtyppi ja kemiallinen hapenkulutus. Nollanäytteistä analysoitiin näiden lisäksi kuiva-ainepitoisuus. Taulukossa 7 on luettelo näytteistä mitattavista suureista, näytteille tehtävistä esikäsitteilyistä, mittausajankohdasta ja rinnakkaisten määritysten lukumäärästä (n). Taulukossa 8 on lueteltu työssä käytetyt analyysit, standardit ja laitteet.

Taulukko 6 Näytteille toteutetut käsitteilyt.

Käsitteily/toimenpide	Näytteet	Toteutus	Huomioita
Kalkkisaostus	RA, LA, LB	Pikasekoitus 60 min + hämmennys noin 2 tuntia.	Kalkkiannoksen lisäys pH:n perusteella, pH noin 9
Laskeutuskokeet	R0, RA, L0, LA, LB	Laskeutus 24 tuntia kalk- kisaostuksesta	500 ml mittalaseissa

Taulukko 7 Näytteet ja analyysit.

Mitattava suure	Näytteet	Näytteiden esikäsittely/mittausajankohta	Rinnakkaiset määritykset (n)
Alkaliteetti	R0, RA, L0, LA, LB	Sentrifugointi	n = 1
Ammoniumtyppi	R0, RA, L0, LA, LB	Sentrifugointi ja suodatus Whatman GF/A	n = 2
Fosfaattifosfori	R0, RA, L0, LA, LB	Kalkkikäsittelyn jälkeen, sekä laskeutuskokeissa 8 h ja 24 h kohdalla Sentrifugointi ja suodatus Whatman GF/A	n = 2
Hygieeninen laatu	L0, LA (Kariniemi)	Sentrifugointi ja näyte otettu putken pohjalle jääneestä fraktiosta	n = 1
Kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> )	R0, RA, L0, LA, LB	Sentrifugointi ja suodatus Whatman GF/A	n = 2
Kiintoaine (SS)	R0, RA, L0, LA, LB	Suodattamaton näyte	n = 3
Kokonaisfosfori	R0, RA, L0, LA, LB	Suodattamaton näyte	n = 2
Kuiva-aine (TS)	R0, L0	Suodattamaton näyte	n = 3
Lämpötila	LB	Mittaus kalkin lisäyksen jälkeen	n = 1
pH	R0, RA, L0, LA, LB	Mittaus 30 ja 60 min kohdalla kalkkisaostuksessa, sekä laskeutuskokeissa 8 ja 24 h kohdalla	n = 1

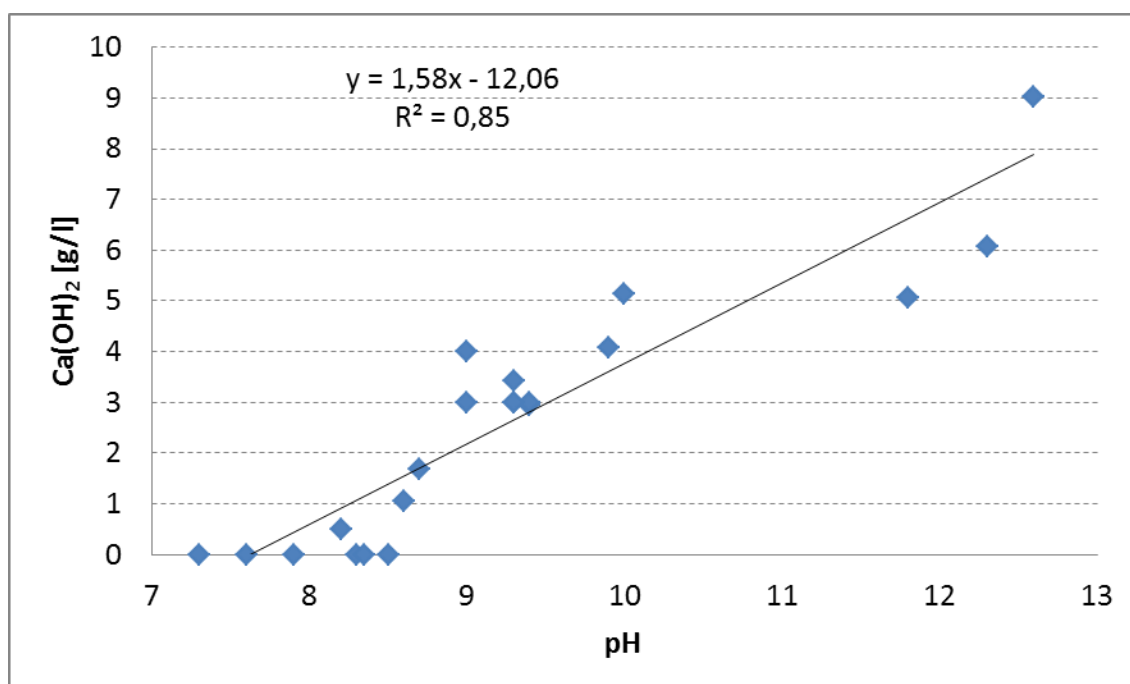
Taulukko 8 Työssä käytetyt analyysit, standardit ja laitteet.

Analyysi	Standardi	Laitteet
Alkaliteetti	SFS-EN ISO 9963-1 (v.1996)	pH-mittari WTW InoLab pH 720, anturi WTW SenTix 41
Ammoniumtyppi	ISO 11732 (v. 2005), FIA tekniikka	Foss Tecator 5012 Analyzer, 5042 Detector
Fosfaattifosfori	SFS-EN ISO 15681-1 (v. 2005), FIA tekniikka, Tinakloridimenetelmä	Foss FIAstar 5000 Analyzer
Hygieeninen laatu	<i>Salmonella</i> ISO 6579:2002 (Amd. 1:2007 muunn.)  <i>E. coli</i> NMKL 125/2005	Näytteet mitattiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä
Kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> )	SFS 5504 (v. 1988)	HACH COD -reaktori
Kiintoaine (SS)	SFS-EN 872 (v. 2005)	Lämpökaappi Termaks
Kokonaisfosfori	Hapetus SFS-EN ISO 6878 (v. 2004)  Mittaus SFS-EN-ISO 15681-1 (v. 2005), FIA tekniikka, Tinakloridimenetelmä	Foss FIAstar 5000 Analyzer
Kuiva-aine (TS)	SFS 3008 (v. 1990)	Lämpökaappi Termaks
Lämpötila	-	Lasinen nestelämpömittari
pH-mittaus	SFS 3021 (v.1979)	pH-mittari Orion, Radiometer pH-elektrodi ja lämpötila-anturi

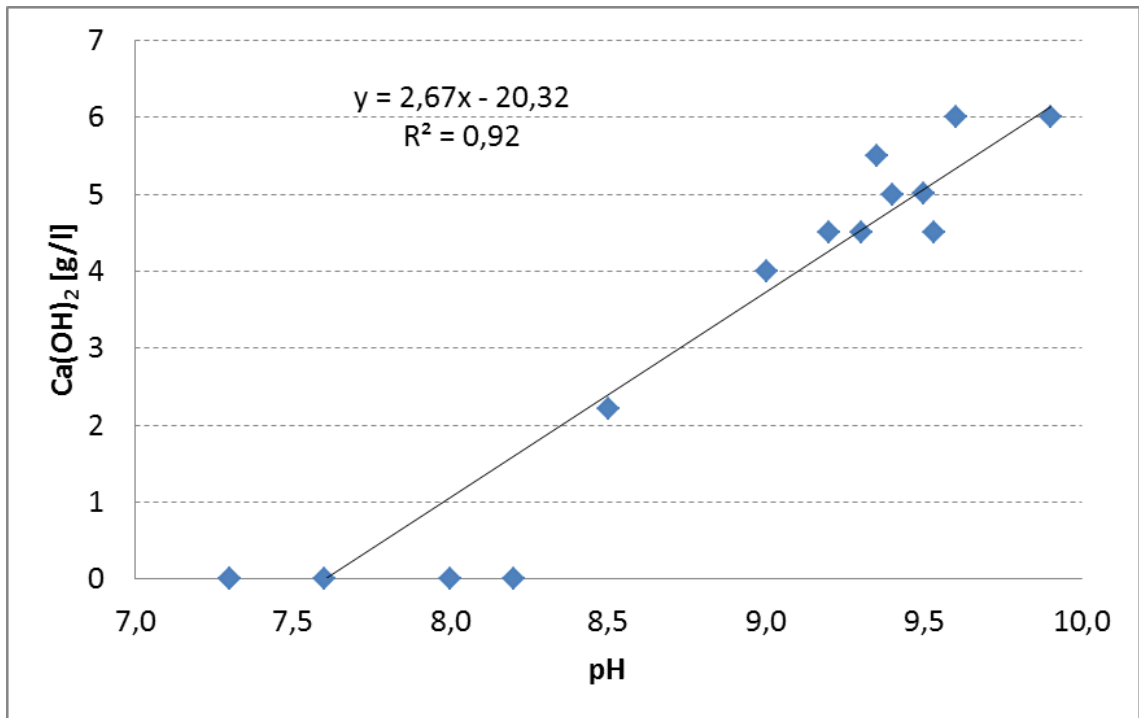
## 5 Tutkimustulokset

### 5.1 Kalkin annostuksen vaikutus näytteiden pH:n nousuun

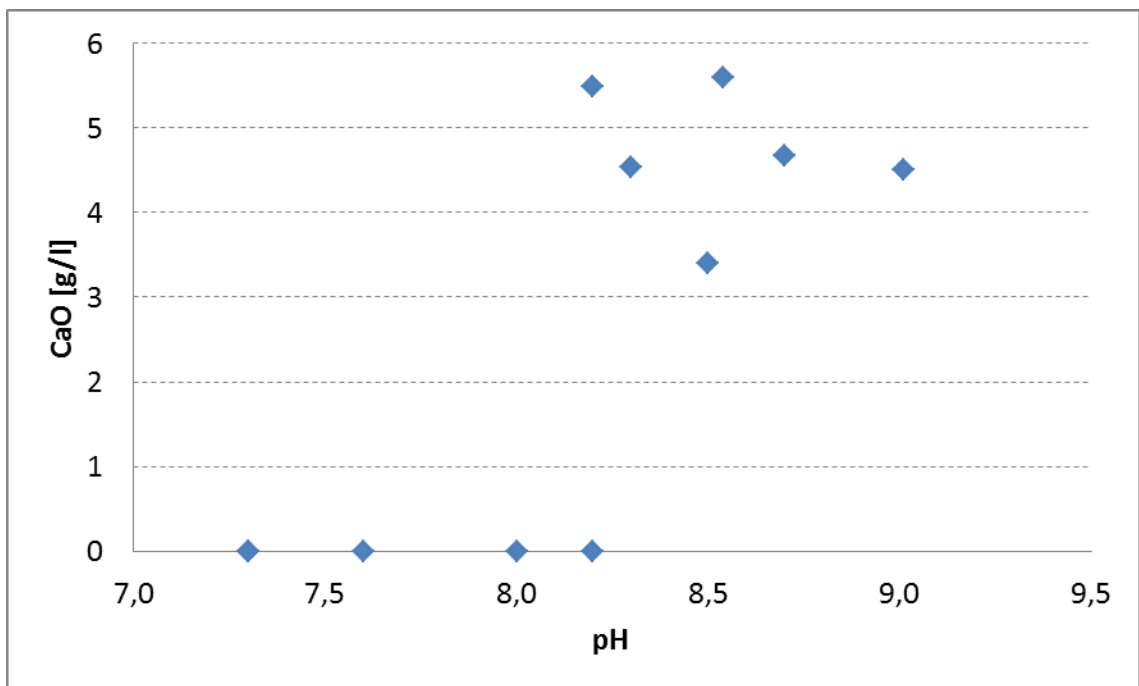
Tutkittujen puhdistamoiden mädätetyille lietteille ja rejektivesille saatiin sammutetun kalkin annostuksella pH:n suhteen lineaariset kuvaajat (Kuvaajat 5 ja 6). Lineaarinen riippuvuus kalkkiannoksen ja pH:n suhteen on kuvaajien 5 ja 6 selitysasteen perusteella kohtalainen. Poltetulla kalkilla päästiin yleisesti samalla grammamääräisellä annostuksella pienempään pH:n nousuun kuin sammutetulla kalkilla (Kuvaaja 7). Kuvaajissa 5 - 7 on esitetty kaikkien puhdistamoiden mädätetyn lietteen tai rejektiveden tulokset samassa kuvaajassa. Kuvaajissa on mukana myös mädätetyille lietteelle ja rejektivedelle tehtyjen esikokeiden tulokset. Sammutetun kalkin annostus oli suurin piirtein sama kaikkien laitosten rejektivesillä ja mädätetyillä lietteillä. Mädätetyllä lietteellä oli suurempi puskurikapasiteetti kuin rejektivedellä. Sammutettua kalkkia tuli lisätä näytteen pH arvon 9 saavuttamiseksi rejektivesinäytteisiin noin 3 g/l ja lietenäytteisiin noin 5 g/l. Tutkittujen rejektivesinäytteiden kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin noin 0,7 % (n = 5) ja mädätettyjen lietenäytteiden noin 2,6 % (n = 4). Kuiva-ainepitoisuudelle laskettuna, tarvittava kalkkimäärä oli rejektivesinäytteille noin 4 g/g TS ja lietenäytteillä noin 2 g/g TS.



Kuvaaja 5 Kalsiumhydroksidin lisäyksen vaikutus rejektiveden pH:n muutokseen.



Kuvaaja 6 Kalsiumhydroksidin lisäyksen vaikutus mädätetyn lietteen pH:n muutokseen.



Kuvaaja 7 Kalsiumoksidin lisäyksen vaikutus mädätetyn lietteen pH:n muutokseen.

## 5.2 Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden näytteen saostuskokeet

Taulukossa 9 on esitetty Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn vaikutus fosfaattipitoisuuteen. Fosfaattipitoisuudet on laskettu keskiarvona rinnakkaisista näytteistä (n = 2). Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden rejektiveden ja mädätetyn lietteen kohdalla voidaan havaita, että kalkin lisäyksestä aiheutuva pH:n nousu nostaa liukoisen fosfaatin pitoisuutta. Rejektiveden kohdalla fosfaatin vapautuminen pH:n noustessa on vähäistä noin 1 - 2 mg/l, mutta mädätetyn lietteen kohdalla fosfaattia vapautui enemmän, noin 3 - 6 mg/l.

Taulukko 9 Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn fosfaattitulokset.

Näyte	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuus [mg/l P]	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuuden muutos verrattuna nollanäytteeseen [mg/l P]
<b>Rejektivesi</b>			
<b>Suomenoja</b>			
R01	7,6	0,5	
RA1	9,4	2,2	<b>1,7</b>
<b>Ali-Juhakkala</b>			
R01	7,9	0,7	
RA1	9,3	1,6	<b>0,8</b>
<b>Mädätetty liete</b>			
<b>Suomenoja</b>			
L01	7,3	3,1	
LA1	9,3	8,8	<b>5,7</b>
LB1	8,5	6,5	<b>3,3</b>
<b>Ali-Juhakkala</b>			
L01	7,6	5,4	
LA1	9,5	8,3	<b>2,9</b>
LB1	9,0	8,1	<b>2,7</b>

### 5.3 Kariniemen jätevedenpuhdistamon näytteiden saostuskokeet

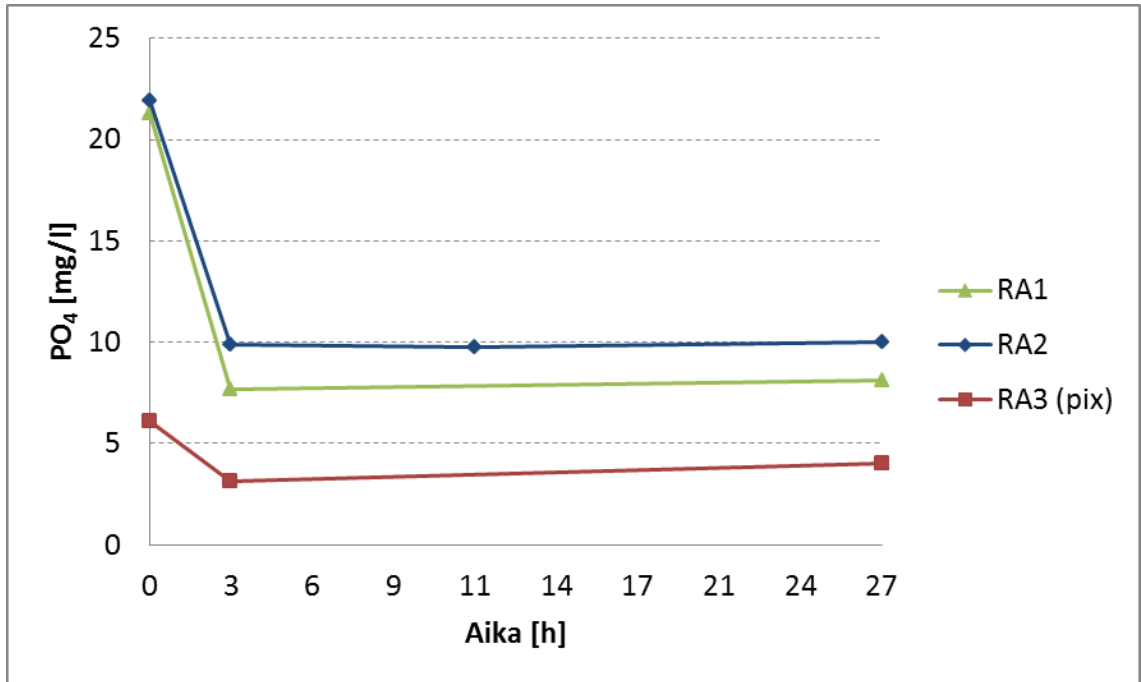
Taulukossa 10 on esitetty Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn vaikutus fosfaattipitoisuuteen. Näissä näytteissä fosfaattipitoisuus oli nollanäytteissä merkittävästi korkeammalla tasolla kuin edellisessä kappaleessa esitetyissä näytteissä. Fosfaattipitoisuudet on laskettu rinnakkaisnäytteiden keskiarvona (n = 2). Kalkkikäsittely laskee rejektiveden ja mädätetyn lietteen fosfaattipitoisuutta. Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden fosfaattipitoisuus oli ennen kalkkikäsittelyä keskimäärin 22 mg/l. Rejektivedellä fosfaattipitoisuuden lasku oli jopa yli 60 % ja fosfaattipitoisuus pienentyi keskimäärin noin 13 mg/l. Rautakemikaalilla käsitellyllä rejektivedellä (R03 ja RA3) fosfaatin alkuperäinen fosfaattipitoisuus oli jo valmiiksi alhaisempi 6,1 mg/l, joten kalkkisaostuksella saatiin fosfaattipitoisuus edelleen pienentymään 3 mg/l. Kariniemen jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen fosfaattipitoisuus oli keskimäärin 43 mg/l. Mädätetyllä lietteellä fosfaattipitoisuuden lasku oli jopa noin 50 % ja fosfaattipitoisuus pienentyi parhaimmillaan noin 24 mg/l.

Taulukko 10 Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn fosfaattipitoisuustulokset.

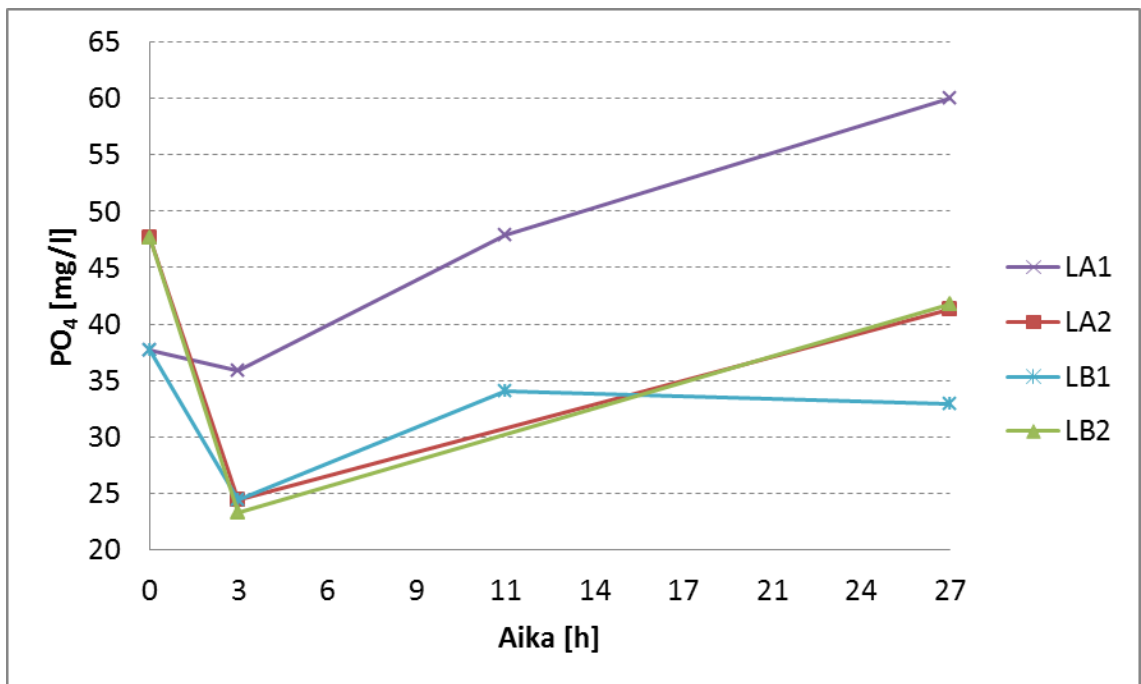
Näyte	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuus [mg/l P]	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuuden muutos verrattuna nollanäytteeseen	
			[mg/l P]	[%]
<b>Kariniemi</b>				
R01	8,3	21,3		
RA1	9,0	7,7	-13,6	-64 %
R02	8,4	22,0		
RA2	9,0	9,9	-12,1	-55 %
R03 (PIX)	8,5	6,1		
RA3 (PIX)	9,3	3,1	-3,0	-49 %
L01	8,0	47,6		
LA1	9,2	24,4	-23,2	-49 %
LB1	8,7	23,2	-24,4	-51 %
L02	8,2	37,7		
LA2	9,4	35,9	-1,8	-5 %
LB2	8,5	24,4	-11,5	-35 %

#### **5.4 Kalkkikäsittelyn vaikutus rejektiveden ja lietteen fosfaattipitoisuuteen**

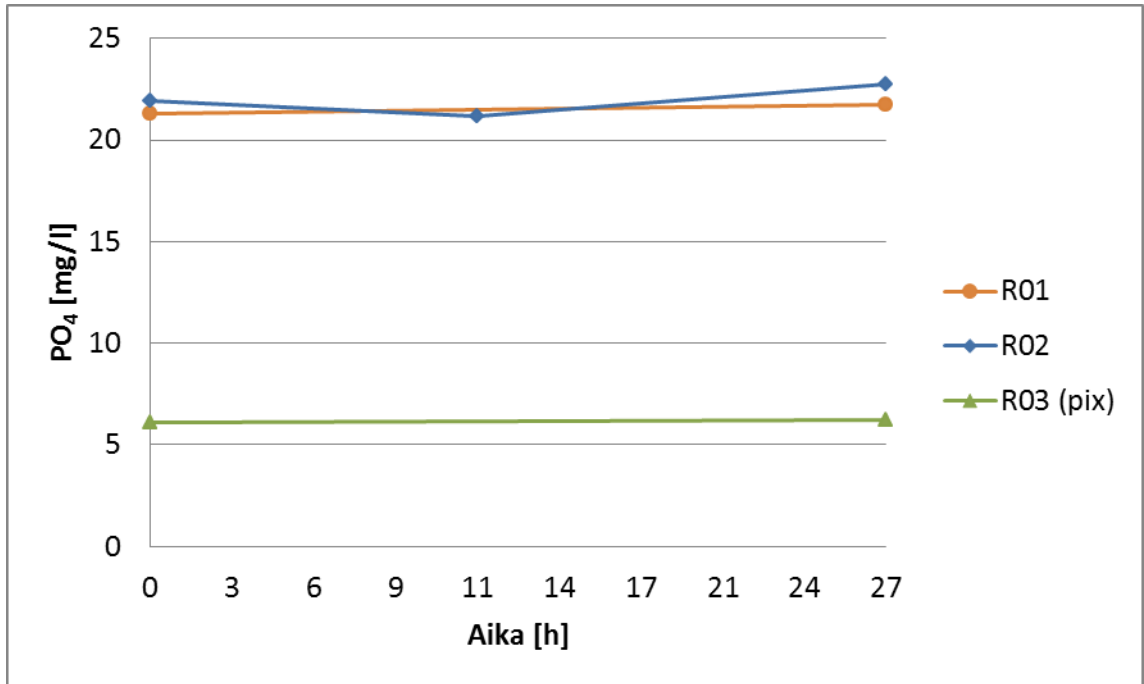
Kun kalkkikäsitellyjä näytteitä säilytettiin 500 ml mittalasissa ja näytteistä otettiin uudet fosfaattinäytteet kahdeksan tunnin ja noin vuorokauden (24 h) jälkeen kalkkikäsittelystä, huomattiin että näytteiden fosfaattipitoisuus oli noussut. Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty Suomenojan, Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn vaikutus fosfaattipitoisuuteen ajan suhteen. Fosfaattipitoisuudet on laskettu rinnakkaisnäytteiden keskiarvona ( $n = 2$ ). Fosfaattipitoisuus nousi ajan suhteen rejektivedellä vain hieman enimmillään 1 mg/l. Kuvaajassa 8 on piirretty Kariniemen puhdistamon kalkkikäsittelyn vaikutus rejektiveden fosfaattipitoisuuteen ajan suhteen. Fosfaattipitoisuuden nousu oli voimakasta varsinkin mädätetyllä lietteellä jopa 24 mg/l. Kuvaajassa 9 on piirretty Kariniemen puhdistamon kalkkikäsittelyn vaikutus mädätetyn lietteen fosfaattipitoisuuteen ajan suhteen. Rejektiveden ja mädätetyn lietteen nollanäytteillä samaa fosfaattipitoisuuden nousua ajan suhteen ei havaittu. Kuvaajissa 10 ja 11 on piirretty Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden ja mädätetyn lietteen nollanäytteiden fosfaattipitoisuuden muutos ajan suhteen. Kuvaajissa 8 - 11 on näytteen alkuperäinen fosfaattipitoisuus esitetty x-akselilla kohdassa nolla tuntia ja kalkkikäsittelyn vaikutus kohdassa kolme tuntia sekä fosfaattipitoisuudet näytettä säilytettäessä 11 ja 27 tunnin kohdalla. Tuloksien perusteella voidaan päätellä että lietteen kalkkikäsittelyn optimointi edellyttää jatkotutkimuksia. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella liete tulee linkokuivata mahdollisimman pian kalkkikäsittelyn jälkeen, jotta estetään lietteen sisältämän fosfaatin vapautuminen takaisin liukoiseen muotoon.



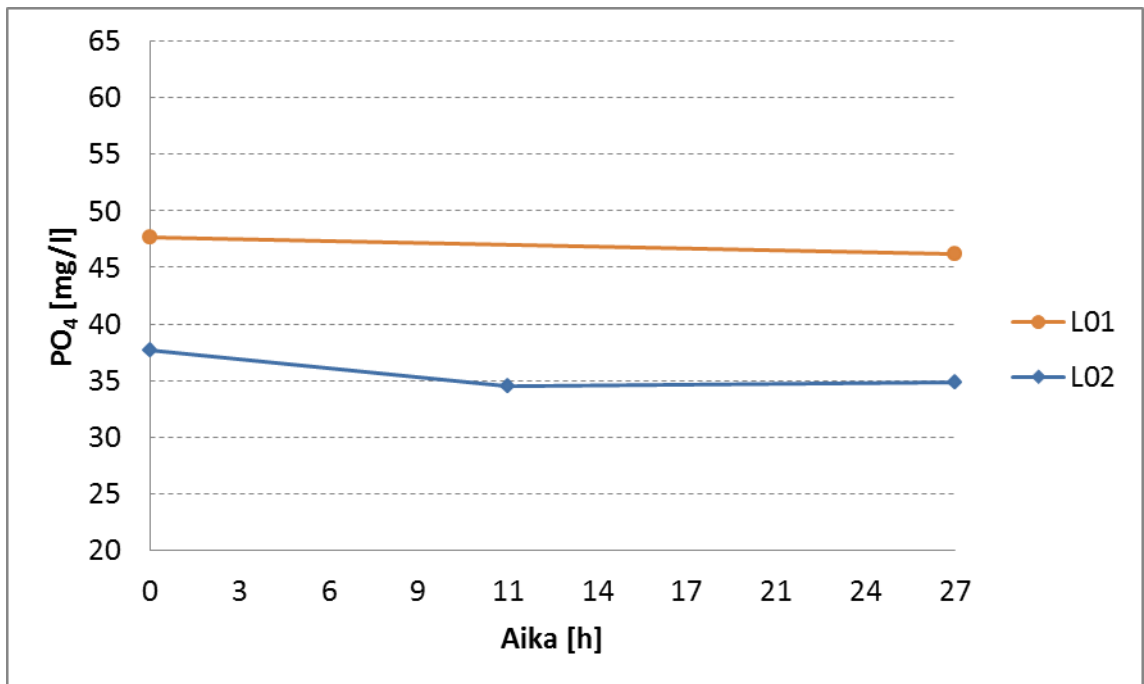
Kuvaaja 8 Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden kalkkikäsittelyn vaikutus fosfaattipitoisuuteen ja fosfaattipitoisuuden muutos ajan suhteen.



Kuvaaja 9 Kariniemen jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn vaikutus fosfaattipitoisuuteen ja fosfaattipitoisuuden muutos ajan suhteen.



Kuvaaja 10 Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden (nollanäytteiden) fosfaattipitoisuuden muutos ajan suhteen.



Kuvaaja 11 Kariniemen jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen (nollanäytteiden) fosfaattipitoisuuden muutos ajan suhteen.

Taulukko 11 Kalkkikäsittelyn vaikutus Suomenojan, Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden fosfaattipitoisuuteen ajan suhteen.

Näyte	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuus [mg/l P]				PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuuden muutos ajan suhteen [mg/l P]
		0	3	11	27	
Aika [h]	3	0	3	11	27	3-27
<b>Suomenoja</b>						
R01	7,6	0,5	-	-	1,0	0,5
RA1	9,4	0,5	2,2	-	3,2	1,0
<b>Ali-Juhakkala</b>						
R01	7,9	0,7	-	-	1,0	0,3
RA1	9,3	0,7	1,6	-	2,4	0,8
<b>Kariniemi</b>						
R01	8,3	21,3	-	-	21,8	0,5
RA1	9,0	21,3	7,7	-	8,1	0,4
R02	8,4	22,0	-	21,2	22,7	0,8
RA2	9,0	22,0	9,9	9,8	10,0	0,1
R03 (PIX)	8,5	6,1	-	-	6,2	0,1
RA3 (PIX)	9,3	6,1	3,1	-	4,0	0,9

Taulukko 12 Kalkkikäsittelyn vaikutus Suomenojan, Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen fosfaattipitoisuuteen ajan suhteen.

Näyte	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuus [mg/l P]				PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -pitoisuuden muutos ajan suhteen [mg/l P]
		0	3	8	24	
Aika [h]	3	0	3	8	24	0-24
<b>Suomenoja</b>						
L01	7,3	3,1	-	-	2,2	-1,0
LA1	9,3	3,1	8,8	-	6,3	-2,5
LB1	8,5	3,1	6,5	-	6,6	0,1
<b>Ali-Juhakkala</b>						
L01	7,6	5,4	-	-	4,4	-1,0
LA1	9,5	5,4	8,3	-	11,5	3,2
LB1	9,0	5,4	8,1	-	12,5	4,4
<b>Kariniemi</b>						
L01	8,0	47,6	-	-	46,2	-1,5
LA1	9,2	47,6	24,4	-	41,4	16,9
LB1	8,7	47,6	23,2	-	41,7	18,5
L02	8,2	37,7	-	34,5	34,8	-2,8
LA2	9,4	37,7	35,9	47,9	60,0	24,1
LB2	8,5	37,7	24,4	34,0	33,0	8,5

### **5.5 Näytteiden ammoniumtyyppipitoisuudet**

Rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittely ja pH:n nosto vapauttaa osan näytteiden sisältämästä ammoniumtyyppistä kaasumaisena ammoniakkina. Ammoniakin vapautuminen näytteistä voitiin haistaa näytteitä käsiteltäessä. Varsinkin näytteiden runsas sekoittaminen ja suodattaminen edesauttoivat ammoniakin vapautumista näytteestä ilmaan. Ammoniakin vapautuminen voidaan havaita näytteissä ammoniumtyyppipitoisuuden pienentymisenä.

Taulukoissa 13 ja 14 on eritetty Suomenojan, Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn vaikutukset näytteiden ammoniumtyyppipitoisuuksiin. Ammoniumtyyppipitoisuudet on laskettu rinnakkaisnäytteiden keskiarvoina ( $n = 2$ ). Kalkkikäsittely vapauttaa rejektivedellä noin 1 - 5 % rejektiveden sisältämästä ammoniumtyyppistä. Rejektiveden kalkkikäsittelyssä vapautuva ammoniumtyyppimäärä oli enimmillään 34 mg/l. Rautakemikaalilla erilliskäsitellyllä rejektivedellä (RA3) kalkkikäsittely vapautti huomattavasti enemmän ammoniumtyyppiä jopa 31 % ja vapautuva ammoniumtyyppipitoisuus on suuri 429 mg/l. Kalkkikäsitellyllä mädätetystä lietteestä vapautuva ammoniumtyyppipitoisuus oli noin 2 - 12 % ja enimmillään 121 mg/l.

Saatujen tuloksien perusteella kalkkikäsittelyn yhteydessä on puhdistamolla varauduttava hajukaasujen käsittelyyn. Ammoniumtyypin vapautuminen ammoniakkina ei ollut kuitenkaan niin merkittävää, että sillä olisi ollut merkittävä negatiivinen vaikutus esim. lietteen lannoitekäyttöön.

Taulukko 13 Kalkkikäsittelyn vaikutus rejektiveden ammoniumtyyppipitoisuuteen.

Näyte	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - pitoisuus [mg/l N]	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -pitoisuuden muutos verrattuna nollanäytteeseen	
			[mg/l N]	[%]
<b>Suomenoja</b>				
R01	7,6	700		
RA1	9,4	666	<b>-34</b>	<b>-5 %</b>
<b>Ali-Juhakkala</b>				
R01	7,9	890		
RA1	9,3	881	-8	-1 %
<b>Kariniemi</b>				
R01	8,3	1057		
RA1	9,0	1045	-12	-1 %
R02	8,4	1195		
RA2	9,0	1199	3	0 %
R03 (PIX)	8,5	1389		
RA3 (PIX)	9,3	960	<b>-429</b>	<b>-31 %</b>

Taulukko 14 Kalkkikäsittelyn vaikutus mädätetyn lietteen ammoniumtyyppipitoisuuteen.

Näyte	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -pitoisuus [mg/l N]	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -pitoisuuden muutos verrattuna nollanäytteeseen	
			[mg/l N]	[%]
<b>Suomenoja</b>				
L01	7,3	777		
LA1	9,3	715	-62	-8 %
LB1	8,5	757	-20	-3 %
<b>Ali-Juhakkala</b>				
L01	7,6	1036		
LA1	9,5	916	<b>-121</b>	<b>-12 %</b>
LB1	9,0	987	-49	-5 %
<b>Kariniemi</b>				
L01	8,0	920		
LA1	9,2	935	15	2 %
LB1	8,7	942	7	2 %
L02	8,2	1504		
LA2	9,4	1470	-34	-2 %
LB2	8,5	1531	27	2 %

## 5.6 Rejktiveden ja lietteen kokonaisfosforipitoisuus, alkaliteetti ja kemiallinen hapenkulutus (COD<sub>Cr</sub>)

Taulukoissa 15 ja 16 on esitetty Suomenojan, Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jäteveden puhdistamon rejktiveden ja mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyn vaikutusta kokonaisfosforipitoisuuteen (Kok-P), kemialliseen hapenkulutukseen (COD<sub>Cr</sub>) ja alkaliteettiin. Tulokset on laskettu rinnakkaistenmääritysten keskiarvona (Kok-P ja COD<sub>Cr</sub> n = 2 ja alkaliteetti n = 1). Tuloksista (Taulukot 15 ja 16) voidaan havaita, ettei kalkkikäsittelyllä ollut selkeää vaikutusta rejktiveden tai mädätetyn lietteen kokonaisfosforipitoisuuteen, kemialliseen hapenkulutukseen tai alkaliteettiin. Kalkkikäsittelyllä voidaan teoriassa saavuttaa liukoisen fosforin saostamisen ohella myös orgaanisen aineksen saostumista, joka nähdään kemiallisen hapenkulutuksen pienentymisenä. Tutkituilla näytteillä selkeää kemiallisen hapenkulutuksen pienenemistä ei kuitenkaan havaittu. Tämä saattaa johtua siitä, ettei kalkki saostanut rejktiveden orgaanista ainetta, vaikka fosfaattia saostuikin.

Taulukko 15 Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamon rejktiveden ja mädätetyn lietteen tuloksia.

Näyte	Kok-P -pitoisuus [mg/l P]	COD <sub>Cr</sub> -pitoisuus	Alkaliteetti [mg/l]
<b>Suomenoja</b>			
R01	91,6	860	59
RA1	91,5	940	51
L01	812	1730	66
LA1	848	2390	55
LB1	858	2190	59
<b>Ali-Juhakkala</b>			
R01	16,6	720	74
RA1	17,5	700	67
L01	586,4	2020	84
LA1	714,5	2780	75
LB1	661,3	1680	74

Taulukko 16 Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden ja mädätetyn lietteen tuloksia.

Näyte	Kok-P -pitoisuus [mg/l P]	COD <sub>Cr</sub> -pitoisuus	Alkaliteetti [mg/l]
<b>Kariniemi</b>			
R01	30,7	2540	143
RA1	30,1	2440	141
R02	36,0	2830	161
RA2	29,5	3230	155
R03 (PIX)	16,1	2870	169
RA3 (PIX)	11,9	2870	163
L01	602,9	3620	186
LA1	358,8	4110	175
LB1	610,9	4380	174
L02	599,3	4600	198
LA2	553,9	4910	187
LB2	619,9	4700	191

Havaitut muutokset rejektiveden ja lietteen kokonaisfosforipitoisuudessa, alkaliteetissä ja kemiallisessa hapenkulutuksessa eivät todennäköisesti olleet merkittäviä. Pienet erot tuloksissa saattoivat aiheutua näytteenoton epätarkkuudesta sekä suurten laimennosten aiheuttamasta hajonnasta.

## 5.7 Lietteen hygieeninen laatu

Viljavuuspalvelun tulokset Kariniemen jätevedenpuhdistamon käsittelemättömälle ja kalkkikäsittelylle mädätetylle lietteelle on esitetty taulukossa 17. Käsittelemätön liete-näyte (KN 0) sisälsi runsaasti *E. coli* bakteeria ja lietenäytteessä esiintyi *Salmonellaa*. Lietteen kalkkikäsittely vähensi oleellisesti näytteen (KN LA) *E. coli* pitoisuutta. *Salmonellaa* ei havaittu myöskään kalkkikäsittelystä lietteestä. Näiden tuloksien perusteella voidaan todeta että tässä tapauksessa kalkkikäsitelty liete täyttää *Salmonellan* ja *E. colin* suhteen lannoitevalmistelaissa asetetut hygieenisyyksvaatimukset. Kalkkikäsitelty liete soveltuisi näin käytettäväksi lannoitteena muussa viljelyssä paitsi kasvihuoneviljelyn kasvualustoissa.

Taulukko 17 Kalkkikäsittelyn vaikutus Kariniemen jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen hygieeniseen laatuun.

Taudinaiheuttaja/ indikaattori	KN 0	KN LA	Lannoitevalmistelaissa määritellyt enimmäismäärät
<i>Salmonella</i> [25 g]	Todettiin	Ei todettu	Ei todettavissa 25 grammassa näytettä
<i>Escherichia coli</i> [pmy/g]	3 000	370	1000 pmy/g ja alle 100 pmy/g ammattimaiseen kasvihuonevil- jelyyn tarkoitetuissa kasvualus- toissa, joissa syötävät kas- vinosat ovat suoraan kosketuk- sissa kasvualustaan
Juuripoltesieni (mm. <i>Fusarium</i> ; todettu viljelytes- tillä)	Ei määri- tetty	Ei määri- tetty	Ei todettavissa taimituotannossa käytetyissä kasvualustoissa

## 5.8 Lietteen tiivistyminen ja rejektiveden kiintoaineen laskeutuminen

Kalkkikäsittelyn vaikutusta tutkittiin mädätetyn lietteen gravitaatioperusteisessa tiivistymisessä ja rejektiveden kiintoaineen laskeutumisessa. Kiintoainenäyte otettiin rejektivedestä mittalasin pintakerroksesta ja lietteillä mittalasin pinta- ja pohjakerroksesta tai mahdollisesti syntyneistä faaseista. Taulukoissa 18 ja 19 on esitetty Suomenojan, Ali-Juhakkalan ja Kariniemen mädätetyn lietteen ja rejektiveden kiintoainetulokset. Tulokset on laskettu keskiarvona rinnakkaismäärityksistä (n = 3). Taulukossa 20 on esitetty kalkkikäsittelyn vaikutus mädätetyn lietteen kiintoainepitoisuuden eroihin pinta- ja pohjakerroksessa.

Taulukko 18 Kalkkikäsittelyn vaikutus rejektiveden kiintoainepitoisuuteen.

Kiintoaine [g/l]				
Jätevedenpuhdistamo	Näytteenottokerta	R0	RA	Ero [%]
Suomenoja	1	0,71	0,58	-18 %
Ali-Juhakkala	1	0,35	0,55	57 %
Kariniemi	1	0,29	0,47	62 %
	3 (PIX)	0,51	0,46	-10 %

Taulukko 19 Kalkkikäsittelyn vaikutus mädätetyn lietteen kiintoainepitoisuuteen.

Kiintoaine [g/l]							
Jätevedenpuhdistamo	Näytteenottokerta	L0		LA		LB	
		pinta	pohja	pinta	pohja	pinta	pohja
Suomenoja	1	37,13	2,30	1,28	28,58	14,38	22,64
Ali-Juhakkala	1	0,71	24,37	0,82	28,88	0,50	31,92
Kariniemi	1	0,89	34,95	1,13	37,56	1,02	36,34

Taulukko 20 Kalkkikäsittelyn vaikutus mädätetyn lietteen kiintoainepitoisuuden eroihin pinta- ja pohjakerroksessa.

Kiintoaine [g/l]					
Jäteveden- puhdistamo	Näyt- teen- ottokerta	Ero [%]			
		L0-LA pinta	L0-LB pinta	L0-LA pohja	L0-LB pohja
<b>Suomenoja</b>	1	<b>-97 %</b>	<b>-61 %</b>	<b>1143 %</b>	<b>884 %</b>
<b>Ali-Juhakkala</b>	1	15 %	-30 %	19 %	31 %
<b>Kariniemi</b>	1	27 %	15 %	7 %	4 %

Tuloksien perusteella voidaan havaita että mädätetyn lietteen kalkkikäsittely parantaa selkeästi vain Suomenojan lietteen laskeutuvuutta, jossa käsittelemättömässä lietteessä havaittiin jopa lietteen flotatoitumista mittalasin pintaan. Lahden puhdistamoiden kohdalla lietteen tiivistymisen tehostuminen oli vain vähäistä ja luotettavien johtopäätösten tekeminen edellyttää lisätutkimusta sekä gravitaatiotiivistymistä paremmin kuvaavien koejärjestelyiden toteutusta. Rejektivesinäytteissä saatuja tuloksia kiintoaineen erottamiseksi ei voida pitää merkittävinä.

## **5.9 Tulosten arviointi ja vertailu kirjallisuusarvoihin**

### **5.9.1 Fosfaattifosforin saostuminen**

Fosfaattifosforin saostaminen kalkilla oli tehokasta Kariniemen puhdistamon rejektivedessä ja mädätetyssä lietteessä. Kalkin lisäyksellä saatiin Kariniemen näytteiden fosfaattipitoisuus laskemaan jopa 50 - 60 %. Lietteessä saavutettiin keskimäärin liukoisen fosfaatin jäännöspitoisuus noin 29 mg/l ja rejektillä noin 9 mg/l. Kalkkisaostuksessa yleensä saavutettu fosfaattireduktio on noin 65 - 80 %, joka on parempi kuin työssä saavutettu fosfaattireduktio. Fosfaatin jäännöspitoisuudet olivat myös tehdyissä kokeissa korkeammat kuin kirjallisuudessa esitetyt arvot 1 - 3 mg/l. Saavutettujen tuloksien perusteella menetelmää täytyisi vielä kehittää esimerkiksi pilot-mittakaavan kokeilla. (Tchobanoglous ja Burton, 1991 s. 745; EuLA, 2012).

Suomenojan ja Ali-Juhakkalan näytteissä ei havaittu selvää fosfaatin saostusvaikutusta kalkilla. Näiden näytteiden fosfaattipitoisuudet olivat alun perin suhteellisen pieniä, rejektivesinäytteissä 0,5 ja 0,7 sekä lietenäytteissä 3,1 ja 5,4 mg/l. Alhaisessa pH:ssa (8,5 - 9,5) tapahtuvalla kalkkisaostuksella voidaan päästään kirjallisuuden mukaan vain jäännöspitoisuuteen 2 - 3 mg/l (EuLA, 2012). Suomenojan ja Ali-Juhakkalan lietenäytteiden kohdalla huomataan jopa kalkin lisäyksen aiheuttamaa fosfaattipitoisuuden hienoista nousua. Rejektivesinäyte sisältää laskeutumaton kiintoainetta ja fosforia saattaa pH:n nousun myötä vapautua pieniä määriä tästä kiinteästä fraktiosta.

Kaikissa lietenäytteissä on havaittavissa voimistuvaa fosfaattipitoisuuden nousua, kalkin lisäyksen jälkeen saavutetulta tasolta, mikäli näytteiden annettiin seisoa 8 - 12 tuntia. Lietenäytteiden pH ei kuitenkaan laskenut kyseisenä aikana. Kun kalkkikäsiteltyä lietettä on säilytetty mittalasisissa, on lietteen kiinteän sakan fosfaattivarastoista vapautunut lisää fosfaattia liukoiseen muotoon. Fosfaattia vapautuu oletettavasti lietteen sisältämien rautahydroksidiyhdisteiden oksidipitojen sitomasta fraktiosta pH:n nousun myötä.

Lietteen sekoitus kalkkisaostuksessa lisää lietteeseen myös ilmassa olevaa happea, jolloin orgaaninen toiminta saattaa vilkastua. Lietteen orgaanisen toiminnan myötä lietteen sisältämää fosforia voi myös vapautua liukoiseen muotoon. Fosfaatin vapautuminen lietteestä käynnistyy jo muutamien tuntien kuluessa kalkkisaostuksesta ja on noussut vuorokauden aikana jopa lähtötasoa korkeammalle. Jos mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyä tullaan toteuttamaan puhdistamoilla, on huolehdittava että liete kuivataan mekaanisesti mahdollisimman nopeasti kalkkikäsittelyn jälkeen. Rejktivesinäytteiden kohdalla fosfaatin vapautuminen oli vähäistä. Rejktiveden fosfaattipitoisuuden vähäinen nousu selittyy rejktiveden pienemmällä kiintoainepitoisuudella. Rejktivedessä mahdollinen fosfaattia vapauttava fraktio on lietettä pienempi.

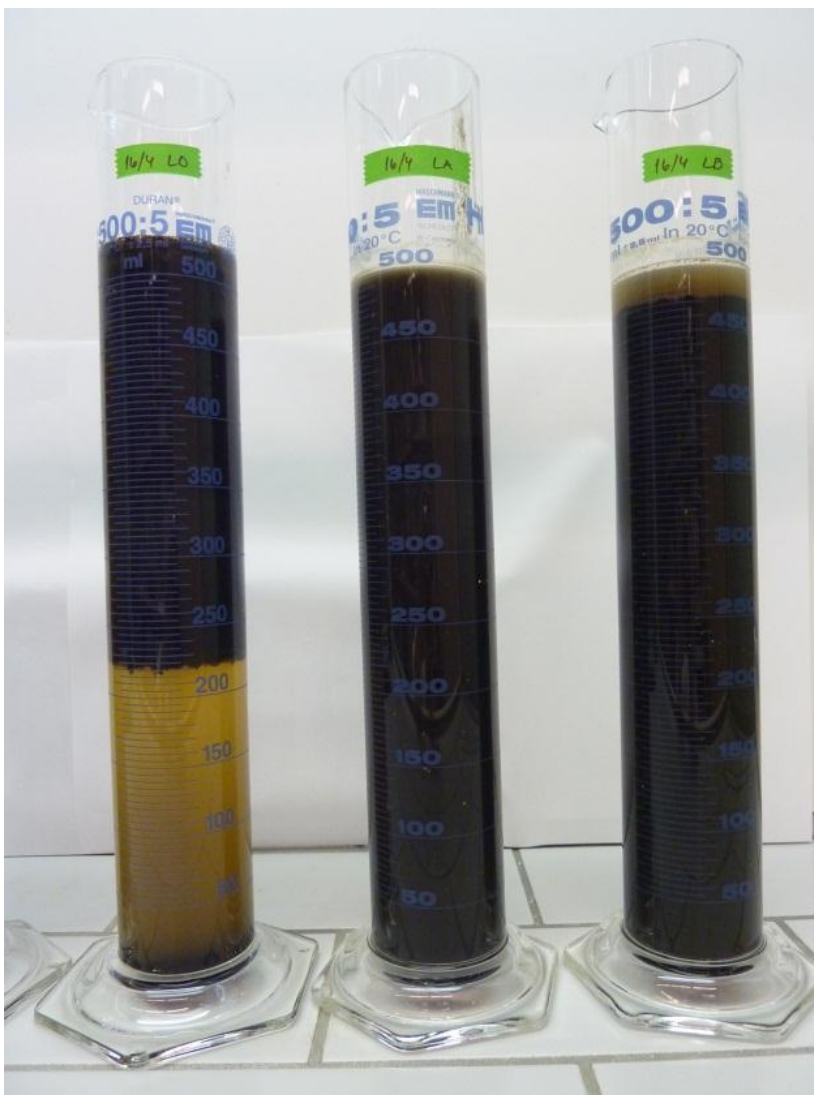
Tuloksista päätellen rejktivesien kalkkikäsittelyä voidaan suositella käsittelymenetelmäksi jätevedenpuhdistamolla liukoisen fosforin pitoisuuksien alentamiseksi vain rejktivesistä, joissa fosfaattipitoisuudet ovat korkeita (noin 20 mg/l). Tällöin rejktivesien erilliskäsittelyllä voidaan pienentää jätevedenpuhdistamon sisäistä fosforikuormaa.

### **5.9.2 Kalkin lisäyksen vaikutus ammoniumtyypipitoisuuteen**

Kalkilla saavutettu pH:n nosto vapauttaa osan ammoniumtypeistä ( $\text{NH}_4^+$ ) ammoniakkinäytteenä. Ammoniakki on haihtuva kaasumainen yhdiste, joka vapautuu jätevedestä tai rejktivedestä ilmaan. Tehtyjen kokeiden perusteella ammoniumtyypipitoisuuden pienentyminen näytteissä oli rejktivesinäytteiden kohdalla enintään 5 % (30 mg/l) ja lietenäytteiden kohdalla enintään 12 % (120 mg/l). Kariniemen rejktiveden näytteessä, joissa oli käytetty rejktiveden erilliskäsittelyä ennen kalkkisaostusta rautakemikaalia (PIX), oli ammoniumtyypin vapautuminen ammoniakkinäytteenä huomattavasti suurempaa. Kariniemen rautakemikaalilla käsitellyssä rejktivedessä ammoniumtypeistä vapautui pH:n noston myötä jopa 31 % (430 mg/l).

### 5.9.3 Kalkin vaikutus lietteen laskeutuvuuteen ja tiivistymiseen

Suomenojan puhdistamon mädättämöstä tuleva liete oli hyvin vaikeasti laskeutuvaa ja sakeampi lietekerros oli flotatoituneena lietteen päällä. Kalkkilisäyksellä saatiin tämä sakeampi lietekerros laskeutumaan ja tiivistymään painovoimaisesti (*Kuva 15*). Muiden lietenäytteiden kohdalla, jossa liete oli jo valmiiksi painovoimaisesti laskeutuvaa tai rejektivesi näytteiden kohdalla ei kalkkilisäyksellä saavutettu kiintoainemäärittysten tai silmin havaittavaa parannusta lietteiden laskeutumisessa.



*Kuva 15 Kalkkikäsittelyn vaikutus Suomenojan mädätetyn lietteen laskeutuvuuteen 16.4.2012 (Kuva Miiä Arkiomaa, 2012).*

#### **5.9.4 Kalsiumoksidin lisäyksen vaikutus lämpötilaan**

Lämpötilan nousua ei havaittu, koska lisätty kalsiumoksidimäärä oli pieni suhteessa näytteen sisältämään vesipitoisuuteen. Koska lämpötilan nousua ei näillä annoksilla tapahtunut, poltetun kalkin lisäyksellä ei ole lämpötilan kautta vaikutusta lietteen hygieenisyyteen.

#### **5.9.5 Kalsiumhydroksidin lisäys ja pH:n noston vaikutus lietteen hygieenisyyteen**

Lietteen hygieeninen laatu oli selvästi parempi kalsiumhydroksidilla käsitellyssä lietteessä. Kalsiumhydroksidilla käsitellyssä lietteessä ei havaittu *Salmonellaa* ja *E. coli* pitoisuuskin oli huomattavasti alhaisempi kuin käsittelemättömässä näytteessä. Kuitenkin hygieenisen laadun suhteen otanta oli pieni ja tulokset eivät ole näin tilastollisesti merkittäviä. Gravitaatiotiivistyksessä toteutettavan kalkin ja pH:n noston vaikutukset lietteen hygieeniseen laatuun tulee selvittää tarkemmin mahdollisilla jatkokokeilla.

### **5.10 Tulosten epävarmuudet ja virheet**

Lietenäytteet ovat rakenteeltaan epähomogeenisia ja lietteen seassa on hiekkaa, geolimäisiä partikkeleita ja mädätyksessä sulamatonta orgaanista ainesta kuten hiuksia. Näytteiden seisoessa saattaa liete- ja rejektivesinäytteiden pohjalle tai pinnalle muodostua faaseja. Analysoitavien näytteiden edustavuuden kannalta tämä tarkoitti sitä, että ennen jokaista näytteenottoa oli tärkeää sekoittaa näytteet huolellisesti. Vaikka näytteitä sekoitettiin huolellisesti, aiheuttaa lietteen rakeinen koostumus kuitenkin mittaustuloksiin virhettä. Rakeisen koostumuksen aiheuttamaa virhettä ja mekaanisten säädettävien pipettien kärkien tukkeutumista yritettiin vähentää leikkaamalla pipetin kärjen suuaukkoa suuremmaksi. Pipetin kärjen suuaukon leikkaus vähensi huomattavasti kärjen suuaukon tukkeutumista ja siitä aiheutuvaa virhettä pipetoitavaan tilavuuteen. Rejektivesi- ja lietenäytteiden analysoinnissa näytteitä jouduttiin laimentamaan huomattavasti. Tulosten mittaustarkkuuteen aiheutti virhettä näytteiden esikäsitteily, analysointia varten tehdyt laimennokset. Tulosten mittaustarkkuuteen vaikutti myös tilavuuden mittaukseen käytetyt astiat, käytetyt laitteet ja analyysimenetelmät. Tuloksien tarkkuuteen vaikuttaa aina myös inhimilliset tekijät kuten analyysijä tekevien henkilöiden havainnointi ja toiminta.

Taulukossa 21 on esitetty samasta laimennoksesta otettujen rinnakkaismääritysten keskihajonnat eri analyyseissä keskimäärin eri rejektivesi- ja lietenäytteiden välillä (n = otos). Taulukossa ovat mukana vain ne analyytit, joissa tehtiin rinnakkaisia määrittämiä. Taulukosta voidaan huomata että lietenäytteillä rinnakkaismääritysten keskihajonnat olivat suurempia kuin rejektivesinäytteillä johtuen mm. lietteen epähomogeenisesta koostumuksesta. Rejektiveden ja lietteen kiintoainemäärittämissä virhettä rinnakkaisien näytteiden välille aiheutti mm. rinnakkaisten näytteiden pipetoinnista aiheutuva faasien sekoittuminen.

*Taulukko 21 Analyysien rinnakkaismääritysten keskihajonta keskimäärin eri rejektivesi- ja lietenäytteiden välillä (rinnakkaisnäytteet otettu samasta laimennoksesta).*

Analyysi	Rejektivesi	Mädätetty liete
Ammoniumtyppi	+/- 10 mg/l N n = 10	+/- 84 mg/l N n = 12
Fosfaattifosfori	+/- 0,06 mg/l P n = 23	+/- 0,12 mg/l P n = 26
Kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> )	+/- 30 mg/l n = 10	+/- 110 mg/l n = 12
Kiintoaine (SS)	+/- 0,03 g/l n = 10	+/- 0,57 g/l n = 15
Kokonaisfosfori	+/- 0,1 mg/l P n = 10	+/- 1,8 mg/l P n = 12
Kuiva-aine (TS)	+/- 0,006 % n = 5	+/- 0,013 % n = 4

## ***5.11 Merkitys puhdistamon prosesseissa ja tarvittavat lisälaitteet***

### **5.11.1 Ammoniakin talteenotto**

Koska lietteen tai rejektiveden kalkkikäsittelyn yhteydessä vapautuu ammoniumtyypeä ammoniakkina, tulee käsittelyn aikana vapautuva ammoniakki ottaa talteen. Kalkkikäsitteily vaatii vapautuvan ammoniakin keräykseen sopivan laitteiston. Jätevesien typpenpoistoon on olemassa useita menetelmiä. Laura Hienonen on mm. tehnyt diplomityön Viikinmäen jätevedenpuhdistamon rejektiveden typpenpoistosta vuonna 2009 (Hienonen, 2009).

### **5.11.2 Putkisaostumat**

Jätevedenpuhdistamoiden puhdistusprosessissa muodostuu jäteveden koostumuksen, käytettyjen kemikaalien ja olosuhteiden takia erilaisia saostumia. Jätevedenpuhdistamoilla struviittia eli magnesiumammoniumfosfaattia kiteytyy helposti luontaisesti lietteen runsaan magnesiumpitoisuuden takia. Struviitin kerääntyminen putkien seinille ja laitteiden pinnoille sekä mädätyksen aikana että mädätyksen jälkeisissä prosesseissa tuo käytännön ongelmia ja lisää ylläpitokustannuksia. Struviitin muodostumiseen vaikuttavat jäteveden magnesium- ammoniumtyppi- ja fosfaattipitoisuudet sekä lämpötila ja pH. Optimi pH struviitin muodostumiselle on jätevedessä noin 8 - 11. Kalkkisaostus voi vaikuttaa pH:n nousun kautta struviitin muodostuksen kannalta edullisesti jäteveden olosuhteisiin ja lisätä näin struviitin muodostusta. Struviitin muodostukselle on kuitenkin tärkeää saavuttaa optimiolosuhteet magnesium- ammoniumtyppi- ja fosfaattipitoisuuden suhteen. Kalkkisaostus vaikuttaa näihin moolisuhteisiin saostamalla osan jätevesilietteen sisältämistä magnesiumista. Kalkkisaostuksen takia jäteveden kalsiumpitoisuus myös nousee, joka aiheuttaa kilpailua fosfaatti-ioneista. Magnesiumin ja fosfaatin saostumisen kautta kalkkisaostus voi haitata ja tätä kautta vähentää struviitin muodostumista jätevedenpuhdistusprosessissa. Tehdyissä laboratoriomittakaavan kokeissa ei havaittu sakkojen muodostumista laitteistoon. (Luostarinen;ym., 2011 ss. 35-36).

### 5.11.3 Polymeeri

Lietteen kuivauksessa apuna käytettäviä polymeerejä on monia ja niiden optimitoimintaolosuhteet vaihtelevat. Kalkin lisäys mädätettyyn lietteeseen muuttaa lietteen ominaisuuksia ja saattaa näin johtaa käytetyn polymeerin uudelleen valintaan. Kalkin lisäys lietteeseen johtaa myös lietemäärän kasvuun ja näin lisää mahdollisesti myös polymeerin kulutusta. Yleisesti kalkin lisääminen lietteeseen parantaa lietteen kuivattavuutta.

### 5.11.4 Linkojen mekaaninen kuluminen

Liukenematon ja saostunut kalkki saattaa kertyä lietteessä olevien partikkelien, kuten hiekan ympärille muodostaen suurempia kovia jyväsiä. Suomenojan jätevedenpuhdistamon mädätetty liete oli koostumukseltaan muita tutkittuja lietteitä rakeisempaa. Lietteen seassa oli myös hiekkaa ja mädätyksessä hajoamatonta orgaanista ainesta kuten hiuksia. Saostuskokeissa näitä halkaisijaltaan noin 1 - 2 mm jyväsiä muodostui vain Suomenojan puhdistamon lietteen kohdalla (Kuva 16). Lietteen seassa olevat kovat jyväset voivat aiheuttaa linkokuivauksessa ylimääräistä mekaanista rasitusta ja näin myös mahdollista linkojen kulumista. Syntyneiden sakkujen tarkempaa koostumusta ei ollut mahdollista analysoida tämän työn yhteydessä.



*Kuva 16 Suomenojan jätevedenpuhdistamon lietteen saostuskokeissa syntyneitä kovia jyväsiä. Kuvassa olevat jyväset ovat muodostuneet saostettaessa kalsiumhydroksidilla 16.4.2012. (Kuva Miia Arkiomaa, 2012).*

### 5.12 Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektiveden erilliskäsittelyn ja mädätetyn lietteen tasetarkastelu

Työssä saatujen tuloksien perusteella tasetarkasteluun päätettiin ottaa Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektivesi ja mädätetty liete. Tarkastelussa on laskettu kalkkikäsittelyn vaikutus puhdistamon fosforitaseeseen sekä tarvittavan kalkkimäärän aiheuttamat kustannukset. Kappaleen lopussa on myös listattu kalkin annosteluun tarvittavat laitteistot puhdistamolla. Tulokset on laskettu saostuskokeissa käytetyn kalkkimäärän ja saavutetun fosforinpoistoreduktion perusteella (Taulukko 23). Laskennassa on käytetty Kariniemen jätevedenpuhdistamon keskimääräisiä kuukausittaisia virtaustietoja ja fosforipitoisuuksia tammikuusta elokuuhun 2012 (Taulukko 22). Puhdistamon fosforikuormassa 182,6 kg/d on mukana rejektiveden aiheuttama sisäinen kuormitus 19,1 kg/d eli puhdistamolle tulevan jäteveden aiheuttaman fosforikuormituksen on laskettu olevan 163,5 kg/d.

Taulukko 22 Fosforitaseen laskemiseksi käytetyt Kariniemen jätevedenpuhdistamon lähtötiedot.

Lähtötiedot		Yksikkö
Rejektiveden P-kuorma	19,1	kg/d
Rejektiveden PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -kuorma	14,0	kg/d
Mädätetyn lietteen PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /Kok-P -suhde	7	%
Puhdistamon P-kuorma	182,6	kg/d
Puhdistamon P-reduktio	97,5	%

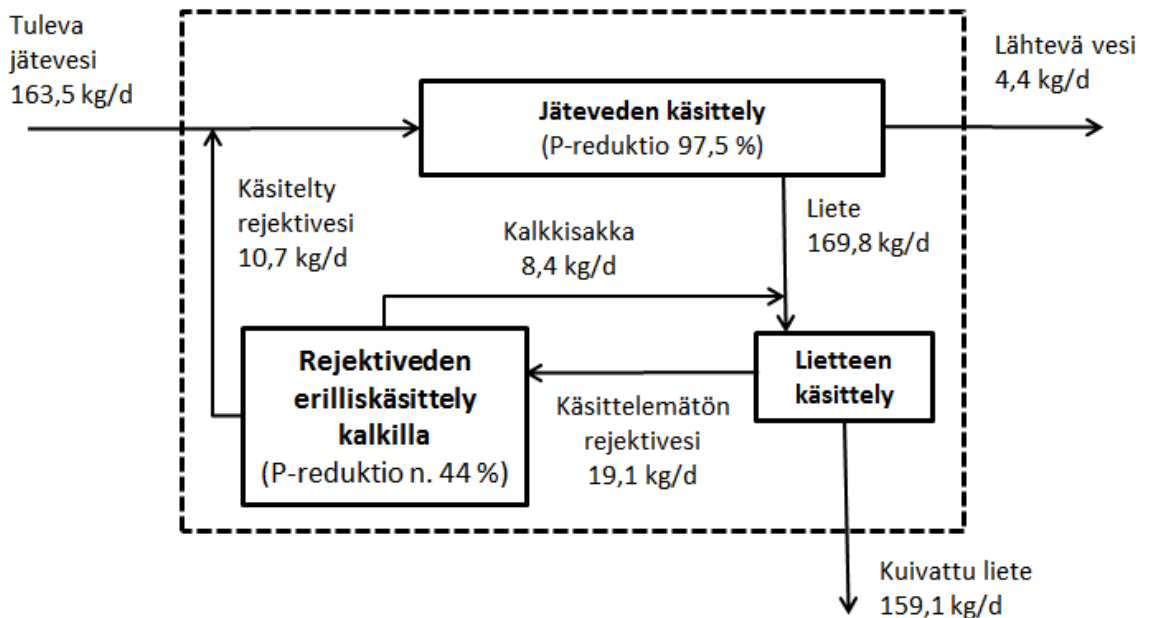
Taulukko 23 Kalkkikäsittelyn fosforinpoistoreduktio Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektivedestä ja mädätetystä lietteestä.

Kalkkikäsittelyn P-reduktio		Yksikkö
Rejektiveden PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -kuormasta	60	%
Mädätetyn lietteen PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -kuormasta	45	%

### 5.12.1 Rejktiveden erilliskäsittely kalkilla

Tasetarkastelussa on laskettu miten rejktiveden erilliskäsittely kalkilla vaikuttaisi jätevedenpuhdistamon fosforitaseeseen ja sisäiseen fosforikuormitukseen.

Rejktiveden fosfaattipitoisuuden 14,0 kg/d ja kalkkikäsittelyn fosfaattireduktion 60 % perusteella voidaan laskea, että rejktiveden erilliskäsittely kalkilla alentaa 8,4 kg/d rejktiveden fosfaattikuormaa. Rejktiveden kalkkikäsittely siis alentaa suoraan puhdistamon fosforikuormaa 8,4 kg/d. Kuvassa 17 on esitetty rejktiveden kalkkikäsittelyn vaikutus fosforikuormitukseen Kariniemen jätevedenpuhdistamon eri prosesseissa.



Kuva 17 Kaaviokuva Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejktiveden erilliskäsittelystä ja fosforikuormituksesta puhdistamon eri prosesseissa.

Kariniemen puhdistamon sisäinen fosforikuormitus on nykyisin 10,5 % kokonaisfosforikuormituksesta. Jos rejktiveden erilliskäsittely toteutettaisiin kalkilla, fosforin sisäisen kuormituksen osuus kokonaisfosforikuormituksesta laskisi 6,1 %:iin, eli käsittely pienentäisi puhdistamon sisäistä fosforikuormitusta 4,3 %. Tuloksissa ei ole huomioitu että rejktiveden kalkkikäsittely voi sisäisen kuormituksen kautta jatkossa vaikuttaa hieman lietteen fosforikuormaan ja pienentää rejktiveteen päätyvää fosfaattimäärää.

Kariniemen jätevedenpuhdistamolla rejektiveden erilliskäsittelyä oli kokeiltu myös aikaisemmin rautakemikaalilla (PIX). Rautakemikaalilla rejektiveden fosfaattipitoisuus oli saatu alenemaan tasolle 8 mg/l (n = 1). Rautakemikaaliin verraten kalkkikäsittelyllä päästiin rejektivedellä lähes samaan fosfaattipitoisuuteen noin 8 - 10 mg/l.

Rejektiveden erilliskäsittelyn kustannukset Kariniemen jätevedenpuhdistamolla olisi laskennallisesti kalkin kulutuksen perusteella noin 525 euroa päivässä ja poistettua fosforikiloa kohden laskettuna noin 62 euroa (Taulukko 25). Taulukossa 24 on esitetty kalkkikäsittelyn kustannuksien laskemiseksi käytetyt lähtötiedot. Kalkkikäsittelyn kemikaalikustannusten laskemiseksi kalsiumhydroksidille on käytetty hintaa 0,6 €/kg (alv. 0 %). Kalsiumhydroksidin hinta ei sisällä rahtikustannuksia.

*Taulukko 24 Kalkkikäsittelyn kustannuksien laskemiseen käytetyt lähtötiedot.*

Lähtötiedot		Yksikkö
Rejektiveden virtaama	250	m <sup>3</sup> /d
Ca(OH) <sub>2</sub> -annos	3,5	kg/m <sup>3</sup>
Ca(OH) <sub>2</sub> -syöttö	875	kg/d
Ca(OH) <sub>2</sub> -hintaa	0,6	€/kg

*Taulukko 25 Kalkkikäsittelyn kustannukset rejektiveden erilliskäsittelyssä Kariniemen jätevedenpuhdistamolla.*

Kalkkikäsittelyn kustannukset	
62	€/kg P
525	€/d

Jätevedelle ferrosulfaatin annostus on noin 2,5 - 3,5 kg rautaa fosforikiloa kohden. Oletetaan että 1 kg rautaa saostaa jätevedestä pois 2,5 kg fosforia ja ferrosulfaatti sisältää rautaa noin 0,18 %. Oletetaan myös että ferrosulfaatilla päästään rejektivedellä samaan fosforinpoistoreduktioon kuin kalkilla. Ferrosulfaatin kustannus on noin 40 euroa tonnilta, jolloin kemikaalikustannus ferrosulfaatilla olisi 9 euroa poistettua fosforikiloa kohden eli puhdistamolla noin 75 euroa päivässä. Fosforin poisto rejektivedestä kalkilla tulee kemikaalikustannuksilta huomattavasti ferrosulfaattia kalliimmaksi.

### 5.12.2 Määdätettyyn lietteen kalkkikäsittely

Määdätetyn lietteen kohdalla on tarkasteltu miten kalkkikäsittely vaikuttaa lietteen mekaanisessa kuivauksessa syntyvän rejektiveden fosforikuormaan. Jätevedenpuhdistamon nykyisen fosforikuorman 182,6 kg/d ja jäteveden käsittelyn fosforinpoistoreduktion perusteella 97,5 % voidaan olettaa että päivittäinen fosforikuorma määdätetyssä lietteessä on 178,0 kg/d. Työssä käsiteltyjen Kariniemen puhdistamon määdätetyn lietteen tuloksien perusteella oletetaan että määdätetyn lietteen fosforikuormasta noin 7 % on liukoista fosfaattia eli lietteen fosfaattikuorma on noin 12,6 kg/d. Lietteän kalkkikäsittelyllä saadaan 45 % tästä fosfaatista poistumaan eli kalkkikäsittelyn ja lietteen mekaanisen kuivauksen jälkeen rejektiveteen jäävä fosforipitoisuus on näin 5,7 kg/d pienempi. Määdätetyn lietteen kalkkikäsittelyn ja mekaanisen käsittelyn jälkeen rejektiveden fosforikuorma on näin 13,4 kg/d. Tuloksen perusteella voidaan todeta että määdätetyn lietteen kalkkikäsittely pienentää lietteen mekaanisessa käsittelyssä syntyvän rejektiveden fosforikuormaa noin 30 %. Laskuissa on oletettu että lietteen mekaaninen kuivaus toteutetaan heti kalkkikäsittelyn jälkeen, jolloin mahdollista fosfaatin liukenemista takaisin lietteestä liukoiseen faasiin ei tapahdu.

Puhdistamon sisäisen kuormituksen osuus määdätetyn lietteen kalkkikäsittelyn jälkeen on noin 7,6 %, eli lietteen kalkkikäsittely pienentää puhdistamon sisäistä kuormitusta noin 2,9 %. Puhdistamon sisäistä kuormitusta laskettaessa ei ole huomioitu että lietteen kalkkikäsittelyn aloittamisen jälkeen puhdistamon sisäinen kuormitus myös laskee. Tämä vaikuttaa puhdistamon jäteveden käsittelyyn päätyvään fosforikuormaan ja pienentää jatkossa hieman lietteen fosforikuormaa. Lietteän kalkkikäsittely vaikuttaa mahdollisesti myös hieman määdätetyn lietteen fosfaatti- ja kokonaisfosforisuhteeseen.

Lietteän kalkkikäsittelyn kustannukset Kariniemen jätevedenpuhdistamolla olisi laskennallisesti kalkin kulutuksen perusteella noin 900 euroa päivässä ja poistettua fosforikiloa kohden laskettuna noin 158 euroa (Taulukko 27). Taulukossa 26 on esitetty lietteen kalkkikäsittelyn kustannuksien laskemiseksi käytetyt lähtötiedot. Kalkkikäsittelyn kemikaalikustannusten laskemiseksi kalsiumhydroksidille on käytetty hintaa 0,6 €/kg (alv. 0 %). Kalsiumhydroksidin hinta ei sisällä rahtikustannuksia.

Kalkkisaostusta voidaan pitää kilpailukykyisenä vaihtoehtona vain, jos sillä voidaan saavuttaa kustannussäästöä myös lietteen kaasuntuoton katkaisussa ja hygienisoinnissa.

*Taulukko 26 Kalkkikäsittelyn kustannuksien laskemiseen käytetyt lähtötiedot.*

Lähtötiedot		Yksikkö
Mädätetyn lietteen virtaama	300	m <sup>3</sup> /d
Ca(OH) <sub>2</sub> -annos	5,0	kg/m <sup>3</sup>
Ca(OH) <sub>2</sub> -syöttö	1500	kg/d
Ca(OH) <sub>2</sub> -hintaa	0,6	€/kg

*Taulukko 27 Kalkkikäsittelyn kustannukset rejektiveden erilliskäsittelyssä Kariniemen jätevedenpuhdistamolla.*

Kalkkikäsittelyn kustannukset	
158	€/kg P
900	€/d

### 5.12.3 Kalkkikäsittelyä varten puhdistamolla tarvittavat laitteistot ja tasetarkastelun johtopäätökset

Kalkkikäsittelyä varten jätevedenpuhdistamolla tarvitaan myös laitteistot kalkin syöttämiseksi rejektiveteen. Kalkin syöttöä varten tarvitaan kalkkisäiliö, kuljetin, sekoitin ja sekoitusallas jossa kalkkisaostus tapahtuu. Rejektiveden kalkkikäsittely vaatii myös putkitusten järjestämistä rejektiveden syntypaikan ja käsittelyaltaan välille, sekä ammoniakkin keräyslaitteiston.

Rejektiveden kalkkikäsittelyä voidaan pitää käyttökelpoisena vaihtoehtona sellaisilla laitoksilla, joissa rejektiveden aiheuttama sisäinen fosforikuormitus on suuri. Kyseisillä laitoksilla rejektiveteen tehtävän kalkkiannostelun seurauksena pääprosessin alkalointikemikaalin annostelua voitaisiin näin mahdollisesti vähentää. Mädätetyn lietteen kalkkikäsittelyä voidaan mahdollisesti toteuttaa sellaisilla laitoksilla, joissa mekaanisesti kuivattu liete tullaan myös kalkkistabiloimaan. Lietteiden kalkkikäsittelyllä voidaan saavuttaa etua laitoksen sisäisen fosforikuormituksen pienemisessä ja mahdollisesti vähentää jatkossa lietteiden kalkkistabiloinnissa tarvittavaa kalkkimäärää.

## 6 Johtopäätökset

Lietteen maatalouskäytön kannalta lietteen kalkkistabilointi tulisi tehdä märälle lietteelle, jolloin kalkki parantaisi lietteen sisältämän fosforin käyttökelpoisuutta kasveille (Seyhan ja Erdinler, 2003). Kuten tässä työssä tehdyissä lietekokeissa havaittiin, kalkki saostaa liukoista fosforia, mutta se myös samalla lisää kemiallisen fosforinpoiston aikana lietteeseen sitoutuneen fosforin vapautumista. Kalkin aiheuttama lietteeseen sitoutuneen fosforin vapautuminen voimistuu jo muutamien tuntien kuluessa, joten lietteen mekaanisen kuivaamisen tulisi tapahtua nopeasti märän lietteen kalkkikäsitteilyn jälkeen. Lietteen kalkkikäsitteilyä gravitaatiotiivistyksessä voidaan pitää soveltuvana menetelmänä laitoksilla, joissa sisäinen fosforikuormitus on suuri, ja joilla lietteen hygienisointi tapahtuu kalkkistabiloimalla. Tällöin gravitaatiotiivistyksen yhteydessä tapahtuva annostelu vähentäisi stabiloinnin yhteydessä tarvittavaa annostelumäärää.

Jätevedenpuhdistamolla rejektivesien tai lietteen kalkkikäsitteily ja pH:n nosto samalla vapauttaa ammoniumtyyppiä ammoniakkinä, joten kaasumaisen ammoniakkin muodostuminen tulee hallita prosessissa. Mädätetyn lietteen kalkkikäsitteilyn haittana on myös mahdollisten kiinteiden partikkeleiden muodostuminen lietteen sekaan, joilla saattaa olla mekaanisia kuivauslinkoja kuluttava vaikutus. Kalkin lisäys voi myös aiheuttaa mahdollisia kalkkisaostumia lietteen ja rejektivesien käsittelylaitteisiin tai putkistoihin (Luostarinen;ym., 2011).

Kalkin lisäys lietteeseen ja lietteen pH:n nosto parantaisi kirjallisuuden mukaan lietteen laskeutuvuutta (EuLA, 2012). Suomenojan jätevedenpuhdistamon mädätetyn lietteen kohdalla kalkkilisäyksellä saatiin flotatoitunut lietepatja laskeutumaan, mutta muilla työssä tehdyillä lietekokeilla ei kuitenkaan voitu osoittaa kalkkilisäyksellä olevan suoranaista vaikutusta lietteen gravitaatioperusteiseen laskeutuvuuteen. Kalkin lisäyksen työssä käytetyssä mittakaavassa ei havaittu lisäävän lietteen tai rejektiveden vaahtoavuutta. Kalkin lisäys voi jätevedenpuhdistamolla vaikuttaa lietteen laskeutuvuuden ja veden erottuvuuden parantamiseksi käytettävän polymeerin toimintaan ja johtaa polymeerin uudelleen valintaan. Taulukossa 28 on esitetty kalkkisaostuksen kemialliset

ja fysikaaliset sekä mahdolliset biologiset reaktiot jotka vapauttavat tai sitovat liukoista fosforia. Seuraavalla sivulla taulukossa 29 on käsitelty kalkkisaostuksen toteutuksen etuja ja haittoja kokonaisuudessaan jätevedenpuhdistamolla.

Fosforin kalkkisaostuksen jäännöspitoisuuksien takia vähän liukoista fosforia sisältävien lietteiden tai rejektivesien kalkkikäsittely ei ole fosforinpoiston tehokkuuden kannalta mielekästä, mikä havaittiin Suomenojan ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden mädätin lietteen ja rejektivesien kohdalla. Jätevedenpuhdistamon sisäisen fosforikuorman pienentämiseksi runsaasti liukoista fosforia sisältävien rejektivesien erilliskäsittely kalkilla, kuten Kariniemen jätevedenpuhdistamon rejektivesien tapauksessa, on jätevedenpuhdistamolla taloudellisesti varteenotettava vaihtoehto.

*Taulukko 28 Kalkkisaostuksen vaikutukset mädätetyn lietteen ja rejektiveden sisältämään liukoiseen fosforiin.*

	<b>Sitoo</b>	<b>Vapauttaa</b>
<b>Liete</b>		
Kalkkisaostus	+	
Rautahydroksidiyhdisteet <sup>1</sup>		-
Lietteen sisältämän orgaanisen aineksen hapettuminen ja toiminta <sup>2</sup>	+	-
<b>Rejekti</b>		
Kalkkisaostus	+	

Taulukko 29 Kalkkikäsittelyn vaikutukset mädätettyyn lietteeseen ja rejektiveteen jätevedenpuhdistamolla.

Vaikutus	Mädätetty liete	Rejektivesi
Fosfaattia saostuu	+	+
Vähentää puhdistamon sisäistä fosforikuormitusta		+
Parantaa mahdollisesti lietteen kuivattavuutta <sup>3</sup>	+	
Parantaa flotatoituvan lietteen laskeutumista	(+)	
Nostaa lietteen arvoa maatalouskäytössä	+	
Lietteestä vapautuu fosfaattia pH:n noston myötä	-	
Liete linkojen mahdollinen kuluminen	-	
Vapauttaa ammoniakkia	-	-
Mahdolliset putkisaostumat <sup>4</sup>	-	-
Lietetilavuuden lisääntyminen	-	
Voi johtaa polymeerin uudelleen valintaan	-	
Investoinnit kalkkikäsittelyn toteuttaminen	+/-	+/-
<sup>1)</sup> (Hartikainen & Peltovuori, 2002; Lambertus ja Lijklema, 1980) <sup>2)</sup> (Hartikainen, 2012; Erdinçler ja Seyhan, 2006) <sup>3)</sup> (EuLA, 2012) <sup>4)</sup> (Luostarinen;ym., 2011 ss. 35-36).		

## 7 Jatkotutkimusehdotukset

Alla on lueteltu mahdollisia jatkotutkimuskohteita, joita nousi esiin tätä diplomityötä tehtäessä. Koska lietteen biologinen toiminta on riippuvainen tietyistä pH -alueesta, lietteen metaanikaasuntuoton katkaisu mädätyksen jälkeen olisi ehkä mahdollista toteuttaa kalkilla esim. gravitaatiotiivistyksen yhteydessä. Jos kaasuntuoton katkaisu toteutettaisiin puhdistamalla kalkilla, kalkkiannostelun kustannukset saattavat jäädä esimerkiksi ilmastamalla toteutettua kaasuntuoton katkaisua edullisemmaksi. Tässä työssä ei tutkittu kalkikäsittelyn vaikutusta mädätetyn lietteen kaasuntuotantoon kalkikäsittelyn jälkeen.

Lietteen kalkikäsittelyllä on kirjallisuudessa esitetty olevan etua lietteen laskeutuvuuteen ja kuivattavuuteen (EuLA, 2012). Kalkin vaikutusta lietteen tiivistymiseen gravitaatiotiivistyksessä tulisi tutkia gravitaatiotiivistymistä paremmin kuvaavien koejärjestelyiden avulla. Kalkikäsittelyn tuomaa etua lietteen mekaanisessa kuivauksessa olisi mahdollista tutkia käytännön kokeilla tietyillä kalkin annostuksilla. Lietteen mekaanisen kuivauksen yhteydessä olisi myös mahdollista tutkia kalkikäsittelyn todellisia vaikutuksia linkojen kulumiseen. Käytännön pitkäkestoisissa kokeissa tulisi arvioida myös mahdollisia putkistoihin ja käsittelylaitteistoihin muodostuvia kalkkisaostumia.

Tässä työssä kalkikäsittelyn vaikutusta lietteen hygieeniseen laatuun tutkittiin vain yhdellä näytteellä pH:ssa noin 9. Kalkikäsittelyn ja pH:n nousun todellisia vaikutuksia lietteen hygieeniseen laatuun tulisi tutkia laajemmalla otannalla, jotta asiasta voisi tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

Kirjallisuudessa on esitetty että fosforin saostaminen jätevedenpuhdistusprosessissa voidaan toteuttaa kalkin ja rauta- ja alumiini-suolan yhteissaostuksella (Tchobanoglous ja Burton, 1991). Koska kalkilla on lietteeseen sekä liukoista fosforia saostava sekä vapauttava vaikutus olisi mielenkiintoista tutkia miten kalkkisaostus vaikuttaa esim. ferrosulfaatin kulutukseen ja lietteeseen jäävän fosforin määrään.

Tässä työssä on keskitytty vain kokeilemaan kalkkikäsittelyn vaikutusta biologis-kemiallisesti käsitellyn jätevedenpuhdistuslaitoksen mädätettyyn lietteeseen ja rejektiveteen. Kalkkikäsittelyä olisi mahdollista kokeilla myös sellaisen jätevedenpuhdistamon lietteeseen, jossa jäteveden ravinteiden poisto on toteutettu vain biologisin menetelmin. Biologisessa prosessissa syntyneellä lietteellä rautakemikaalista johtuva fosforin vapautuminen voidaan rajata näin kalkkisaostuksen ulkopuolelle (Hartikainen & Peltovuori, 2002).

## Lähteet

Arnold, E.; Böhm, B. ja Wilderer, P.A. 2000. "Application of activated sludge and biofilm sequencing batch reactor technology to treat reject water from sludge dewatering systems". *Water Science and Technology*. Vol. 41, no. 1, pp. 115-122.

Barat, R.; Montoya, T.; Seco, A.; Ferrer, J. 2011. "Modelling biological and chemically induced precipitation of calcium phosphate in enhanced biological phosphorus removal systems" *Water Research*. Vol. 45, no. 12 s.3744-3752.

Bohn, H. L.; McNeal, B. L. ja O'Connor, G. A. 2001. *Soil Chemistry*. 3<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons. ISBN 0471363391.

Erdinçler A. ja Seyhan L.D. 2006. "Agricultural use of municipal wastewater sludges: phosphorus availability of biological excess phosphorus removal sludges". *Water and Science & Technology*. Vol. 54, no. 5, pp. 131-138.

EuLA. 2012. "Lime for a Clean Environment: Lime and Dolomite Products for the Treatment of Drinking Water, Waste Water and Sewage Sludge". [*Esite*]. European Lime Association.

European Commission. 2002. "Review report for the active substance ferric phosphate". [*Verkkajulkaisu*]. Commission Working Document, 8.3.2002. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/newactive/list1-05\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/newactive/list1-05_en.pdf).

Ferrosulfaatin käyttöopas. 2002. Kemira Oy:n toimeksiannosta Suunnittelukeskus Oy. [*Verkkajulkaisu*]. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Media/Publications/Water/kayttopaat\\_ferrosulfaatti.pdf](http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Media/Publications/Water/kayttopaat_ferrosulfaatti.pdf).

Hartikainen H. ja Peltovuori T. 2002. "Fosforin reaktiot ja liikkuminen maaperässä". [*Verkkajulkaisu*]. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [www.smts.fi/MTP\\_julkaisu\\_2002/esit/61hartikainen.pdf](http://www.smts.fi/MTP_julkaisu_2002/esit/61hartikainen.pdf).

Hartikainen, H. 2012 Helsingin yliopisto, Maa- ja ympäristökemian professori. [*Sähköpostikirjeenvaihto*]. 19.8.2012. [helina.hartikainen@helsinki.fi](mailto:helina.hartikainen@helsinki.fi).

Heinonen, R.; Hartikainen, H.; Aura, E.; Jaakkola, A. ja Kempainen, E. 1992. *Maa, viljely ja ympäristö*. 1.-3. painos. Helsinki: WSOY. ISBN 951-0-17090-9.

Hienonen, L. 2009. *Diplomityö Rejektiveden biologisen erilliskäsittelyn koeajot Viikissä*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

HSY. 2012. "Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2011 - Viikinmäen ja Suomenojan puhdistamot". [Verkkajulkaisu]. HSY:n julkaisuja 4/2012. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, 20.3.2012. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/4\\_2012\\_jatevedenpuhdistus\\_paakaupunkiseudulla2011.pdf](http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/4_2012_jatevedenpuhdistus_paakaupunkiseudulla2011.pdf). ISSN 1798-6095.

Isoaho S. ja Valve M. 1986. Vesikemian perusteet. 2. painos. Helsinki: Otakustantamo. ISBN 951-672-048-x.

Janus H. M. ja van der Roest H. F. 1997. "Don't reject the idea of treating reject water". *Water Science and Technology*. Vol. 35, no. 10, pp. 27-34.

Kapuinen, P. 2008. "Lietteen hyötykäyttö maataloudessa". [Verkkajulkaisu]. Jokioinen: Kasvintuotannon tutkimus. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/files/54/kapuinen\\_petri.pdf](http://www.vvy.fi/files/54/kapuinen_petri.pdf).

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupahakemus. 2011. Päätös Nro 27/2011/1. Lahti: Aluehallintovirasto Itä-Suomi Ympäristövastuualue.

Käyttöturvallisuustiedotteet: kalsiumhydroksidi ja kalsiumoksidi. 2011. Nordkalk Oy.

Kiuru & Rautiainen Oy. 2008. "Vuohiniemen jätevedenpuhdistamo lietteen kalkkistabilointiprosessin kehittäminen". [Verkkajulkaisu]. Loppuraportti. Iisalmen Vesilaitos, 28.11.2008. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.iisalmi.fi/loader.aspx?id=cb65d136-1c0a-40fb-ba32-e91b0931735a>.

Lahden kaupunki. 2010. "Vesihuollon kehittämissuunnitelma". [Verkkajulkaisu]. 13.10.2010. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/F3BC77EABAF4EA06C225780A00426BE9/\\$file/vesihuollon%20kehitt%C3%A4missuunnitelma\\_lopullinen\\_NETTIIN.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/F3BC77EABAF4EA06C225780A00426BE9/$file/vesihuollon%20kehitt%C3%A4missuunnitelma_lopullinen_NETTIIN.pdf).

Lahti Aqua Oy. 2012a. Puhdistustuloksia. [Verkossa]. [Viitattu: 31.8.2012] Saatavissa: <http://www.lahtiaqua.fi/Toiminta/J%C3%A4teveden%20puhdistus/Puhdistustuloksia>.

Lambertus ja Lijklema. 1980. "Interaction of Orthophosphate with Iron (III) and Aluminium Hydroxides". *Environmental Science & Technology*. Vol. 14, no. 5, pp. 537-541.

Lange, N. A. 1985. Lange's Handbook of Chemistry. Dean, J. A. (toim.). Thirteenth edition. McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-016195-5.

Lannoitevalmistelaki 539/2006. 2006.

Lehtinen, E. 2010. "Suomenjäteveden puhdistamon toiminta vuonna 2009". [*Verkkojulkaisu*]. Raportti. HSY Vesi, Jätevedenpuhdistusosasto, Valvontapalvelut, 1.3.2010. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://prod07.tjhosting.com/Espoo/Epadyne/intrakun\\_e.nsf/3e12a7fcbc9e6736c22569d90040f1cd/d953e99473d777eac22577e50036856d/\\$FILE/Suomenojan%20jvp%20009.pdf](http://prod07.tjhosting.com/Espoo/Epadyne/intrakun_e.nsf/3e12a7fcbc9e6736c22569d90040f1cd/d953e99473d777eac22577e50036856d/$FILE/Suomenojan%20jvp%20009.pdf).

Luostarinen, S.; Paavola, T.; Ervasti, S.; Sipilä, I. ja Rintala, J. 2011. "Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelymenetelmät". [*Verkkojulkaisu*]. MTT raportti 27. Mikeli: MTT Jokoinen. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti27.pdf>. ISBN 978-952-487-333-8.

Maaseutuvirasto. 2009. "Opas ympäristötuen ehtojen mukaiseen lannoitukseen 2007-2013". [*Verkkojulkaisu*]. Maaseutuviraston julkaisusarja: Hakuoppaita ja ohjeita. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: [http://www.mavi.fi/attachments/mavi/viljelijatueta/hakuoppaitaohjeet/ymparistotuen\\_perusjalsatoimenpiteidenoppaat/5FSJ2pUCH/912996\\_lannoiteopas\\_LR\\_vii.pdf](http://www.mavi.fi/attachments/mavi/viljelijatueta/hakuoppaitaohjeet/ymparistotuen_perusjalsatoimenpiteidenoppaat/5FSJ2pUCH/912996_lannoiteopas_LR_vii.pdf). ISBN 978-952-453-473-1.

MMM 11/12. 2012. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 11/12 lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta.

MMM 12/12. 2012. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 12/12 Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta.

MMM 24/11. 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11 lannoitevalmisteista.

MMM 503/2007. 2007. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 503/2007 maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuksista.

Neuvoston direktiivi 1999/31/EY. 1999. Kaatopaikoista. [*Verkkojulkaisu*]. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. Euroopan Unionin neuvosto, 26.4.1999. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0001:FI:PDF>.

Nikunen, E. 2010. "Puhdistamolietteet pelloille – olisiko parempi katsoa kuin katua?". *Maaseudun tulevaisuus*. 17.2.2010. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=352550&lan=fi&clan=fi>.

Nordkalk Oy. 2012a. Jätevesi. Lietteet. [*Verkossa*]. [Viitattu: 8.22.2012] Saatavissa: <http://www.nordkalk.com/default.asp?viewID=710> ja <http://www.nordkalk.com/default.asp?viewID=712>

Nordkalk Oy. 2012b. Jätevesien pH:n säätö ja alkalointi. [*Esite*].

- Nykänen-Kurki, P.; Mäkelä-Kurtto, R.; Mäkinen-Aakula, M; Tontti, T. ja Mäntylähti, V. 2001. "Mikkelin kaupungin puhdistamolietteen käyttömahdollisuus maataloudessa". [Verkkajulkaisu]. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja95.pdf>. ISSN 1239-0844 / ISBN 951-729-614-2.
- Patnaik, P. 2003. Handbook of Inorganic Chemicals. McGraw-Hill. ISBN 1-59124-467-6.
- Pfister, K. 2012. "Ehdotus Valtioneuvoston asetukseksi kaatopaikoista". [Verkkajulkaisu]. Ympäristöministeriö, 5.9.2012. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=136401&lan=fi>.
- Pöyry Environment Oy. 2007. "Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys". [Verkkajulkaisu]. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/NR/rdonlyres/BFCEC181-4AD7-4B1A-B7B6-27045F8280FC/0/Lietteenk%C3%A4sittely.pdf>. ISBN 978-951-563-597-6.
- RIL 124-2. 2004. Vesihuolto II. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. ISBN 951-758-438-5.
- Robert C. ja Weast Ph. D (toim.). 1983. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 64<sup>th</sup> ed. ISBN 0-8493-0464-4.
- Schipper, W.J.; Klapwijk, A.; Potjer, B.; Rulkens, W.H.; Temmink, B.G.; Kiestra F.D.G. ja Lijmbach A.C.M. "Phosphate recycling in the phosphorus industry". [Viitattu: 16.8.2012] Saatavissa: <http://www.thermphos.com/Home/Documentation/~~/media/Pdf/documents/PhosphorusRecycling%20pdf.ashx>.
- Seyhan, D. ja Erdinler, A. 2003. "Effect of lime stabilisation of enhanced biological phosphorus removal sludges on the phosphorus availability to plants". *Water Science and Technology*. Vol. 48, no. 1, pp. 155-162.
- Suomen ympäristökeskus. Puhdistamoliete. [Verkossa]. [Viitattu: 11.9.2012] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=19639&lan=fi>.
- Suomenojan jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus. 2007. Lupapäätös Nro 26/2007/1. Helsinki: Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto, 27.6.2007.
- Tchobanoglous ja Burton. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Re-use. Third Edition. Metcalf & Eddy, McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-100824-1.
- Valtakunnallinen jätesuunnitelma. 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtioneuvoston päätös valtakunnallisesta jätesuunnitelmasta vuoteen 2016, 10.4.2008. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu: 17.10.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=83458&lan=fi>.

Vihersaari, V. 2002. "Puhdistamoliete - parasta pelloille". [Verkkajulkaisu]. Tutkimusraportti. Varsinais-Suomen Agenda 21. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.valonia.fi/public/download.aspx?ID=101206&GUID=%7B040D1AB8-86DE-4C4C-ACB6-6ACC2FA2246C%7D>.

Vihersaari, V. 2004. "Opas puhdistamolietteen maatalouskäytöstä". [Verkkajulkaisu]. Varsinais-Suomen Agenda 21. [Viitattu: 9.8.2012]. Saatavissa: <http://www.valonia.fi/public/download.aspx?ID=66218&GUID=%7BC280CAEC-DB71-4F31-8FAC-4C824B84A3D3%7D>. ISBN 951-97953-8-3.

VNa 179/2012. 2012. Valtioneuvoston asetus 179/2012 jätteistä.

VNa 931/2000. 2000. Valtioneuvoston asetus 931/2000 maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. Valtioneuvoston päätös

VNp 365/1994. 1994 Valtioneuvoston päätös 365/1994 yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä.

## **Liitteet**

### **Liiteluettelo**

Liite 1. Sammutettu kalkki tuotekortti 1 sivu.

Liite 2. Poltettu kalkki tuotekortti 1 sivu.

**Nordkalk SL T**

Tuoteseloste

Tuote: Sammutettu kalkki, Ca(OH)<sub>2</sub>  
 Valmistuspaikka: Tytyri, Lohja  
 Raaka-aine: Suomalainen kalkkikivi

21.06.2011

**Kemiallinen koostumus**

Menetelmä: XRF. Alkuaineiden osuudet ilmoitettu oksidipainoprosentteina.

CaO	73,1 %	MgO	1,0 %
SiO <sub>2</sub>	1,0 %	K <sub>2</sub> O	0,03 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2 %	Na <sub>2</sub> O	0,02 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3 %	MnO	0,05 %

**Hivenaineet**

Menetelmä: SFS 3044

Al	1,0 g/kg		
Cd	0,05 mg/kg	Ni	0,8 mg/kg
Co	0,5 mg/kg	Pb	1,8 mg/kg
Cr	1,4 mg/kg	V	2,3 mg/kg
Cu	1,5 mg/kg	Zn	7,0 mg/kg
Hg	< 0,02 mg/kg	Sb	0,5 mg/kg
As	0,8 mg/kg	Se	1,1 mg/kg

**Hienous**

Menetelmä: seulonta. Tulokset läpäisyprosentteina.

		< 63 µm	89,8 %
< 32 µm	71,1 %	< 74 µm	92,2 %
< 40 µm	79,3 %	< 90 µm	94,9 %

**Muut analyysit**

S	Method: ELTRA	< 0,01 %
P		< 0,005 %
Cl		0,01 %
Kosteus	150 °C	0,56 %
Hehkutushäviö	950 °C	31,9 %
Jäännös CO <sub>2</sub>	Method: ELTRA	0,7 %
Ca(OH) <sub>2</sub>	Method: SFS 5188	95,10 %
Ca(OH) <sub>2</sub>	Method: EN 12485	92,90 %
Liukenematon	Method: SMI	0,57 %
Liukenematon	Method: EN 12485	5,88 %
Ominaispinta-ala	Method: BET	16,90 m <sup>2</sup> /g

Koska tuotteen raaka-aine on luonnollinen mineraali, analyysitulokset saattavat vaihdella. Tässä tuoteselosteessa annetut arvot perustuvat keskiarvoihin ja edustavat ainoastaan tyyppillistä analyysitulosta.

**Myynti:**

Nordkalk Oy Ab  
 21600 Parainen  
 puh. 020 753 7000  
 fax 020 753 7021

**Valmistus ja myynti:**

Nordkalk Oy Ab  
 Tytyri, 08100 Lohja  
 puh. 020 753 7000  
 fax 020 753 7701

**Nordkalk QL 90 T**

Tuoteseloste

22.07.2011

Tuote: Poltettu kalkki, CaO  
 Valmistuspaikka: Tytyri, Lohja  
 Raaka-aine: Suomalainen kalkkikivi

**Kemiallinen koostumus**

Menetelmä: XRF. Alkuaineiden osuudet ilmoitettu oksidipainoprosentteina.

CaO	87,1 %	MgO	1,8 %
SiO <sub>2</sub>	5,3 %	K <sub>2</sub> O	0,3 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3 %	Na <sub>2</sub> O	0,1 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6 %	MnO	0,05 %

**Hivenaineet**

Menetelmä: SFS 3044

Al	4,5 g/kg		
Cd	0,06 mg/kg	Ni	2,1 mg/kg
Co	0,8 mg/kg	Pb	2,6 mg/kg
Cr	5,3 mg/kg	V	6,8 mg/kg
Cu	2,9 mg/kg	Zn	18,8 mg/kg
Hg	< 0,02 mg/kg		

**Hienous**

Menetelmä: Laser.

		< 63 µm	67,9 %
< 32 µm	49,0 %	< 74 µm	72,2 %
< 40 µm	55,6 %	< 90 µm	77,4 %

**Muut analyysit**

S	Menetelmä: ELTRA	0,05 %
P		0,01 %
Cl-		< 0,01 %
Hehkutushäviö	950 °C	3,0 %
Jäännös CO <sub>2</sub>	Menetelmä: ELTRA	2,0 %
Aktiivinen CaO	Menetelmä: SFS 5188	81,9 %
Happoliukoinen CaO	VMKL	86,3 %
Happoliukoinen MgO	VMKL	1,2 %
Liukenematon	Menetelmä: SMI	6,2 %
Ominaispinta-ala	Menetelmä: BET	2,5 m <sup>2</sup> /g

Koska tuotteen raaka-aine on luonnollinen mineraali, analyysitulokset saattavat vaihdella. Tässä tuoteselosteessa annetut arvot perustuvat keskiarvoihin ja edustavat ainoastaan tyypillistä analyysitulosta.

**Myynti:**

Nordkalk Oy Ab  
 21600 Parainen  
 puh. 020 753 7000  
 fax 020 753 7021

**Valmistus ja myynti:**

Nordkalk Oy Ab  
 Tytyri, 08100 Lohja  
 puh. 020 753 7000  
 fax 020 753 7701