

Opinnäytetyö (AMK)

Kemiantekniikka (AMK)

2022

Ria Laitinen

LOPPUSIJOITETTAVAN SAKAN MINIMOINTI LANNOITETEHTAALLA



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Chemical Engineering (AMK)

syksy 2022 | 33 sivua

Ria Laitinen

Loppusijoitettavan sakan minimointi lannoitetehtaalla

Tämän opinnäytetyön aiheena on loppusijoitettavan sakan minimointi lannoitetehtaalla. Tässä työssä sakalla tarkoitetaan lannoitteen prosessin ylijäämää, jota ei vielä luokitella jätteeksi ja jota ei voida sellaisenaan hyödyntää uudelleen tuotannossa alirakeena. Tavoitteena on käytännön selvitystyön eli laboratoriossa tehtävien liuotustestien tulosten kautta minimoida sakan määrää ja tätä kautta säästää jätteenkäsittelyn kustannuksissa. Teoriaosuudessa on käsitelty yleisesti teollisuuden jätteenkäsittelyä, jätelainsäädäntöä sekä erilaisia jätteitä ja käsittelykeinoja. Perimmäisenä kysymyksenä on, että miten alirakeeksi kelpaamaton sakka voitaisiin käsitellä paikan päällä niin, että sitä jouduttaisiin lähettämään loppusijoitukseen mahdollisimman vähän. Ratkaisuehdotuksissa pyritään yhdistämään toimeksianto teoriaan sekä muodostamaan toteutettavissa oleva vaihtoehto lannoitesakan minimoimiseksi. Kustannustehokkuus syntyy vähentämällä sakkaa sellaisin keinoin, että siitä ei aiheudu lisäkustannuksia.

Asiasanat:

Sakka, jäteläki, kustannustehokkuus, minimointi, liuotus, kuivatus, loppusijoitus.

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Chemical engineer (AMK)

Autumn 2022 | 33 pages

By Ria Laitinen

Minimization of sediment disposal at fertilizer factory

The subject of this thesis is minimization of sediment disposal at fertilizer factory. In this study, sediment means the surplus of the fertilizer process, which is not yet classified as waste and which cannot be reused in production as a subgranule. The goal is to minimize the amount of sediment through practical investigation work, i.e. the results of dissolution tests performed in the laboratory, and thereby save on waste treatment costs. In the theory part, industrial waste treatment, waste legislation and various wastes and treatment methods are discussed in general. The ultimate question is how the sediment which is not suitable for subgranules could be processed on site so that as little of it as possible would have to be sent to final disposal as little as possible. The proposed solutions aim to combine the commission with theory and create a feasible alternative to minimize the fertilizer surplus. Cost efficiency is created by reducing the sediment before it is classified as unusable, i.e., waste, and has to be disposed of in a landfill.

Keywords:

Sediment, waste law, cost efficiency, minimization, leaching, drying, final disposal.

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	7
1. Johdanto	9
2. Lainsäädäntö	10
2.1 Vaarallinen jäte	10
2.2 Kaatopaikkakelpoisuus	11
2.3 Lannoitteet	11
2.3.1 Lannoitteiden turvallisuus	12
3. Sakan käsittely	15
3.1 Kuivatus	15
3.1.1 Suolan kriittinen suhteellinen kosteus	16
3.1.2 Kuivatuksen keinot	16
3.2 Liuotus	17
3.3 Liukenemiseen vaikuttavat tekijät	18
3.3.1 pH	18
3.3.2 Lämpötila	19
3.3.3 Sekoitus	19
3.4 Separointi	20
4. Johdanto käytännön selvitystyöhön	21
4.1 Yara Suomi Oy	22
4.2 Lannoiteprosessi	22
4.3 Kiertovesien periaate lannoitetehtaalla	23
4.4 Nykyiset menetelmät ja kehitys	23
4.4.1 Ylivuotoallas	24
5. Liuotuskokeet	26
5.1 Testien suoritus	26
5.2 Tulokset	27
5.3 Kaatopaikkakelpoisuusanalyysit	29

6. Ratkaisuehdotukset	31
6.1 Kuuppa	31
6.2 Propellit	32
6.3 Geotuubi	32
6.4 Epäorgaaninen kierrätyslannoite	33
6.5 Dekantterilinko	35

7. Yhteenveto ja pohdinta	38
----------------------------------	-----------

Lähteet	41
----------------	-----------

Liitteet

Liite 1. Haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet	43
Liite 2. Haitalliset metallit ja niiden enimmäispitoisuudet	44
Liite 3. Liuotuskokeiden suoritus	45

Kuvat

Kuva 1: Saostuman ennustaminen.	18
Kuva 2: Sakan kiertokulku.	21
Kuva 3: Aikajana Yara Suomen historiasta (Yara, 2021).	22
Kuva 4: Ylivuotopatosäiliö (Pngwing, 2022).	25
Kuva 5: Kipsi- ja fosfaattipitoisen sakan liettyminen.	28
Kuvio 6: Liukenemisprosentti eri vesillä.	28
Kuvio 7: Ravinnepitoisuudet allasvesiliuotuksilla.	29
Kuva 8: Kuuppa.	32
Kuva 9: Geotuubit, geosynt.fi.	33
Kuva 10: Haitallisten aineiden pitoisuudet osa 1/2.	34
Kuva 11: Haitallisten aineiden pitoisuudet osa 2/2.	34
Kuva 12: Dekantterilinko ALDEC Decanter Centrifude sisältä (Alfa Laval).	36
Kuva 13: Dekantterilinko ALDEC Decanter Centrifuge ulkoa (Alfa Laval).	36

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Alirae	Lannoiteprosessista syntyvä kiintoaine, joka voidaan sellaisenaan hyödyntää uudelleen osana tuotantoprosessia.
Ekotoksikologia	Ekotoksikologia on tieteenala, joka tutkii myrkyllisten kemikaalien vaikutusta ympäristöön.
Finlex	Oikeusministeriön omistama oikeudellisen aineiston julkinen ja maksuton Internet-palvelu (Finlex, viitattu 21.12.2021).
Jätehuolto	Organisoitu toiminta, jonka tarkoituksena on kerätä, kuljettaa ja varastoida jätteitä sekä järjestää kerätyn jätteen hyödyntäminen, loppukäsittely tai loppusijoitus. Jätehuoltoa katsotaan olevan myös toimet, joilla pyritään estämään jätteen synty (Tilastokeskus, viitattu 2.12.2021).
Kierrätyslannoite	Kasvien lannoittamiseen tai maanparannukseen käytettävä kierrätysravinteita sisältävä lannoitusvalmiste tai teollisuuden prosessin sivutuote (Järki-Lannoite, 2017, viitattu 15.7.2022).
Kustannustehokkuus	Tässä työssä kustannustehokkuuden ajatellaan syntyvän vähentämällä sakan määrää paikan päällä ilman suuria investointeja.
Loppusijoitus	Kaatopaikkasijoittaminen.
Sakka	Virallisesti nesteen pohjalle laskeutuvat kiinteät liukenemattomat osaset, saostuma. Tässä työssä sakka tarkoittaa lannoitteen prosessin ylijäämää, jota ei vielä luokitella jätteeksi ja jota ei voida sellaisenaan hyödyntää uudelleen tuotannossa alirakeena.

Separointi	Kuiva-aineksen erottaminen nesteestä.
Tavanomainen jäte	Suomen lainsäädännössä jäte, joka ei ole vaarallista jätettä eikä pysyvää jätettä (Termipankki, viitattu 8.1.2022).
Teollisuusjäte	Teollisuuden toimialoilla syntyvä tuotantojäte. Teollisuusjätteeksi luetaan joskus myös energiantuotannon jätteet sekä mineraalien kaivun jätteet (Tilastokeskus, viitattu 2.12.2021).
Tuotantojäte	Eri toimialoilla tuotannon yhteydessä syntyneet jätteet ja vastakohta kulutusjätteille, joina ensisijaisesti pidetään yhdyskunta- ja niihin verrattavia jätteitä. Yleensä tuotantojäte on kullakin toimialalla omanlaatuisensa ja jätemäärät hyvin vaihtelevat. Tuotantojätteitä ovat muun muassa kaikki teollisuuden prosessijätteet ja kaivosten sivukivet. Palvelujen tuotannossa kertyy samoin kuin muillakin toimialoilla sekä tuotanto- että kulutusjätettä, vaikka painopiste niissä onkin kulutusjätteissä (Tilastokeskus, viitattu 2.12.2021).

1. Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on loppusijoitettavan sakan minimointi lannoite-
tehtaalla. Tavoitteena on käytännön selvitystyön kautta minimoida sakan mää-
rää ja tätä kautta säästää jätteenkäsittelyn kustannuksissa. Teoriaosuudessa on
käsitelty yleisesti teollisuuden jätteenkäsittelyä, jätelainsäädäntöä sekä erilaisia
jätteitä ja käsittelykeinoja.

Jätelain 5 b § (15.7.2021/714) mukaan jäte ei ole enää jätettä, jos esimerkiksi
sitä voidaan uudelleenkäyttää toiseen tarkoitukseen, sillä on markkinat ja kun
sen käytöstä ei aiheudu vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Nämä kaikki vaati-
mukset tulee täytyä, jotta jätestatus poistuu. Suomen jätelainsäädäntö määrää
tarkasti erilaisten jätteiden luokittelusta sekä käsittelystä ja mitkä ominaisuudet
tekevät esimerkiksi tavanomaisesta jätteestä vaarallista jätettä. Jätelainsäädän-
tön tehtävänä on suojella ympäristöä, luontoa sekä terveyttä (Jätelaki, 2011).

Käytännön selvitystyö on tehty Yara Uusikaupunki- organisaatiolle. Tarkoituk-
sena on kaatopaikkakelpoisuusanalyysin pohjatietojen ja käytännön testausten
pohjalta löytää vaihtoehtoinen ratkaisu sille, että kaikkea sakkaa ei tarvitsisi lä-
hettää loppusijoitukseen. Lannoiteprosessista syntyvä sakka on jätettä vasta
kun se pitää lähettää loppusijoitukseen vaarallisena jätteenä kaatopaikalle, mut-
ta kaikki sakka ei ole välttämättä vaarallista jätettä. Tavoitteena on pitää ravin-
teet tehtaan porttien sisällä, jotta ainakin osa tästä sakasta pystyttäisiin hyödyn-
tämään jotenkin tai käsittelemään paikan päällä kustannustehokkaasti ennen
kuin siitä tulee jätettä. Ensisijaisesti tarkoituksena on keksiä keino, joka ei vaadi
investointeja. Perimmäisenä kysymyksenä on: miten alirakeeksi kelpaamaton
sakka voitaisiin käsitellä paikan päällä niin, että sitä jouduttaisiin lähettämään
loppusijoitukseen mahdollisimman vähän?

2. Lainsäädäntö

Jätelainsäädännön tavoitteena on suojella ympäristöä, luontoa sekä ihmisen terveyttä. Jätelainsäädännössä säädetään kaikesta jätteestä ja vaarallisesta jätteestä on omat säädöksensä. Suomen jätelainsäädäntö on melkein pä yhtä Euroopan unionin jätelainsäädännön kanssa, mutta joiltain osin Suomen lainsäädäntö on laajempi ja tiukempi. Suomen jätelainsäädännössä on muun muuassa jätelaki, ympäristönsuojelulaki sekä monia asetuksia erilaisen jätteen käsittelystä ja kierrätyksestä (Ympäristöministeriö, 2021). Jätelaki velvoittaa vähentämään kaatopaikoille sijoitettavan jätteen määrää muun muuassa mahdollisuuksien mukaan hyödyntämällä jäte. Jätettä hyödynnyttäessä pyritään hyödyntämään jätteen sisältämä aine, ravinne tai/ja energia (Jätelaki, 2011).

Jätelain 8§:n mukaan ensisijaisesti tulee pyrkiä vähentämään syntyvän jätteen määrää sekä sen haitallisuutta. Jätteen syntyessä, se tulisi uudelleenkäyttää tai kierrättää. Seuraavana vaihtoehtona on jätteen hyödyntäminen esimerkiksi energiana, mutta jollei tämäkään vaihtoehto ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä eli esimerkiksi sijoittaa kaatopaikalle. Kyseessä on *etusijajärjestys* (Jätelaki, 2011).

Jätedirektiivin (2008/98/EY) periaate on kierrätyksen mahdollistaminen. Jäte voidaan prosessoida tuotteeksi erityisten jätteeksi luokittelun päättymisen kriteerien mukaan (End-of-Waste, EoW) (Tampio, 2018). Toisaalta myös (91/676/ETY) eli ns. nitraattidirektiivin tarkoituksena on suojella vesiä maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta ja tämän direktiivin valvontaa säätelee ympäristönsuojelulaki (527/2014) (18 luku) (Neuvoston direktiivi 91/676/ETY).

2.1 Vaarallinen jäte

EU:n kemikaalilainsäädäntö määrittelee, milloin jätteet luokitellaan vaaralliseksi. Kaatopaikoille voidaan sijoittaa vain sellaista jätettä, jonka koostumus ja ympäristövaikutukset tunnetaan. Kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset ovat erilaiset

vaarallisen ja tavanomaisen jätteen kaatopaikkasijoitukselle. Asetuksen mukaan kaatopaikat luokitellaan vaarallisen jätteen, tavanomaisen jätteen tai pysyvän jätteen kaatopaikoiksi ja kullekin saa sijoittaa vain sen luokituksen mukaista jätettä. Jätteen sijoituksessa sovelletaan myös haitallisten aineiden liukoisuusraja-arvoja ja ne ovat korkeammat vaarallisen jätteen kaatopaikoilla. Esimerkiksi lannoite on lähes täysin vesiliukoista, joten tämä ominaisuus yksinään asettaa isot haasteet kaatopaikkakelpoisuusvaatimusten toteutumiseksi (Häkkinen, 2016).

2.2 Kaatopaikkakelpoisuus

Jätteen ominaisuudet on tunnettava ja tarvittaessa ne voidaan selvittää kaatopaikkakelpoisuusanalyysillä. Joissain tapauksissa ominaisuudet tiedetään jo syntyvän perusteella ja tästä esimerkkinä yhdyskuntajätteet. Analysoitavia jätteen ominaisuuksia ovat koostumus, orgaanisen aineen määrä ja hajoavuus, haitallisten aineiden määrä, liukoisuusominaisuudet sekä jätteen ja siitä muodostuvan kaatopaikkaveden ekotoksikologiset ominaisuudet (Järvi, 2007).

Finlexin tietokannasta löytyy Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2.5.2013/331 (Asetus nro 2.5.2013/331, 2013) ja kyseisessä asetuksessa on esitetty eri aineiden liukoisuusraja-arvot sijoitettaessa jätettä pysyvän kaatopaikalle. Näillä liukoisuusraja-arvoilla ei niinkään ole tässä työssä merkitystä, vaan vaarattoman ja vaarallisen jätteen arvoilla. Jos nykyisestä loppusijoitukseen lähtevästä sakasta voitaisiin poistaa nämä vaarallisen jätteen luokitukseen johtavat, maaperään liukenevat haitalliset ravinteet, siitä tulisi tavanomaista jätettä.

2.3 Lannoitteet

Kasvit tarvitsevat ravinteita ja lannoitteita tarvitaan, koska ravinteita ei ole maaperässä luonnostaan tarpeeksi. Pääravinteet ovat typpi (N), fosfori (P) ja kalium (K). Sivuravinteita ovat muun muassa magnesium (Mg), kalsium (Ca), kloori (Cl) ja rikki (S) sekä hivenravinteita ovat esimerkiksi: rauta (Fe), sinkki (Zn), ku-

pari (Cu) ja mangaani (Mn). Valtaosa Suomen lannoitetuotannosta on moniravinteisia lannoitteita eli NPK-lannoitteita (Pihkala, 2011).

Orgaaniset lannoitteet ovat joko luonnollisen prosessin sivu- tai lopputuotteita kuten lehmän lanta, mätänevät lehdet ja biojäte. Epäorgaaninen lannoite on synteettisiä mineraaleja ja kemikaaleja. Kierrätyslannoitteet määritellään usein maanparannusaineeksi. Orgaaniset kierrätyslannoitteet sisältävät orgaanista eli eloperäistä ainesta ja olomuoto vaihtelee kiinteästä nestemäiseen. Epäorgaanisissa lannoitteissa ravinteet esiintyvät suolamuodossa (Berninger, 2018).

Epäorgaanisia lannoitteita eli mineraalilannoitteita valmistetaan enimmäkseen kallioperän kaivannaismineraaleista ja ilmakehän typestä, mutta niitä voidaan valmistaa myös kierrätysravinteista (Tampio, 2018).

2.3.1 Lannoitteiden turvallisuus

Lain mukaan lannoitevalmisteiden on oltava turvallisia ja käyttötarkoitukseensa sopivia. Lannoitevalmiste ei saa sisältää sellaisia määriä haitallisia aineita, yhdisteitä tai eliöitä, että sen käyttöohjeiden mukaisesta käytöstä voi aiheutua vaaraa ihmisten tai eläinten terveydelle tai turvallisuudelle, kasvien terveydelle taikka ympäristölle. Lisäksi lannoitevalmisteen tulee täyttää joko kansallisen tai EU-asetuksen mukaisen tuoteluokittelun vaatimukset. Tuotteen on täytettävä säädösten mukaiset raja-arvot ja tuotteen turvallisuus ja toimivuus on muutenkin varmistettava. Kaatopaikkakelpoisuuskriteerit eivät automaattisesti kiellä lannoitevalmistekäyttöä kierrätyslannoitteena, jos aineksen ominaisuudet ovat lannoitevalmistekäyttöön muutoin soveltuvia (Ruokavirasto.fi, 2020).

Kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot on asetettu sitä silmälläpitäen, että jäte seisoo siellä pitkään ja mitä valumia siitä mahdollisesti aiheutuu. Vaarallisille jätteille on luonnollisesti korkeimmat raja-arvot. Lannoiteasetuksessa asetetut raja-arvot taas määrittelevät, millaisia raja-arvoja lannoitteen haitalliset metallit (As, Hg, Cd, Cr, Pb, Ni, Zn) eivät saa ylittää. Ravinteille ei ole rajoituksia, vaan käyttäjä käyttää niitä tuoteselosteessa ilmoitetun pitoisuuden mukaan ja todettuun tarpeeseen (Pelkonen, 2022).

Kierrätyslannoitteita on myös nestemäisenä, mutta kuivaaminen helpottaisi jälleenkäsittelyä. Sakan vaihtelu tuotannon mukaan toimii lannoitetehtaan tapauksessa isoimpana muuttujana ja käytännössä tasalaatuisuutta ei ole. Kierrätyslannoitteiden tulisi olla ravinnerikasta ja turvallista eli haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet alittavaa. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista 24/11 säädetään lannoitevalmisteiden raaka-aineista, tyyppinimistä ja erilaisista käytännön toimintaan liittyvistä asioista, kuten lannoitevalmisteiden laadusta ja käsittelystä. Pääravinnepitoisuudet pitäisivät olla yhteen laskettuna vähintään 2,0 % tuotteen kokonaispainosta tai sivuravinteiden pitoisuus yhteensä vähintään 8,0 %. Kierrätyslannoitteissa vaihtelu on paikoitain suurikin, jopa 25 % per ravinne (Asetus nro 24/11, 2011).

Kemiallisten tutkimusten avulla selvitetään kullekin lannoitevalmisteelle olennaiset ravinnepitoisuudet ja ominaisuudet sekä varmistetaan haitallisten metallien määräystenmukaisuus. Lannoitevalmisteelle teetetään kemialliset tutkimukset, missä määritetään ravinnepitoisuudet pääravinteista (typpi, fosfori, kalium), sivuravinteista (kalsium, magnesium, natrium, rikki) ja hivenravinteista (boori, koboltti, kupari, rauta, mangaani, molybdeeni, sinkki, seleeni, vanadiini). Kokonaisravinnepitoisuuksien lisäksi määritetään liukoisia pitoisuuksia. Haitallisina metalleina määritetään arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. Ominaisuuksina määritetään kalkitusaineista neutralointikyky, nopeavaikutteinen neutraloiva kyky ja hienousaste sekä kasvualustoista ja maanparannusaineista pH, johtokyky, tilavuuspaino sekä orgaaninen aines (Ruokavirasto, 2019).

Jälleenkäyttöä pohdittaessa tulevat vastaan lannoitelainsäädännön raja-arvot haitallisten aineiden pitoisuuksille (Liite 1). Esimerkiksi sinkille ja kuparille on enimmäispitoisuudet (Ruokavirasto.fi, 2022). Ruokavirastolle tehdyn tiedustelun mukaan kaatopaikkakelpoisuuskriteerit eivät automaattisesti kiellä lannoitevalmistekäyttöä, jos aineksen ominaisuudet ovat lannoitevalmistekäyttöön soveltuvia (Pelkonen, 2022). Jälleenkäyttöä pohdittaessa tulee ottaa huomioon myös REACH-asetus eli kaikki kierrätyspohjainen raaka-aine ei välttämättä sovellu tuotteeksi (ECHA, 2022) sekä ammoniumnitraatti-pitoisen sakan kohdalla pitää

muistaa turvallisuusriskien arvio, jossa kerrotaan muun muassa lämpötilarajoitteet. Ratkaisuehdotukset on tarkemmin kerrottu luvussa 6.

3. Sakan käsittely

Tämän opinnäytetyön aiheena on sakan minimointi. Ihanteellista olisi kaiken jätteen kierrätys, mutta realismia on loppusijoitukseen lähetettävän jätteen syntyminen. Lannoitetehtaalla syntyy sakkaa ja erilaista kiintoainesta, jota ei voida sellaisenaan hyödyntää uudelleen tuotannossa. Sakka on tällöin esimerkiksi liian märkää, isoa, öljypitoista tai sisällöltään tuntematonta. Tämä sakka koostuu esimerkiksi prosessin puhdistusjätteestä, likaantuneesta/kontaminoituneesta tuotteesta ja tuotannossa esimerkiksi reaktorin pohjalle syntyneestä sakasta, jota ei voida kierrättää uudelleen prosessissa osana tuotetta. Jälleenkäsittely ja kierrätys on helppoa, kun tiedetään sakan sisältö, mutta sakasta tulee jätettä kun se joudutaan viemään loppusijoitukseen. On haastavaa käsitellä sakka niin, että jäljelle jäisi pelkkä tavanomainen jäte ilman liukenevia ravinteita ja kemikaaleja. Realistista on kehittää esikäsittelytapa ja pyrkiä minimoimaan loppusijoitukseen lähetettävä sakka.

Lannoitetehtaan ulkokentälle on rakennettu iso kuivatuslaatikko märälle sakalle. Laatikon toisella sivulla on hiekalla padottu aukko, jonka läpi vesi suodattuu kiertovesialtaalle ja kuivempi sakka jää laatikkoon. Sakka eli aines, jota ei vielä luokitella jätteeksi, tulisi varastoida sille varattuun paikkaan jälleenkäsittelytavan mukaisesti. Vaihtoehtoja jälleenkäsittelylle on kaksi: kuivatus tai liuotus. Pyrkimyksenä on poistaa eteenpäin lähettäminen eli jätteen syntyminen kokonaan vaihtoehdoista ja tavoitteena on pystyä käsittelemään ravinnerikas sakka paikan päällä tai keksiä sille kierrätyskeino. Lannoiteprosessista syntyvä sakka ei ole orgaanista eli siihen ei voida soveltaa orgaaniselle ainekselle soveltuvia menetelmiä.

3.1 Kuivatus

Esikäsittelyyn luokitellaan muun muuassa lajittelu, seulonta, murskaus, välivarastointi, pesu ja kuivaus. Sakka voidaan tarpeeksi kuivana ja tarpeeksi murskattuna käyttää uudelleen alirakeena osana tuotantoprosessia. Alirakeen olles-

sa liian märkää, se voidaan varastoida kuivumaan vähintään sateelta suojaan katoksen alle. Alirakeen kosteutta voidaan arvioida silmänmääräisesti sekä määrittämällä siitä kosteuspitoisuus laboratoriossa ennen käyttöönottoa. Kuivatukseen ei kelpaa orgaanista ainetta sisältävä sakka, kuten esimerkiksi öljy- toinen jäte. Öljy voi aiheuttaa lannoitetehtaalla tulipalovaaran joutuessaan mu- kaan korkeassa lämpötilassa reagoivan lannoiteliemen sekaan.

3.1.1 Suolan kriittinen suhteellinen kosteus

Critical relative humidity (CRH) tarkoittaa ilmakehän suhteellista kosteuspro- senttia tietyssä lämpötilassa, jossa aine alkaa imeä kosteutta itseensä ilmake- hästä ja jonka pisteen alapuolella se ei ime kosteutta itseensä (Adams, 1929).

Lannoite on erittäin hygroskooppista eli ilmasta kosteutta imevää. Tarpeeksi korkea ilmankosteus aiheuttaa lannoiterakeen kostumista ja pakkuuntumista. Lannoitesakkaa kuivatessa täytyy ottaa huomioon suolojen kriittinen suhteelli- nen kosteus.

Lämpötila vaikuttaa suhteelliseen kosteuteen. Kuivatus on tehokkainta lämpi- män, kuivatun/kuivan ilman kanssa, sillä mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se pystyy sitomaan itseensä kosteutta. Talvella ilma sisältää kuiten- kin vähemmän kosteutta kuin kesällä.

Tarkkaa kuivatukseen kuluvaan aikaan ei tarvita, kun kuivatusajan pituus perustuu havainnointiin. On silti hyvä tiedostaa ilmankosteuden vaikutus kuivatusaikaan. Jatkossa tavoitteena olisi testata laboratoriossa kosteusprosentti ennen käyt- töönnottoa tuotannossa alirakeena.

3.1.2 Kuivatuksen keinot

On olemassa useita kuivatusmenetelmiä ja laitetta. Erilaisia teollisia kuivureita ovat esimerkiksi: leijukerroskuivuri, rumpukuivuri, kuljetinkuivuri ja pneumaatti- nen kuivuri. Lisäksi haihdutukseen erikoistuneita laitteita ovat esimerkiksi: pys-

tyhaihdutin, vaakaputkihaidutin ja pakkokiertoahaidutin. Haihdutin on tarkoitettu liuenneiden kuiva-aineiden erottamiseen, eli liukenemattomat kiintoaineet kannattaa erottaa ennen haihduttamista. Kiintoaineet nostavat viskositeettia ja aiheuttavat tukoksia. Kiintoaineita voidaan poistaa esimerkiksi suodatuksella, flotatoimilla tai muilla gravimetrisillä menetelmillä (Holmberg, 2020). Erillinen kuivatukseen tarkoitettu laite tai järjestelmä vaatii kuitenkin investointeja eli sen pitäisi olla kannattava sijoitus. Taloudellisin vaihtoehto on kuivattaa kiintoainesta luonnollisesti haihduttamalla esimerkiksi auringon lämmössä siitä ylimääräinen neste pois.

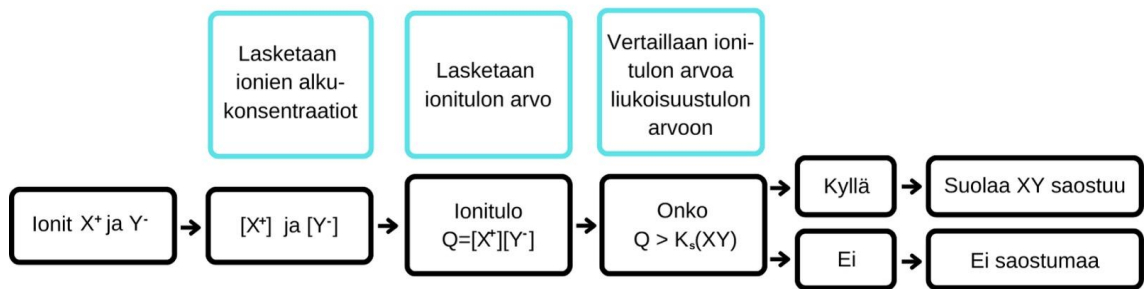
3.2 Liuos

Liukoisuus on yksi tärkeimmistä termodynaamisista ominaisuuksista sekä useimpien ympäristöongelmien taustalla on haitallisten aineiden hyvä liukoisuus maaperään. Liukoisuuden ja ympäristön saastumisella on merkittävä yhteys. Näiden yhteyksien ymmärtäminen voivat johtaa uusien sekä vanhojen ympäristöongelmien ratkaisuun (Letcher, 2007).

Liukoisuus tarkoittaa tiettyä määrää liuotettavaa ainetta, joka tietyssä lämpötilassa liukenee tiettyyn määrään liuotinta (yleensä vettä) ja tuloksena on kylläinen liuos. Kylläisyys on kuitenkin ainekohtainen, eli liuotin voi liuottaa toista ainetta, jolle se ei ole kylläinen (Hänninen, 2019).

Veteen liuenneilla aineilla on taipumus saostua ylikylläisessä liuoksessa ja tätä on vaikeaa ennustaa. Saostumiseen vaikuttavat eniten konsentraatio, lämpötila, pH ja läsnä olevat muut ionit (Holmberg, 2020).

Saostuma voidaan osittain ennustaa: kun ionitulo on suurempi kuin liukoisuustulo eli $Q > K_s$, liuos on ylikylläinen ja suola saostuu, kunnes $Q = K_s$ tutkitussa lämpötilassa (Lehtiniemi, 2016).



Kuva 1: Saostuman ennustaminen.

3.3 Liukenemiseen vaikuttavat tekijät

Liukenemiseen vaikuttavat seuraavat tekijät: mikä on liukeneva aine ja liuotin, lämpötila ja pienessä määrin paine, liuoksen kylläisyysaste eli liukoisuus, sekoitus sekä läsnä olevat inhibiittorit, esimerkiksi liukenevan aineen pinnalla oleva toinen aine (Dokoumetzidisa, 2006).

Liukoisuustulo liittyy kylläisiin suolaliuoksiin ja siihen vaikuttavat aineen lämpötila, liuotin ja liuotettava aine. Liukoisuustulo kuvaa niukkaliukoisen ioniyhdisteen pitoisuutta sen kylläisessä liuoksessa. Liukoisuus riippuu pitkälti pH-arvosta, mitä atomeja on yhdistynyt ja miten ne ovat yhdistyneet sekä millaiset sidokset ovat. Ominaisuudet määrävät vuorovaikutuksen veden kanssa ja kuinka hyvin se liukenee (Opetustv, 2022).

3.3.1 pH

pH on yksi merkittävimmistä liukoisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Hapoilla ja emäksillä ionisoitumisaste (pK_a -arvot) ja vesiliukoisuus riippuvat pH:sta. Heikoilla hapoilla pH:n nostaminen kasvattaa liukoisuutta ja heikoilla emäksillä pH:n nostaminen vähentää liukoisuutta. pH:n arvo ei aina vaikuta suolojen liukenemiseen, mutta usein niukkaliukoisen suolan liukoisuus on kytköksissä pH-arvoon. Usein happamaan liuokseen liukenee paremmin kuin neutraaliin liuokseen (Turunen, 2016).

Huoneen lämpötilassa (25 °C) liuos on neutraali, jos sen pH on 7. Kun lämpötila nostetaan 50 °C, neutraalin liuoksen pH muuttuu. Le Chatelierin periaate selittää tasapainon siirtymistä puolelta toiselle ja näin myös lämpötilan vaikutuksen pH-arvoon. Tasapainossa oleva reaktio pyrkii kumoamaan tai minimoimaan siihen tehdyt muutokset. Muutoksia voidaan tehdä muun muuassa paineessa, lämpötilassa tai konsentraatiossa. Esimerkiksi endotermisessä reaktiossa lämpötilan nousu nostaa myös ionien määrää (Opetustv, 2022).

3.3.2 Lämpötila

Useimpien aineiden liukoisuuteen lämpötila vaikuttaa niin, että liukoisuus kasvaa lämpötilan noustessa (Aspholm, 2001). Nesteeseen liukenee siis enemmän liuotettavaa ainetta lämpötilan noustessa sekä usein myös liukenemisaika lyhenee. Liuoksen lämpötilan jäähtyminen aiheuttaa uudelleenkiteytymistä. Teoriatasalla ihanteellista liuotuksen kannalta olisi käyttää hapanta, lämmintä vettä. Käytettävän veden lämmitykseen kuluu energiaa eli lämmittäminen ei olisi taloudellinen tapa liuottaa jätteitä. Luonnollisesti lämmintä, hapanta allasvettä tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää reaktionopeuden maksimoimiseksi.

3.3.3 Sekoitus

Yksi liukenemiseen vaikuttava tekijä on sekoitus, joka nopeuttaa reaktiota. Sekoitus liittyy kuitenkin myös liettymiseen eli kun sekoitus hidastuu/loppuu niin liukenematon aines valuu astian pohjalle eikä liukene. Liuottavan veden ollessa hapanta, mutta viileää, voisi liukenemista nopeuttaa sekoittamalla. Sekoitus ja kemiallinen reaktio liittyvät vahvasti toisiinsa. Sekoitusnopeus saatetaan sekoittaa joskus virheellisesti reaktionopeuteen, vaikka se vaikuttaa vain tapahtuvan reaktion nopeuteen. Tärkeintä on valita oikeanlainen sekoittaja sekä sekoitusnopeus (Kolehmainen, 2013).

3.4 Separointi

Separoinnissa lietteestä erotetaan erilleen kuiva-aine ja neste. Menetelmää käytetään laajalti esimerkiksi lannan käsittelyyn. Lingonnassa kiintoaine erotetaan nesteestä keskipakovoiman avulla. Linkoja on esimerkiksi korilinko, lietelinko, lautaslinko ja sakeutuslinko. Korilinko, lietelinko ja lautaslinko soveltuvat ensisijaisesti nesteiden erottamiseen toisistaan tai pienen kiintoainepitoisuuden sisältävälle lietteelle. Sakeutuslinko eli dekantterilinko soveltuu lietteille, joilla on suurempi kiintoainepitoisuus. (Pihkala, 2011).

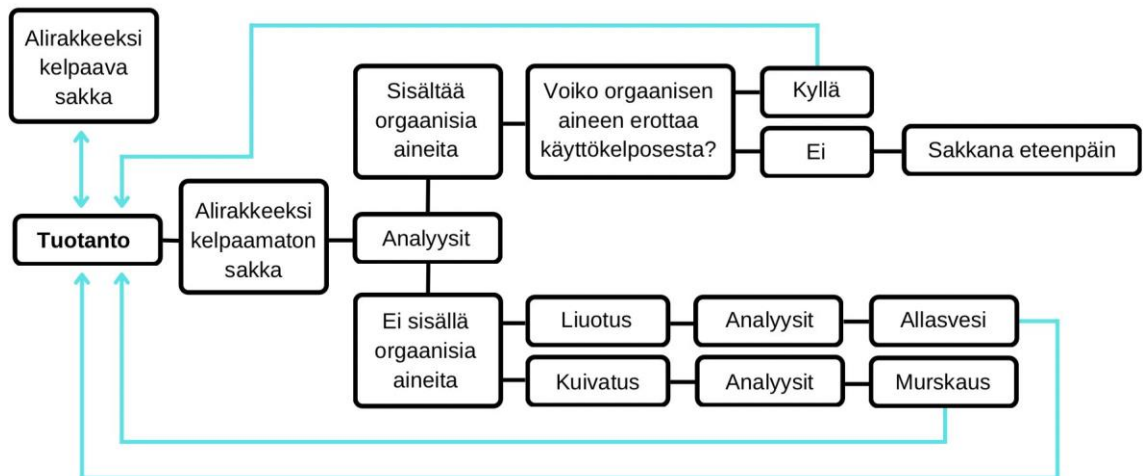
Käytettävissä on erilaisia separointitekniikoita, kuten sentrifuugi. Sentrifugoinnissa kiintoaine ja neste erotetaan toisistaan tiheyserojen perusteella. Oikean separointimenetelmän valintaan vaikuttavat nesteen ja kiintoaineen laatu, kiintoainepitoisuus, ominaispaino, hiukkaskoko ja virtaus. Suuremmille kiintoainepitoisuuksille sopii esimerkiksi dekantterilinko. Separaattorit ovat itsetyhjentäviä eli pyörivän kuulun sisälle kertynyt kiintoaine poistetaan kuulasta jaksoittain erityisen laukaisumekanismin avulla (Alfa Laval, 2022).

4. Johdanto käytännön selvitystyöhön

Käytännön selvitystyö on tehty Yara Uusikaupunki – organisaatiolle ja selvitystyön tavoitteena oli minimoida tehtaan ulkopuolelle vietävän sakan määrä. Tehäväksi muodostui keksiä sellainen käsittelytapa alirakeeksi kelpaamattomalle sakalle, että sen voisi kuitenkin hyödyntää myöhemmin tuotannossa. Tätä suunnitelmaa seurasi käytännön liuotuskokeet, joissa testattiin eri kiintoaineiden liukenemistä eri prosessivesillä.

Määrällisesti loppusijoitettavaa sakkaa syntyy vähän verrattuna lannoitetehtaan; vuonna 2021 Uudenkaupungin lannoitetehtaalla tuotettiin 1,4 miljoonaa tonnia lannoitetta (Yara, 2022) ja sakkaa lähetetään loppusijoitukseen vuositasolla 200-400 tonnia. Loppusijoitus on kuitenkin kallista ja tarkoituksena on tuon suhteellisen pienen määrän minimointi.

Alla kaaviokuva sakan kiertokulusta. Orgaanisilla aineilla tässä tarkoitetaan useimmiten öljypitoista sakkaa, joka takaisin tuotantoon alirakeen mukana päätyessään aiheuttaisi palovaaran lannoitetehtaalla.

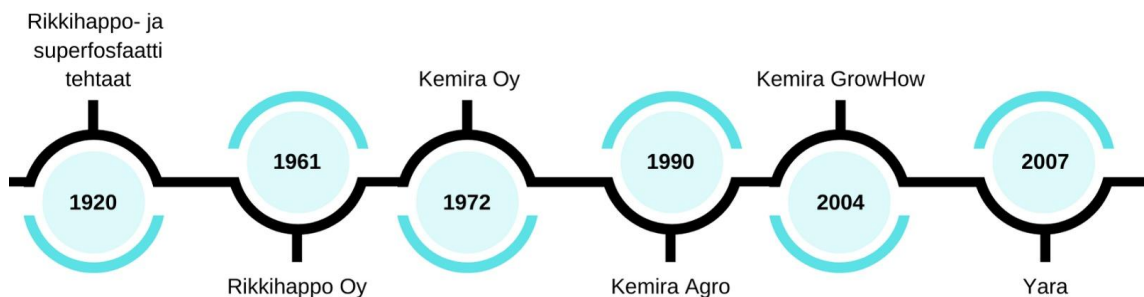


Kuva 2: Sakan kiertokulku.

4.1 Yara Suomi Oy

Yara on norjalainen, maailmanlaajuinen kivennäislannoitteiden, teollisuuskemikaalien ja ympäristönsuojelutuotteiden toimittaja. Yara on alun perin perustettu vuonna 1905 nimellä Norsk Hydro. Myyntiä on yli 160 maahan ja toimipaikkoja yli 60 maassa sekä vuosittainen lannoitemyynti on noin 30,5 miljoonaa tonnia (Yara lyhyesti, 2022).

Kemira on aloittanut nimellä rikkihappo- ja superfosfaattitehtaat vuonna 1920. Uudenkaupungin toimipiste aloitti vuonna 1961.



Kuva 3: Aikajana Yara Suomen historiasta (Yara, 2021).

4.2 Lannoiteprosessi

Moniravinteisten lannoitteiden eli NPK-lannoitteiden valmistus tapahtuu vaiheittain esimerkiksi seuraavasti:

1. Reaktoreissa sekoitetaan lannoiteliete kemiallisten reaktioiden avulla.
2. Rakeistinkuivaimessa (rumpu) tapahtuu lietteen rakeistus ja kuivaus.
3. Rakeet seulotaan, ylrakeet (liian suuret rakeet) murskataan ja lopputuote erotellaan alirakeista (liian pienet rakeet).
4. Tuote jäähdytetään.
5. Tuote pinnoitetaan ja varastoidaan.
6. Kaasut pestään ja pölyt erotellaan monessa eri vaiheessa prosessia (Pihkala, 2011).

4.3 Kiertovesien periaate lannoitetehtaalla

Lannoitetehtaiden prosessivedet voidaan tarpeen vaatiessa johtaa kiertovesialtaille, joita kutsutaan myös keruualtaiksi. Lisäksi altaille johdetaan mm. säiliöau-tojen ja laivojen ravinnepitaisia pesuvesiä sekä ravinnepitaisia sade- ja valuma-vesiä, mikäli altaiden kapasiteetti sen sallii. Kiertovesi kierrätetään takaisin tuo-tantoprosessiin, mutta altaiden pohjalle muodostuu ravinnepitoinen sakka, joka kerätään tarkoitusta varten rakennettuun kuivatusaltaaseen.

Lannoitetehtaan prosessivesien käsittelyssä pitää ottaa huomioon nykyiset val-miudet jäteveden talteenottamisessa ja käyttöönnotossa. Erillistä, tehtaan omaa ravinteenoistojärjestelmää harvemmin on kannattavaa rakentaa, vaan pitää miettiä ravinteiden hyödyntämisen nykyisillä laitteilla ja putkistoilla. Lannoitetehtaalla on oma allasvetensä, jota kierrätetään osana prosessia. Lannoitetehtaan pesuvesikierto on suljettu ja kaikki ravinnepitaiset vedet kierrätetään takaisin lannoiteprosessiin.

Tuotantoprosessissa syntyy monenlaista, usein joko kivipitoista tai märkää sakkaa. Prosessista ei voida erotella tätä sakkaa sen eri vaiheissa, vaan sakkaa kertyy muun muuassa lattiakanaaliin vesien mukana. Lannoitteen sakka on hyvin ravinnerikasta, mutta tehtyjen analyysien mukaan se sisältää myös runsaasti liukoisia suoloja (Cl^- , SO_4^{2-} , F^-).

Sakka on luonnollinen osa tuotantoprosessia, joten taloudellisinta olisi pitää ravinteet osana tätä kiertoa. Kaikkea ei kuitenkaan voida edes kuivaamalla tai liuottamalla ottaa jälleenkäyttöön, vaan joudutaan lähettämään loppusijoitukseen vaarallisen jätteen kaatopaikalle.

4.4 Nykyiset menetelmät ja kehitys

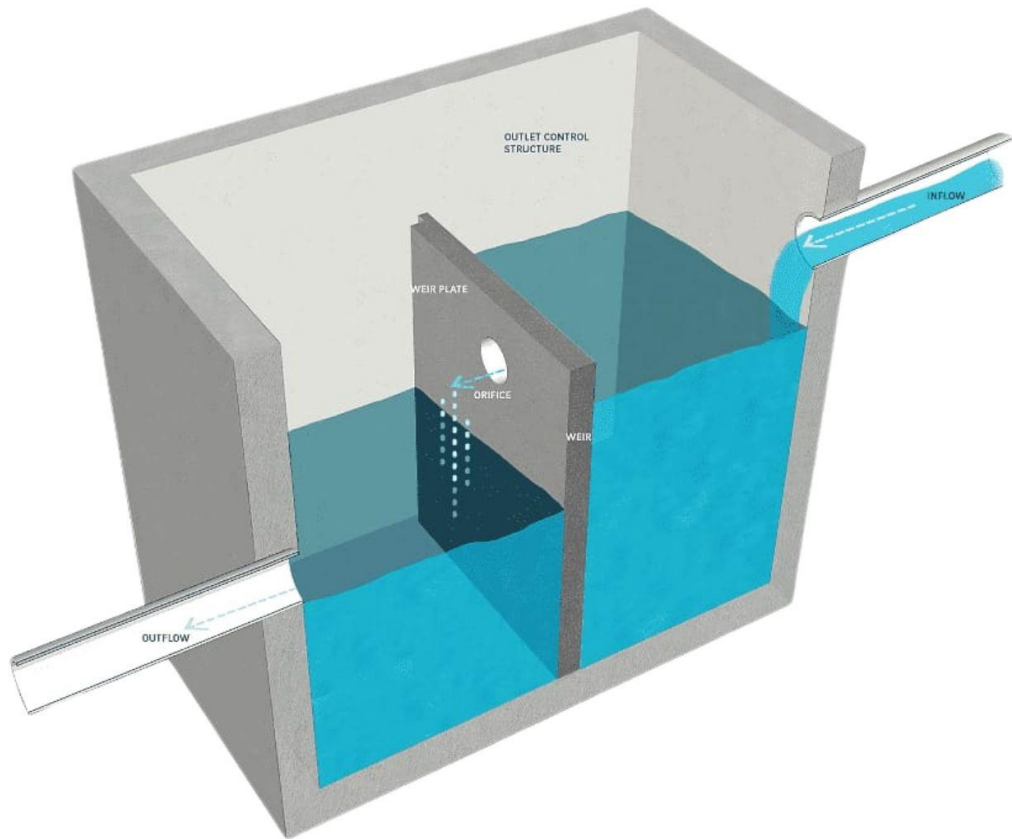
Tässä opinnäytetyössä painopiste oli tarkoituksellisesti liuotuksessa, vaikka kuivatuskin on yksi sakan jälleenkäsittelyn muoto ja vaihtoehto. Nykyisin käytössä on jo aistinvarainen käyttöönotto kuivatetulle prosessijätteelle, mutta jatkossa lisänä tähän voisi olla periaatteena mitata jätteestä kosteusprosentti laboratorii-

ossa ennen käyttöönottoa. Analysointi olisi pienempi vaiva kuin raaka-ainesilosta liian märän sakan piikkaaminen.

Toinen nykyisin käytetty vaihtoehto on viedä ennen altaalle viety märkä sakkaliete isoon kuivatuslaatikkoon, mistä sakan sisältämä vesi valuu pikkuhiljaa pois hiekkapadon läpi kiertovesialtaalle ja osa vesi haihtuu. Jäljelle jäävä kuivempi sakka viedään vaarallisena jätteenä kaatopaikalle. Tässä vaiheessa olisi hyvä keksiä jokin välivaihe ennen märän sakkalietteen viemistä kuivatuslaatikkoon, ja tätä kautta vähentää myös loppusijoitukseen lähetettävän sakan määrää.

4.4.1 Ylivuotoallas

Lannoitetehtaalle asennettujen uusien altaiden sakanpoisto perustuu ylivuotoaltaan menetelmään. Kuvassa 4 on esitetty ylivuotopatosäiliö, missä säiliössä on reiällinen väliseinä. Ensimmäiseen osioon jää likaisempi vesi ja sakka painuu pohjalle. Väliseinän jälkeiseen osioon valuu puhtaampi vesi, joka kierrätetään takaisin prosessiin. Ylivuotoallas toimii samalla periaatteella, mutta välissä ei ole väliseinää tai välttämättä sisään- tai ulosmenoputkia. Ylivuotoaltaassa puhtaampi vesi virtaa altaan reunan yli ja sakka painuu pohjalle painovoimaperusteisesti.



Kuva 4: Ylivuotopatosäiliö (Pngwing, 2022).

5. Liuotuskokeet

Liuotuskokeiden tarkoituksena on testata käytännössä alirakeeksi sellaisenaan sopimattomien kiintoaineiden liukenemista prosessissa kiertävillä vesillä. Pohjalla on ajatus minimoida sellaisenaan käyttökelvottomaksi sopimaton kiintoaine ja kierrättää mahdollisimman paljon ravinteita tehtaan sisällä.

Liuotuskokeisiin valittiin neljä eri kiintoainetta:

1. Reaktorisakka
2. Kanaalisakka
3. Suursäkki, rikkoontunut*
4. Suursäkki, rikkoontunut*

*Rikkoontuneiden säkkien sisältöä ei voida sellaisenaan käyttää alirakeena tuotannossa, sillä ne voivat sisältää tuntematonta ainesta esimerkiksi maaperästä, säilytyspaikasta riippuen sekä useimmiten ovat saaneet kosteutta.

Laboratoriokokeilla haluttiin tutkia, miten prosessivesien pH tai/ja lämpötila vaikuttaa liukenemiseen. Liuotuskokeet tehtiin seuraavilla vesillä:

1. Allasvesi: pH 3,5 ja lämpötila ulkolämpötilan mukaan vaihteleva
2. L2705 pesurivesi: pH 8,99 ja lämpötila 34,3 °C
3. L1729 pesurivesi: pH 1,70 ja lämpötila 75,8 °C

Todennäköisimmin sakan liuotus tapahtuu tulevaisuudessa allasvedessä, koska suunnitelmassa on jo tähän tarkoitukseen liuotuslaatikko sekä uusi kiertovesiallas. Laatikon periaate on hieman ylivuotoaltaan tyyppinen, ja tarkoituksena on liukenemattoman aineksen jääminen laatikon pohjalle. Tästä johtuen ravinneanalyysiin on valittu allasveteen liuotettu aine.

5.1 Testien suoritus

Liuotuskokeiden tarkempi työselostus löytyy liitteestä 3. Liuotuskokeet suoritettiin itsenäisesti alla olevien askelien mukaisesti:

1. Sakkaa laitettiin 250 ml erlenmeyeriin 100 ml kohtaan asti ja punnittiin se. Punnituksesta vähennettiin tyhjän 250 ml erlenmeyerin paino.
2. Astiaan lisättiin pesurivettä 250 ml viivaan asti ja laitettiin sekoitukseen 10 minuutiksi magneettisekoittajalla.
3. Liuos imusuodatettiin ja jäljelle jäävä sakka punnittiin. Paino liuotuksen jälkeen merkittiin ylös labrapäiväkirjaan. Suodatettu liuos kaadettiin 250 ml näytepulloon laboratorion analysointia varten.
4. Näytteiden liuennut prosenttiosuus laskettiin:

$$\frac{\text{paino ennen liuotusta (g)} - \text{paino liuotuksen jälkeen (g)}}{\text{paino ennen liuotusta (g)}} * 100 \%$$

Testit toistettiin samoilla näytteillä, mutta eri allasvedellä. Vesien pH-arvot ja lämpötilat olivat lähes samat, ravinnepitoisuudet vaihtelivat. Tästä huomiona, että liuotuskokeissa Ph ja lämpötila eivät suuresti vaikuttaneet tuloksiin, mutta allasveden ravinnepitoisuudet vaikuttavat kylläisen liuoksen saavuttamiseen. Korkeampi ravinnepitoisuus liuottimessa aiheuttaa sen, että liuos on nopeammin kylläisempi eli pienempi määrä liuotettavan aineen ravinteita liukenee.

5.2 Tulokset

Aineiden liukenemisprosentti, eli liuennut kiintoaineen määrä, ei vaihdellut suuresti eri vesillä. Tämän tiedon mukaan helposti käytettävissä olevan allasveden hyödyntäminen on järkevin ratkaisu. Eri pH ja lämpötila eivät siis suuresti vaikuttaneet liuenneen kiintoaineen määrään.

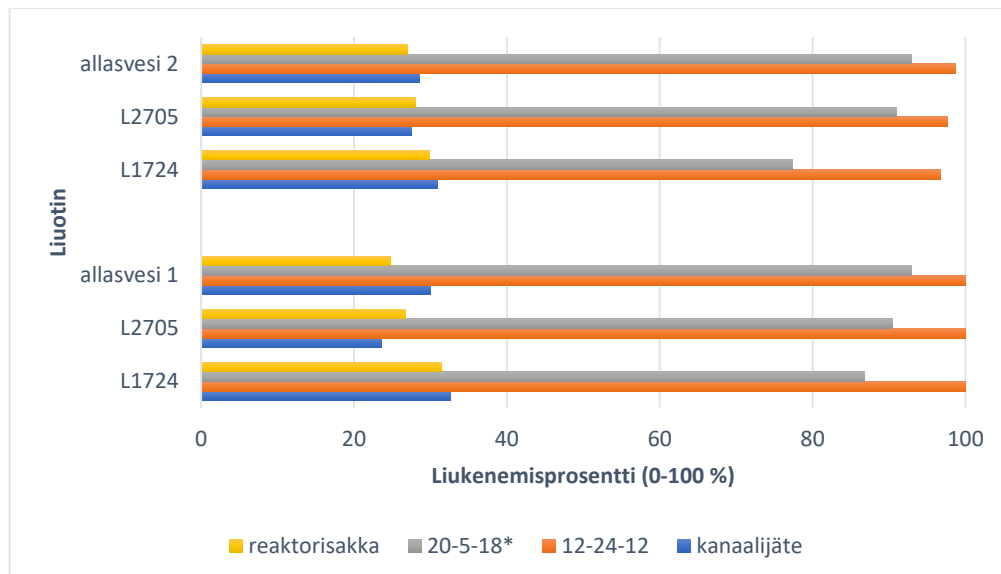
Labrakokeissa sekoituksessa käytetty magneetti toimi metallinkerääjänä eli kaikki metallipitoinen kerääntyi sen ympärille. Silmämääräisesti metalliyhdistettä oli sen verran, että magneetti peittyi. Hyvä lisä olisi ollut punnita magneetti ennen ja jälkeen sekoituksen. Käytännössä sekoittajaan kiinnitetty magneetti voisi toimia samalla tavalla, eli keräisi sakan sisältämää metallia itseensä eikä päätyisi enää eteenpäin.

Laboratoriokokeiden mukaan liukenemisessa liukeneva aine sekoittuu liuottimeen ja syntyy liuos. Liettymisessä virtauksen tai/ja sekoituksen hidastuessa liettynyt aines vajoaa pohjalle. Liettymisessä sedimenttiaines ei siis liukene veteen.



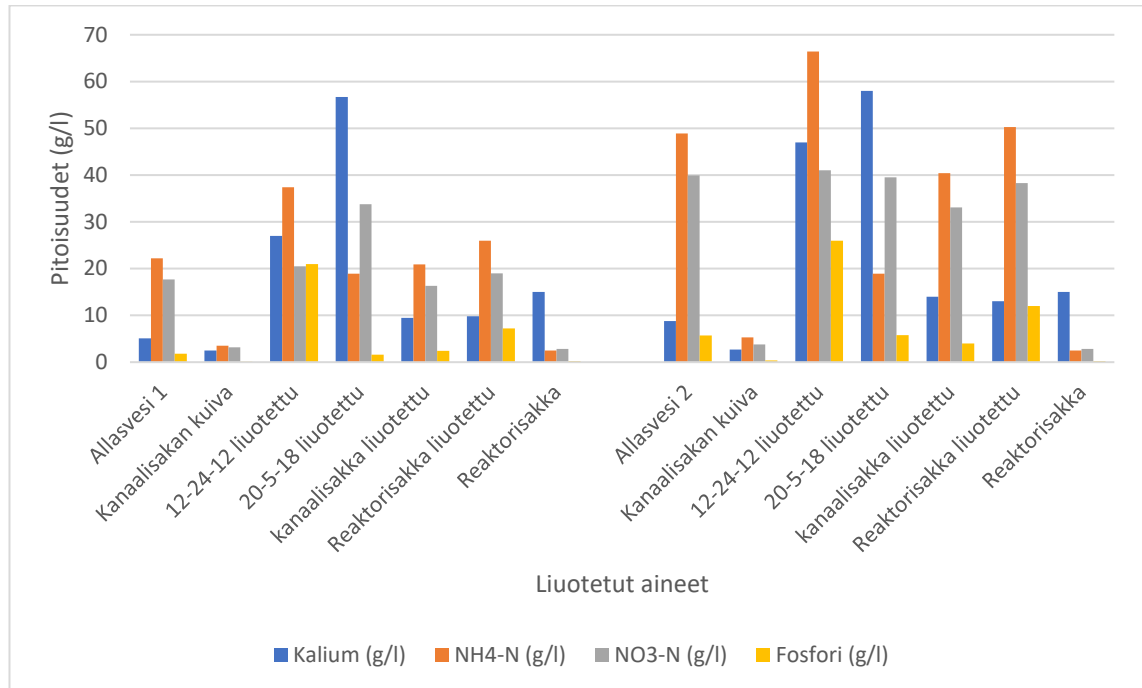
Kuva 5: Kipsi- ja fosfaattipitoisen sakan liettyminen.

Kuviossa 6 ja 7 on esitetty laboratoriotestien tulokset. Uusintatellit on tehty toistettavuuden varmistamiseksi, mutta testeissä jouduttiin käyttämään eri allasvettä (allasvesi 1 ja allasvesi 2). Allasvesien pH ja lämpötila olivat hyvin lähellä toisiaan, mutta ravinnepitoisuudet olivat hieman erilaiset.



Kuvio 6: Liukenenisprosentti eri vesillä.

Pieni ero 12-24-12 ja 20-5-18* välillä selittyy mukana olleen maa-aineksen kanssa eli esimerkiksi lehtiä ja pieniä kiviä. Molempien liukoisuus puhtaana lannoitteena on aika liki 100 %. Pohjalla tärkeimpänä tietona kiintoaineiden hyvä liukenevuus eri prosessivesillä.



Kuvio 7: Ravinnepitoisuudet allasvesiliuotuksilla.

Ravinneanalyysit voisivat olla tärkeämmässä roolissa, jos analyysit olisivat laajemmat sekä jäljelle jäävälle sakalle olisi ehtoja. Analyysit ennen liuotusta olisivat myös antaneen tiedon ravinteista ennen liuotusta eli liuenneet ravinteet.

Allasveden eri ravinnepitoisuudet vaikuttavat liuotusten tuloksiin eli esimerkiksi kun allasvesi 2 on korkeampi fosforipitoisuus, niin liuotuksissakin on korkeampi fosforipitoisuus verrattuna allasvesi 1 tuloksiin.

5.3 Kaatopaikkakelpoisuusanalyysit

Reaktorisakasta on aikaisemminkin tehty kaatopaikkakelpoisuusanalyysijä. Ennen viemistä kaatopaikalle, jätteestä tulee tehdä kaatopaikkakelpoisuusanalyysit. Analysoitavia jätteen ominaisuuksia ovat koostumus, orgaanisen aineen

määrä ja hajoavuus, haitallisten aineiden määrä, liukoisuusominaisuudet sekä jätteen ja siitä muodostuvan kaatopaikkaveden ekotoksikologiset ominaisuudet (Järvi, 2007). Uudenkaupungin kiertovesialtaan sakan kaatopaikkakelpoisuuden perusmäärittelyn arvoja vuodelta 2021 on käytetty esimerkiksi pohdittaessa kierrätyslannoitteen valmistamisen mahdollisuutta. Perusmäärittelystä näkyvät muun muassa haitallisten aineiden pitoisuudet, joita voitiin vertailla Ruokaviraston asettamiin kierrätyslannoitteiden maksimiarvoihin (Kuva 10 ja 11 kohdassa 6.4 Epäorgaaninen kierrätyslannoite).

6. Ratkaisuehdotukset

Ensimmäinen ratkaisuehdotus vastaa toimeksiantoa eli haluttiin keksiä sakan minivoiva esikäsittelytapa ennen laatikolle viemistä. Muut ehdotukset ovat investointeja vaativia, mutta huomionarvoisia vaihtoehtoja, jos tulevaisuudessa sakkaa halutaan hyödyntää ja samalla parantaa yrityksen ekologisuutta.

6.1 Kuuppa

Reiällinen kuuppa/kippinkontti (Kuva 8) ja sakan sisältämä vesi valuisi ennen laatikkoa lannoitteen vesikanaaliin. Pienille sakkamäärille tuossa astiassa voisi olla jopa sekoitus, joka liuottaisi sakkalietteen ravinteita vesikiertoon. Yläpuolella voisi olla jokin iso sadetin, mikä huuhtois sakkalietettä välillä. Vähintään letku pesurivesisäiliöstä huuhtomista varten, eikä puhdasta vettä kuluisi sakkalietteen liuotukseen. Tässä pohdittava alapuolisten reikien mahdollista tukkeutumista eli miten ne pidetään auki. Vaihtoehtona voisi asentaa höyrynatsat kuupan pohjan läheisyyteen ja näihin voisi tarvittaessa laittaa veden tai höyryn reikien aukaisuun ja/tai aukipitämiseen.

Ylivuotoaltaan tyyppinen liuotusratkaisu olisi toinen vaihtoehto ja yli tuleva vesi olisi puhtaampaa kuin alhaalta huuhdottava liete. Käytännössä tämä onkin osoittautunut jo toimivaksi liuotustavaksi eikä vaadi huuhtomista tai vesikiertoa. Toistaiseksi liuotusastiana käytettävä kuuppa on ollut hyvin vähäisessä käytössä, mutta ajatuksena tämä olisi hyvin kehityskelpoinen ylivuotoaltaan tyyppisenäkin jatkuvassa käytössä.



Kuva 8: Kuuppa.

6.2 Propellit

Investointia vaativa ehdotus on sakkalietteen sekoitukseen soveltuva esiallas tai propellit nykyisen altaan reunoille. Sekoitus nopeuttaa liuotusta ja estää sedimenttikerrosten muodostumisen sekä tätä kautta pumpun jatkuvan tukkeutumisen sakkakerroksen kohdalla. Erillinen esiallas antaisi hieman pelivaraa, ettei varsinainen allasvesi likaantuisi runsaan jätelietteen tullessa kerralla liuotukseen. Vanhan kiertovesialtaan kohtalo tulee ottaa huomioon uusien tullessa käyttöön ja uusissa kiertovesialtaissa on oma sakan talteenottojärjestelmänsä.

6.3 Geotuubi

Toinen investointia vaativa ehdotus on painovoimaan perustuva geotuubi eli SoilTain tuubi (Kuva 9). Tämä on kuivatusmenetelmä ja sopii monelle eri lietteelle. Periaatteessa tuubi on kangastuubi, joita voidaan pinota vierekkäin tai

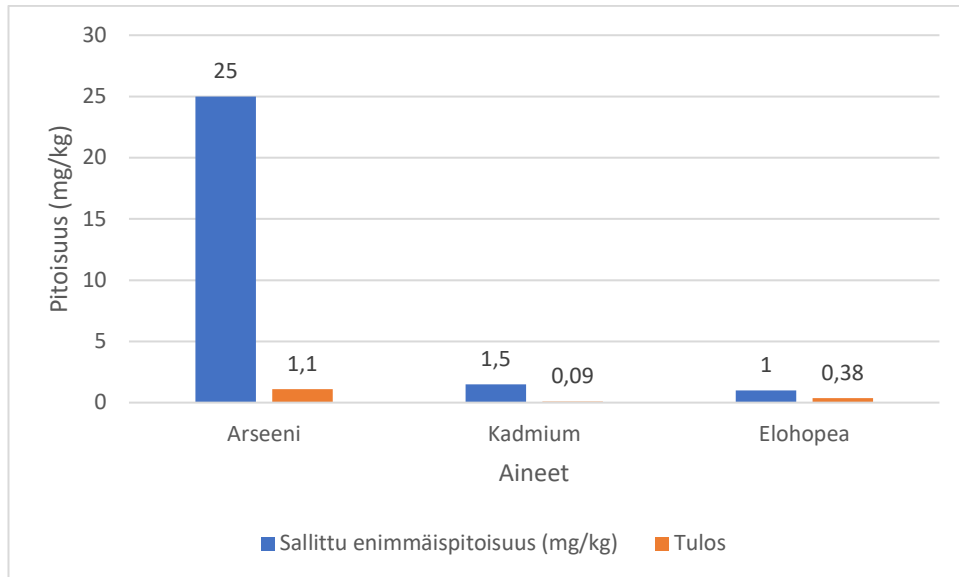
päällekkäin ja poistunut vesi voidaan uudelleenkäyttää. Samalla tuubiin syötetyn vesipitoisen sakan tilavuus eli loppusijoitukseen lähetettävän sakan määrä pienenisimerkittävästi. Tässä ongelmana lannoitetehtaan sakkalietteen tukkiva koostumus ja kertaluonteinen täyttö. Ajatuksena olisi kangastuubiin jatkuva pumppaus ja pumppauksen voimasta nesteen ulos työntyminen. Käytännössä tuubi voitiin pumpata kerran täyteen, jonka jälkeen pumppaus ei enää toiminut ja piti jättää tuubi kuivamaan (Geosynt, 2022).



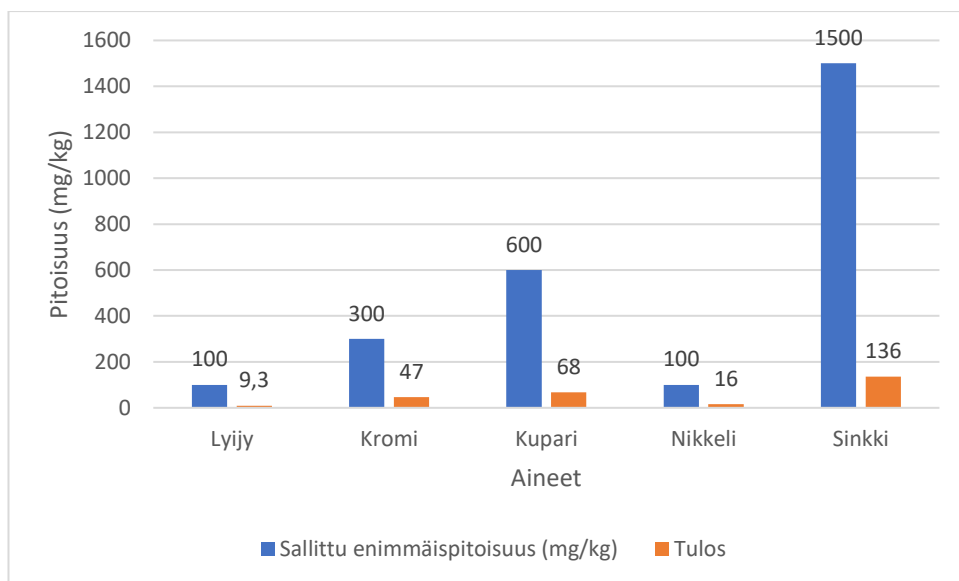
Kuva 9: Geotubit, geosynt.fi.

6.4 Epäorgaaninen kierrätyslannoite

Kuivatusta sakasta voitaisiin valmistaa epäorgaanista kierrätyslannoitetta. Sakasta tehtyjen analyysien mukaan ruokaviraston asettamat enimmäismäärät kierrätyslannoitteiden sisältämille haitallisille aineille eivät ylity (Kuva 10 ja 11).



Kuva 10: Haitallisten aineiden pitoisuudet osa 1/2.



Kuva 11: Haitallisten aineiden pitoisuudet osa 2/2.

Kuivattu sakka pitäisi saada homogenoitua eli tehtyä siitä riittävän tasalaatuista, että käyttäjällä on mahdollista annostella sitä. Tästä homogenoitusta sakasta voidaan määrittää ravinnepitoisuudet, jotka on ilmoitettava tuoteselosteessa.

Yara Uusikaupunki -organisaation tietojen mukaan sakan jalostamisesta tai käytöstä lannoitevalmisteen raaka-aineena on tehty hieman aikaisempaa selvitystä

ja haasteina näissä tapauksissa ovat olleet muun muassa alhainen pH ja korkea sulfaatti-/fluoridipitoisuus. Jalostuskäsittelyt ovat kalliita ja tekevät hyödyistä olemattoman kustannuksiin nähden. Asia vaatisi jatkotutkimuksia ja aikaisempi selvitys ei itsessään poissulje sakan käyttöä kierrätyslannoitteena. Jos olisi näyttää esimerkiksi pelkän kuivaamisen olevan riittävä käsittelykeino, niin tämä olisi kustannustehokas vaihtoehto. Monivaiheinen, kalliita laitteita vaativa jälleenkäsittely taas ei ole taloudellisesti kannattavaa hyötyyn nähden.

Lannoitetehtaan sakka sisältää myös paikoin öljyä, ja tästä ei voi valmistaa kierrätyslannoitetta. Kokonaismäärästä öljyvapaan sakan määrä on vuositasolla suhteellisen pieni, joten tämän kuivaaminen jälleenkäyttöä varten ei olisi taloudellisesti järkevää.

Yaralla on valmistetaan jo kierrätyslannoitteita, mutta sakkaa ei käytetä raaka-aineena. Tätä kierrätyslannoiteperhettä voisi laajentaa epäorgaanisella kierrätyslannoitteella ja markkinoida tuotetta ekologiseksi jätettä vähentäväksi sekä ravinteita kierrättäväksi. Huomioon tulee kuitenkin ottaa myös REACH-asetus eli kaikki kierrätyspohjainen raaka-aine ei välttämättä sovellu tuotteeksi (ECHA, 2022).

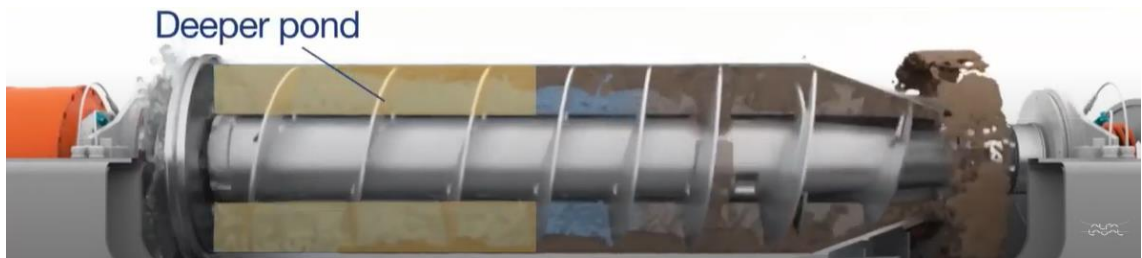
Esimerkkituotteena Yara Suna Horus, joka sisältää puun ja turpeen tuhkaa, apatiittia, kaliumkloridia ja natriumtetraboraattia (Yara.fi, 2022). Kuivatun sakan joukkoon voisi lisätä kuivaa ainesta, esimerkiksi tuhkaa, sen jatkokäsittelyn parantamiseksi. Tuhka sisältää kuitenkin hiiltä ja ammoniumnitraatti-pitoisen sakan kanssa muodostaa turvallisuusriskin. Tätä ratkaisua pohdittaessa tulee laatia turvallisuusriskien arvio, jossa kerrotaan lämpötilarajoitteet.

6.5 Dekantterilinko

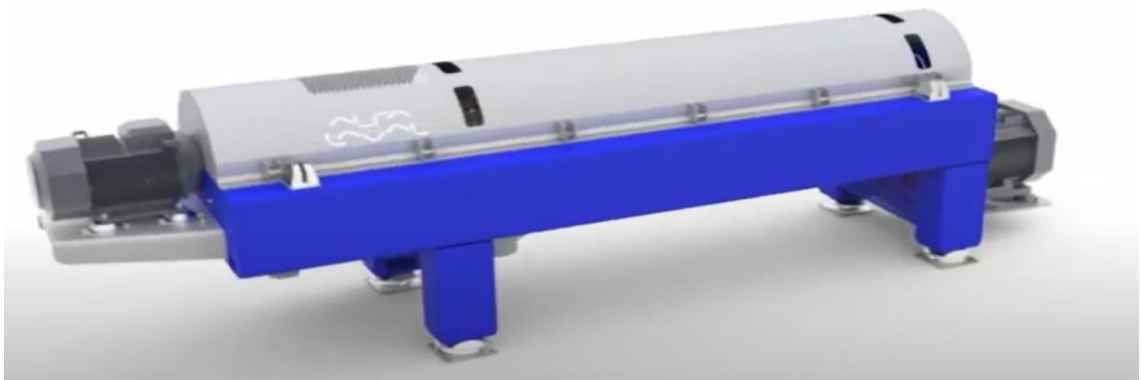
Laboratoriotesteissä käytetyn sakan kiintoainepitoisuus voidaan luokitella silmämääräisesti isoksi linkovaihtoehtoa pohdittaessa. Liutosten jälkeinen kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 40 % ja jos otetaan huomioon pelkkä kanaali- ja reaktorisakka, kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 70 %. Lisäämällä sakkaan esimerkiksi pesurivettä, voidaan kuiva-ainepitoisuutta vähentää. Lingoista de-

kanterilinko on kuiva-aineen ja nesteen separointiin kehitelty laite, joka sopii suuremmille kiintoainepitoisuuksille (Pihkala, 2011).

Esimerkiksi Alfa Laval valmistaa tällaisia dekanterilinkoja (Kuva 12) ja tiedustelun mukaan (sähköposti 09/22) Yaralla tällaisia linkoja on käytetty muun muassa kipsin erotukseen fosforihaposta sekä kalsium-nitraattisakan käsittelyssä.



Kuva 12: Dekanterilinko ALDEC Decanter Centrifuge sisältä (Alfa Laval).



Kuva 13: Dekanterilinko ALDEC Decanter Centrifuge ulkoa (Alfa Laval).

Uudenkaupungin lannoitetehtaan sakan linkoamiseksi vaadittaisiin kivien poisto eli sakan pitää olla pumpattavissa. Vuosittainen sakan määräärvio 200 – 400 tonnia olisi keskimääräisesti vain noin 0,5 – 1 tonnia päivässä lingon läpi. Käytännössä tähän tarvittaisiin vain sisään- ja ulkomeno sekä astia lingon alapuolelle kiintoainekselle. Esimerkiksi kuuppaan voitaisiin asentaa kivet seulova verkko päälle ja lisätä pesuri- tai allasvettä kuuppaan sakan kiintoainepitoisuuden mukaan pumpattavuuden parantamiseksi. Kuupasta sakka pumpattaisiin lingon läpi, kiintoaine putoaisi sille varattuun astiaan ja ravinnepitoinen vesi johdettaisiin takaisin osaksi prosessin vesikiertoa. Kuivempi kiintoaine kauhottaisiin

loppusijoitukseen tai tarpeeksi kuivana, öljyttömänä alirakeena osaksi tuotantoa.

7. Yhteenveto ja pohdinta

Jätelain 5 b § (15.7.2021/714) mukaan jäte ei ole enää jätettä, kun kaikki seuraavat ehdot toteutuvat: sitä voidaan uudelleenkäyttää toiseen tarkoitukseen, sillä on markkinat ja kun sen käytöstä ei aiheudu vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Jätelain 8§:n mukaan ensisijaisesti tulee pyrkiä vähentämään syntyvän jätteen määrää sekä sen haitallisuutta (Jätelaki , 2011).

Määrittävä tekijä lannoitteiden valmistuksessa syntyvän sakan jälleenkäsittelyssä on sen sisältämät yhdisteet. Kyseinen sakka sisältää runsaasti ravinteita, muttei ole orgaanista, joten sitä ei voi hyödyntää esimerkiksi biokaasun valmistuksessa. Sakkaa ei myöskään voida kuivata esimerkiksi jätevedenpuhdistamon laitteilla, koska se sakkautuisi laitteistoon.

Lannoiteprosessista syntyvä sakka on jätettä vasta kun se pitää lähettää loppusijoitukseen. Loppusijoitukseen lähetettävän jätteen määrä vaihtelee hieman vuosittain, mutta määrä on vuositasolla 200 000 – 400 000 kg. Lannoitteen tuotantomäärään nähden (1,4 miljoonaa tonnia vuodessa v.2021) sakan määrä on pieni, mutta tämän suhteellisen pienenkin jätteen loppusijoitus on kallista ja minimointi on sekä taloudellista että ekologista.

Laboratorioanalyysit osoittivat sakkojen liukenevan, mutta jotkut vaativat useimmiten sekoituksen eli tapahtui liettyminen eikä liukeneminen. Saostumista voidaan ennustaa laskemalla onko ionitulo on suurempi kuin liukoisuustulo eli jos ionitulo on suurempi kuin liukoisuustulo niin muodostuu saostuma. Lannoitteen sakka sisältää kuitenkin monia ravinteita ja saostumisen laskeminen vaatisi kaikkien näiden ravinteiden analysointia saostuman ennustamiseksi. Oletuksena liuotusjärjestelmää pohdittaessa on saostuman muodostuminen. Tavoitteena liuotuksessa on tämän saostuman minimointi ja ravinteiden liukeneminen liuottimena toimivaan prosessiveteen. Liuotustestien tärkeimpänä tuloksena oli kiintoaineiden hyvä liukeneminen prosessiveteen eli ajatusta voidaan soveltaa käytäntöön.

Nykyisin käytössä on aistinvarainen käyttöönotto kuivatetulle prosessijätteelle, mutta jatkossa lisäyksenä tähän periaatteena sakan kosteus-prosentin mittaus labrassa ennen käyttöönottoa. Todettu hyvä kosteusprosentti on alle 1 %.

Toimivimmaksi, toimeksiantoa eniten vastaavaksi ratkaisuehdotukseksi ilman investointeja muodostui käsitellä jäte kahdessa eri paikassa. Kiintoainesta voisi liuottaa kuupassa eli kippikontissa hulevedellä tai pesurivedellä. Sekoitus parantaa kiintoaineksen liukenemistä, joten tarpeeksi pienille määrille ja kosteuspi-toisuudeltaan suurille jätteille voisi kehittää sekoituksen kuuppaan. Ylivuotoal-taan periaatteella toimiva liuotusastia tuottaisi puhtainta vettä ja ei vaatisi huu-tomista. Kuoppa itsessään toimisi myös eräänlaisena esisuodattimena, jos poh-jassa olisi reikiä. Ratkaisumallissa tulisi huomioida reikien aukipitäminen sakka-lietteen painuessa kuupan pohjalle, ja tähän ehdotuksena natsat höyryä varten kuupan kylkeen. Ongelmana likaisen lieteveden pääsy lattiakaivoon ja mahdol-liset kertymät, kuoppaan jäisi vain reikiä isommat rakeet ja muut jatkaisivat kier-tokulkuaan eteenpäin.

Investointia vaativia ehdotuksia löytyi muutama: Painovoimaperusteinen geo-tuubi ja tästä esimerkkinä Geosynt:n SoilTain-tuubi, joka on todettu haasteel-liseksi toteuttaa. Toinen investointiehdotus oli liuotusta parantava sekoitus ny-kyiselle kiertovesialtaalle eli propellit molemmille reunoille. Tässä ongelmana altaan pitkä muoto, sekoittajien asennus lyhyille sivuille eli sekoituksen riittämät-tömyys tästä johtuen sekä uusien kiertovesialtaiden käyttöönotto ja vanhan kier-tovesialtaan parannusten tarpeettomuus.

Lisäselvitystä vaativa innovatiivinen ajatus olisi tehdä kuivatusta sakasta epäor-gaanista kierrätyslannoitetta. Ruokaviraston asettamat enimmäismäärät haitalli-sille aineille eivät analysoiduissa sakanäytteissä ylittyneet ja kaatopaikkakel-poisuuskriteerit eivät automaattisesti kiellä lannoitevalmistekäyttöä, jos ainek-sen ominaisuudet ovat lannoitevalmistekäyttöön muutoin soveltuvia. Tässä vaihtoehdossa on ongelmana sellaisen sakan pieni osuus, mikä ei sisällä öljyä ja öljypitoisesta aineksesta ei voida valmistaa kierrätyslannoitetta. Lisäksi sakan kuivaaminen erillisillä laitteilla ei ole järkevää laitteistoon kiinni jäävillä aineilla tai suhteellisen pienillä määrillä hyötyyn nähden.

Sakasta olisi teoriassa mahdollista myös erotella kuiva-aine nesteestä esimerkiksi dekantterilingolla, joka on suuremmille kiintoainepitoisuuksille suunniteltu separointilaitte. Linkoon syötettävä sakka tulisi olla kivetöntä ja pumpattavissa olevaa. Kyseisen laitteen löytyessä valmiiksi toiselta toimipisteeltä yrityksen sisältä, ei vaadittaisi laiteinvestointeja. Dekantterilinkoa on käytetty Canitraattisakan käsittelyssä Norjassa sekä Siilinjärvellä kipsin erotukseen fosforihaposta. Näiden nykyinen käyttäaste on tuntematon.

Isoin haaste opinnäytetyössä oli asiantuntijoiden rajoitettu aika, joten isoksi osaksi ratkaisuehdotukset perustuvat omaan taustatutkimukseen ja omaan arviointiin. Jonkin verran taustalla oli valmista analyysitietoa sekä jo tehtyjä tutkimuksia. Tavoite saavutettiin, sillä ratkaisuehdotuksista löytyy ehdotus, joka ei vaadi investointeja.

Lähteet

Adams J. & Merz A., 1929. "Hygroscopicity of Fertilizer Materials and Mixtures". Industrial and Engineering Chemistry. 21 (4): 305–307.

Alfa Laval, 2022. Lingot. Haettu osoitteesta: <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ajarijestelmat/erotustekniikka/separaattorit-ja-lingot/lingot/>

(viitattu 16.9.2022)

Aspholm, S., Hirvonen H., Lavonen J., Penttilä A. & Saari H., 2007. Aine ja energia. Kemia 3: yksilölliseen oppimiseen. Helsinki: WSOY

Dokoumetzidisa A., Macheras P, 2006. International Journal of Pharmaceutics volume 321, sivut 1-1. Saatavilla netistä: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378517306005813?via%3Dihub> (viitattu 9.2.2022)

Asetus nro 24/11, 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Saatavilla netistä: <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/37638> (viitattu 15.7.2022)

Asetus nro 2.5.2013/331, 2013. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista. Saatavilla netistä: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130331> (viitattu 21.12.2021)

Asetus nro 931/2000, 2000. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. Saatavilla netistä: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000931> (viitattu 15.7.2022)

Berninger Kati, 2018. Ravinteiden kierrätys Suomessa, Tyrsky Consulting, Saatavilla PDF netistä: https://tyrskyconsulting.fi/wpcontent/uploads/2018_ravinteiden_kierratys_suomessa.pdf (viitattu 9.7.2022)

Bruce, T. & Siiskonen, T. 2012. TEOLLISEN TUOTANNON JÄTEVIRTOJEN HALLINAN KEHITTÄMINEN, Case Paroc Oy Ab. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Haettu osoitteesta: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/74865/Kandidaattity%C3%B6_Tyti_Bruce.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ECHA (European Chemicals Agency) , 2022. REACH-asetus tutuksi. Haettu osoitteesta: <https://echa.europa.eu/fi/regulations/reach/understanding-reach> (viitattu 10.10.2022).

Finlex, 2022. Haettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/>

Geosynt, 2022. Geotuubit. Haettu osoitteesta: <https://www.geosynt.fi/tuote-osasto/geotuubit/> (viitattu 14.9.2022)

Holmberg Henrik, 2020. Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuudessa. Haettu osoitteesta: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1193428/mod_resource/content/1/EEN-E3003%2C%20moniste%202020.pdf (viitattu 15.5.2022)

Häkkinen Eevaleena, 2018. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas, Suomen ympäristökeskus, julkaisu 11.6.2018. Saatavilla netistä: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74873/OH_1_2016.pdf (viitattu 2.12.2021)

Hänninen H., Iivari P., 2010. YHTEISPUHDISTAMON LIETTEIDEN JATKOKÄSITTELY, FCG Finnish Consulting Group Oy, viitattu 11.5.2022.

Ilmatieteenlaitos 2020. Ilman kosteus. Haettu osoitteesta: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus> (viitattu 14.9.2022)

Järvi Juha, 2007. Diplomityö: Tehdasalueen jätevesien ja niiden käsittelyssä muodostuvan lietteen hallinta, viitattu 18.4.2022

Jätelaki, 2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Järki-Lannoite, 2017. Tietokortit ravinnekierrätyksestä ja kierrätyslannoitteista, Baltic Sea Action Group (BSAG). Haettu netistä: https://www.bsaq.fi/wp-content/uploads/2019/07/tietokortit-jarki-lannoite_0.pdf (viitattu 22.9.2022)

Kemira, jätevesi. Haettu osoitteesta: <https://www.kemira.com/fi/vedenkasittely/jatevesi/> (viitattu 29.1.2022)

Kemira, 2011. KemiCond kiinnostaa. Haettu osoitteesta: <https://www.kemira.com/fi/konserni/media/uutishuone/uutiset/kemicond-kiinnostaa/> (viitattu 15.7.2022)

Kriittinen suhteellinen kosteus, 2022. Haettu osoitteesta: https://upwikifi.top/wiki/Critical_relative_humidity (viitattu 15.7.2022)

Kolehmainen Terhi, 2013. Kemiallinen saostus metallien talteenotossa ja vedenpuhdistuksessa, Oulun yliopisto, Saatavilla netistä: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201405201430.pdf> (viitattu 9.2.2022)

Lehtiniemi K. & Turpeenoja Leena, 2016. Mooli 5: Reaktiot ja tasapaino. Otava.

Letcher Trevor, 2007. Thermodynamics, Solubility and Environmental Issues. Saatavilla netistä: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444527073500008> (viitattu 12.6.2022)

Neuvoston direktiivi 91/676/ETY, 2011. Vesien suojelemiseksi maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta. EUR-Lex. Lainsäädäntö. Haettu netistä: <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:FI:HTML> (viitattu 28.7.2022)

Omalannoitteet, 2022. Yleistä kierrätyslannoitteista. Haettu osoitteesta: <http://ravinnejaenergia.fi/materiaali/omalannoitteet/yleista-kierratyslannoitteista/> (viitattu 15.7.2022)

Pelkonen Aija, 2022. Epäorgaanisen kemian jaosto, Ruokavirasto. Tiedusteltu sähköpostitse aiheesta 08/2022.

Opetustv, 2022. Liukoisuustulo. Haettu osoitteesta: <https://opetus.tv/kemia/ke5/liukoisuustulo/> (viitattu 14.9.2022)

Le Chatelierin periaate. Haettu osoitteesta: https://www.youtube.com/watch?v=pn45A4Q9k_s (viitattu 22.9.2022)

Pihkala Juhani, 2011. Prosessitekniikka: Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Tampere: Opetushallitus.

Pngwing, 2022. Weir Flow splitter Stormwater Storm drain. Haettu osoitteesta: <https://www.pngwing.com/en/free-png-swemg> (viitattu 22.9.2022)

Ruokavirasto, 2020. Haitalliset aineet ja hygienia. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/haitalliset-aineet-ja-hygienia/> (viitattu 7.7.2022)

Ruokavirasto, 2019. Kemialliset analyysit.
<https://www.ruokavirasto.fi/laboratoriopalvelut/lannoitetutkimukset/kemialliset-analyysit/>
(viitattu 1.8.2022)

Tampio E., Vainio M., Virkkunen E., Rahtola M. & Heinonen S., 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. LUKE luonnonvarakeskus, Haettu netistä:
https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542240/luke-luobio_37_2018_2X.pdf?sequence=8&isAllowed=y (viitattu 9.7.2022)

Tikkanen Sarianne, 2017. Ekologisella verouudistuksella vauhtia kiertotalouteen, Syke.fi. Haettu osoitteesta:
[https://www.syke.fi/fiFI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sarianne_Tikkanen_Ekologisella_verouudis\(45140\)](https://www.syke.fi/fiFI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sarianne_Tikkanen_Ekologisella_verouudis(45140)) (viitattu 18.7.2022)

Turunen Samuli, 2016. Opetus-tv. Haettu osoitteesta:
<https://opetus.tv/kemia/ke5/liukoisuus-ja-ph/> (viitattu 4.7.2022)

Tieteen termipankki, termihaku suoritettu osoitteessa:
<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Termipankki:Etusivu>

Tilastokeskus: <https://www.stat.fi/meta/kas/index.html?T>

Ympäristöministeriö, 2021. Jätelainsäädäntö. Haettu osoitteesta:
<https://ym.fi/jatelainsaadanto> (viitattu 21.12.2021)

van Leeuwen, M.L.J., 1998. Precipitation and mixing, Delft University Press. Haettu osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570794604800841>
(viitattu 3.4.2022)

Yara, 2021. Yara lyhyesti. Haettu osoitteesta: <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-lyhyesti/> (viitattu 4.3.2022)

Yara, 2022. Yaran Uudenkaupungin tehtaalla ennätysellinen vuosi 2021. Haettu osoitteesta: <https://www.yara.fi/uutiset-ja-tapahtumat/uutiset/yaran-uudenkaupungin-tehtaalla-ennatysellinen-vuosi-2021/> (viitattu 13.9.2022)

Liite 1 Haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet

Haitalliset aineet

Suomessa myytävien ja käytettävien lannoitteiden ja muiden lannoitevalmisteiden haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet (mg/kg ka):

- Arseeni (As) 25
- Elohopea (Hg) 1,0
- Kadmium (Cd) 1,5¹⁾
- Kromi (Cr) 300
- Kupari (Cu) 600²⁾
- Lyijy (Pb) 100
- Nikkeli (Ni) 100
- Sinkki (Zn) 1500²⁾

Haitallisten aineiden enimmäispitoisuus metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa ja niiden raaka-aineissa (mg/kg ka). Poikkeus koskee ainoastaan tyyppinimiluettelon ryhmää 1A7 Tuhkalannoitteet.

- Arseeni (As) 40
- Elohopea (Hg) 1,0
- Kadmium (Cd) 25¹⁾
- Kromi (Cr) 300
- Kupari (Cu) 700
- Lyijy (Pb) 150
- Nikkeli (Ni) 150
- Sinkki (Zn) 4500³⁾

¹⁾Maa- ja puutarhataloudessa käytettävässä tuhkalannoitteessa kadmiumin enimmäispitoisuus on 2,5 mg/kg kuiva-ainetta. ²⁾Kuparin ja sinkin enimmäispitoisuuden ylitys peltokäytössä voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu niiden puutetta. ³⁾Metsätaloudessa sinkin ylitys voidaan sallia suometsissä, jos puute on todettu maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä. Tällöin sinkin enimmäismäärä tuhkassa saa olla 6000 mg/kg ka.

Ruokavirasto.fi, 2020, haitalliset aineet ja hygienia.

Liite 2 Haitalliset metallit ja niiden enimmäispitoisuudet

Taulukko 1. Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa ja kalkitusaineissa typpihapolla uutettuna sekä muissa lannoitevalmisteissa kuningasvesimärkäpolttomenetelmällä uutettuna.

Alkuaine	Enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta	Metsätaloudessa käytävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa enimmäispitoisuus mg/kg ka.
Arseeni (As)	25	40
Elohopea (Hg) ¹⁾	1,0	1,0
Kadmium (Cd)	1,5 ²⁾	25
Kromi (Cr)	300 ³⁾	300
Kupari (Cu)	600 ⁴⁾	700
Lyijy (Pb)	100	150
Nikkeli (Ni)	100	150
Sinkki (Zn)	1500 ⁴⁾	4500 ⁴⁾

¹⁾ Elohopean määrittely EPA 743-menetelmällä

²⁾ 2,5 mg Cd/kg ka maa- ja puutarhataloudessa sekä viherrakentamisessa ja maisemoinnissa käytettävässä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa

³⁾ Sellaisenaan kalkitusaineena käytettävälle sivutuotteelle teräskuona (tyyppinimi 2A2/3) määritetään kromi liukoisena kuuden arvoisena kromina (Cr 6+). Raja-arvo liukoiselle kuuden arvoiselle kromille on 2,0 mg/kg kuiva-ainetta.

⁴⁾ Enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteissa voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu puutetta kuparista tai sinkistä. Metsätaloudessa enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa on sallittu ainoastaan sinkkiä suometsissä käytettäessä, silloin kun sinkin puute on kasvustosta todettu joko maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä. Tällöin maksimimäärä sinkkiä lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa saa olla enintään 6000 mg Zn/kg ka.

Asetus nro 24/11, 2011

Liite 3 Liuotuskokeiden suoritus

Sakan liuotuskokeet	Työselostus	1(4)
Ria Laitinen	Työ tehty Selostus jätetty Täydennetty	14.04.2022 ja 16.08.2022 02.10.2022 pp.kk.vvvv

Lannoitetehtaan sakkujen liuotus eri pesurivesillä

1 Johdanto

Uudenkaupungin Yaran lannoitetehtaalla syntyy monenlaista sakkua ja kuiva-ainepitoisuus sekä kemialliset ominaisuudet vaihtelevat. Liuotuskokeiden tarkoituksena on testata käytännössä alirakeeksi sellaisenaan sopimattomien kiintoaineiden liukenemistä prosessissa kiertävillä vesillä. Pohjalla on ajatus minimoida sellaisenaan käyttökelttomaksi sopimaton kiintoaines ja kierrättää mahdollisimman paljon ravinteita tehtaan sisällä liuottamalla.

2 Työn periaate

Laboratoriokokeilla haluttiin tutkia, miten prosessivesien pH tai/ja lämpötila vaikuttaa liukenemiseen.

3 Reagenssit

Liuotuskokeisiin valittiin neljä eri kiintoainetta:

1. Reaktorisakka
2. Kanaalisakka
3. Suursäkki, rikkoontunut, NPK-koodi: 12-24-12
4. Suursäkki, rikkoontunut, NPK-koodi: 20-5-18

Liuotuskokeet tehtiin seuraavilla vesillä:

1. Allasvesi 1: pH 3,5 ja lämpötila ulkolämpötilan mukaan vaihteleva
2. Allasvesi 2: pH 3,4 ja lämpötila ulkolämpötilan mukaan vaihteleva
2. L2705 pesurivesi: pH 8,99 ja lämpötila 34,3 °C
3. L1729 pesurivesi: pH 1,70 ja lämpötila 75,8 °C

4 Välineet ja laitteet

250 ml Erlenmeyer
Suodatinpaperi whatman 100 circles, diameter 70 mm, cat no.1001-070
Lämpötilamittari TurkuAMK Bio 1673 TES-1311 K-type

2(4)

Vaaka TurkuAMK Bio 1563
 pH-mittari Mettler Toledo MP220 LAB046
 Muovilusikka
 Imusuodatin
 Vaaka

5 Työturvallisuus

Työssä käytetään pesurivesiä, jotka sisältävät rikkihappoa ja typpihappoa. NPK-lannoitteet sisältävät eri määriä typpeä, fosforia, kaliumia, sivuravinteita sekä hivenravinteita. Kanaali- ja reaktorisakka sisältävät kaikkea lannoitetuotannossa kiertäviä kemikaaleja. Työ tehdään vetokaapissa ja käytetään henkilökohtaisia suojaimia (hanskat, lasit ja laboratoriovaatetus).

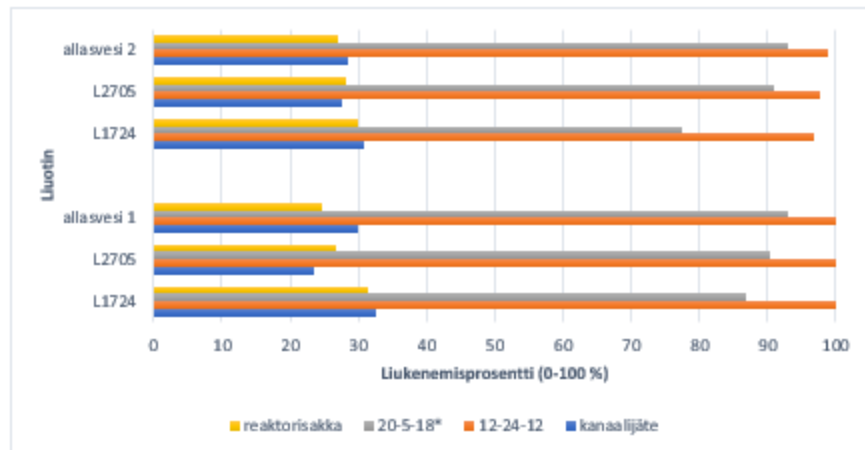
6 Työn suoritus

1. Sakkaa laitettiin 250 ml erlenmeyeriin 100 ml kohtaan asti ja punnittiin se. Punnituksesta vähennettiin tyhjän 250 ml erlenmeyerin paino. Kyseinen sekoitussuhde on valittu käytännön tilavuutta ajatellen: että sekoitus on vielä mahdollista ja vettä ei tarvita suhteettoman paljon.
2. Astiaan lisättiin pesurivettä 250 ml viivaan asti ja laitettiin sekoitukseen 10 minuutiksi magneettisekoittajalla.
3. Liuos imusuodatettiin ja jäljelle jäävä sakka punnittiin. Paino liuotuksen jälkeen merkittiin ylös labrapäiväkirjaan. Suodatettu liuos kaadettiin 250 ml näytepulloon laboratorion analysointia varten.
4. Näytteiden liuennut prosenttiosuus laskettiin:

$$\frac{\text{paino ennen liuotusta (g)} - \text{paino liuotuksen jälkeen (g)}}{\text{paino ennen liuotusta (g)}} * 100\%$$

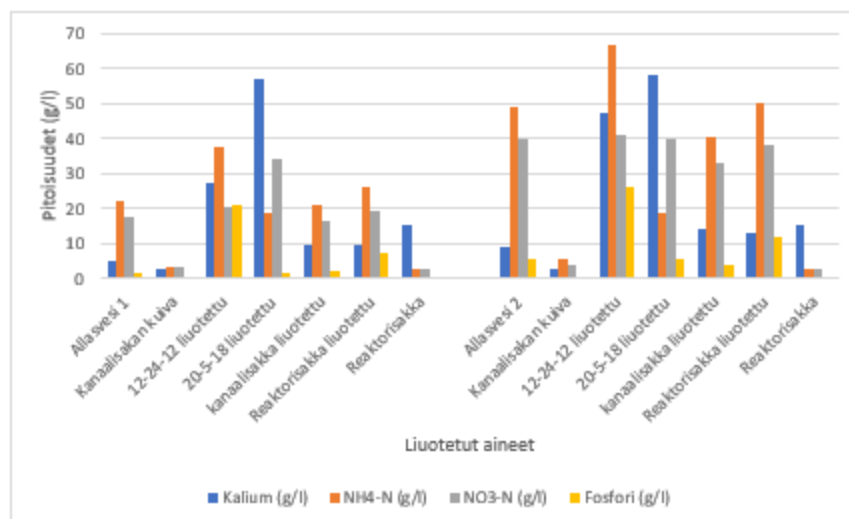
Liuotuskokeissa Ph ja lämpötila eivät suuresti vaikuttaneet tuloksiin, mutta allasveden ravinnepitoisuudet vaikuttavat kylläisen liuoksen saavuttamiseen. Korkeampi ravinnepitoisuus liuottimessa aiheuttaa sen, että liuos on nopeammin kylläisempi eli pienempi määrä liuotettavan aineen ravinteita liukenee. Pieni ero 12-24-12 ja 20-5-18* välillä selittyy mukana olleen maa-aineksen kanssa eli esimerkiksi lehtiä ja pieniä kiviä. Molempien liukoisuus puhtaana lannoitteena on aika liki 100 %. Pohjalla tärkeimpänä tietona kiintoaineiden hyvä liukenevuus eri prosessivesillä.

3(4)



Liutuksista ja reaktori- ja kanaalisakan kiintoaineista teetettiin Yara Uudenkaupungin laboratoriossa ravinneanalyytit perusravinteista. Kiintoainetta on punnittu 50g ja liuotettu 500 ml:n ionivaihdettua vettä. Tämän jälkeen näyte on suodatettu ja laimennettu analysaattorille. Tulokset ovat yksikössä g/l.

Ravinneanalyytit voisivat olla tärkeämmässä roolissa, jos analyytit olisivat jaajemmat sekä jäljelle jäävälle sakalle olisi ehtoja. Allasveden eri ravinnepitoisuudet vaikuttavat liuotusten tuloksiin eli esimerkiksi kun allasvesi 2 on korkeampi fosforipitoisuus, niin liuotuksissakin on korkeampi fosforipitoisuus verrattuna allasvesi 1 tuloksiin.



4(4)

7 Virhetarkastelu

Sakka sisälsi näytteestä riippuen myös nestettä, joten osa liukenemisesta on myös mukaan tullutta vettä eikä pelkästään liuotettavaa sakkaa/kiintoainesta. Kanaalisakka erityisesti sisälsi myös nestettä, joten liukenemisprosentti ei ole tarkka sakan suhteen. Analyysit ennen liuotusta olisivat myös antaneen tiedon ravinteista ennen liuotusta eli liunneet ravinteet. Nyt ravinnepitoisuudet kertovat liuoksen ravinteet eivätkä eroa lähtötilanteeseen eli muutoksen sakan lisäämisen jälkeen.

8 Tulokset

Sakka liukenee hyvin niin allas- kuin pesuriveteen ja pH:n tai lämpötilan vaikutus liukenemiseen on pieni.

9 Loppupäätelmät

NPK-lannoitteet ovat vesiliukoisia, joten liukenevat veteen ja jäljelle jäävä kiintoaineksi on liukenematonta maa-ainesta kuten kiviä, lehtiä ja hiekkaa. Lannoitetehtaan reaktorisakka on hyvin ravinnepitoista ja ravinnepitoisen liuottimen kanssa muodostaa helposti ylikylläisen liuoksen ja muodostuu sekoituksen loppuessa toisiinsa liukenemattomia sedimenttikerroksia. Kanaalisakka sisältää myös nestettä, joten liukenemisprosentti olisi ollut tarkempi välisuodatuksen jälkeen. Kuitenkin keskimääräinen liukenemisprosentti oli hyvä noin 61 ja jos otetaan huomioon pelkästään reaktori- ja kanaalisakka niin liukenemisprosentti oli noin 28.

10 Lähteet

Yara Uusikaupunki laboratoriotulokset 04/2022-08/2022
Laboratoriopäiväkirjat 04/2022-08/2022