



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - TUTKINNON TASO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LANNOITETEHTAAN SUOLA- SAOSTUMIEN KIIERRÄTYS

Yara Siilinjärvi Lannoitetehtas

TEKIJÄ: Tomi Huttunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Tomi Huttunen	
Työn nimi Lannoitetehtaan suolasaostumien kierrätys	
Päiväys 27.10.2021	Sivumäärä/Liitteet 38
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Yara Suomi Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää miten Yara Siilinjärven lannoitetehtaan kaasupesureissa ja kiertoaltaiden esiselkeyttimissä syntyvät suolasaostumat voitaisiin kierrättää takaisin lannoiteprosessiin. Suolasaostumaa syntyy vuodessa noin 400 tonnia. Suolasaostuman savimainen koostumus estää sen syötön lannoiteprosessiin raaka-ainesilojen kautta.</p> <p>Työssä pohditaan menetelmää suolasaostumien kierrätykselle ja esitetään toimivia ratkaisuja prosessilaitteiston kehittämiseksi, suolasaostumien koostumuksen muokkaamiselle käsiteltävämpään muotoon sekä logistiikkaketjun luomiselle sakan kierrättämiseksi. Opinnäytetyössä tutkitaan suolasaostuman koostumusta ja ravinnesisältöä sekä sopivaa seosainetta kosteuden sitomiseksi. Työssä esitetään suolasaostumille sopiva syöttöpiste lannoiteprosessista sekä tekniset ratkaisut syöttöpisteen muokkaamiseksi. Lannoiteprosessin kannalta sopivin kohta prosessissa oli syöttää suolasaostumat suoraan reaktoriin. Suolasaostuman koostumuksen vuoksi syöttölaitteen tuli olla toimintavarma ja tukkeentumaton.</p> <p>Tämä opinnäytetyö oli kehitysprojekti, jonka tulokset tuovat säästöjä yritykselle kierrätyksen myötä. Samalla lannoitteen kierrätysaste kasvaa. Laitteisto, joka kehitettiin suolasaostumien kierrättämiseksi, on toimiva ja käytössä päivittäisessä työssä. Työssä esitetään parhaat ratkaisut sakan käsittelyyn, syöttämiseen lannoiteprosessiin sekä seosaineen valintaan. Työssä vertaillaan sakan kierrätyksen taloudellisia kustannuksia eri menetelmien välillä.</p>	
Avainsanat	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Tomi Huttunen	
Title of Thesis Recycling of Precipitated Salt at a Fertilizer Plant	
Date October 28, 2021	Pages/Appendices 38
Client Organisation /Partners Yara Suomi Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The thesis was made for the Yara Siilinjärvi fertilizer plant. The main purpose of the thesis was to develop a system for recycling precipitated salt back into the fertilizer process. The precipitated salt is formed in the process of gas scrubbing system and it is accumulated in the bottom of the process water vessels. The yearly amount is around 400 t/a. Salt handling has earlier been very difficult.</p> <p>The thesis discusses the challenges of recycling the precipitated salt and presents a method for salt handling and feeding it back into the fertilizer process. The feeding point in process was selected and technical solutions are presented. In the thesis the composition and nutrient content of the precipitated salt and a suitable mixture material for binding moisture and sufficient handling was studied.</p> <p>This thesis was a development project to reduce costs and increase recycling. The best solutions for precipitated salt handling, feeding and mixing are presented. The economic comparison between the different methods is contained in the study. The equipment which was developed to recycle precipitated salt is functional and is used in daily work. The results of the recycling efficiency are presented in this thesis.</p>	
Keywords Recycling	

## ESIPUHE

Opinnäytetyö vaatii aina ponnisteluja ja ilman ohjaajan sekä työyhteisön tukea työn tekeminen olisi vaikeaa. Tässä työssä haluan kiittää erityisesti Savonia-ammattikorkeakoulun ohjaajaopettajiani Pertti Varista ja Sami Pattia laadukkaasta ohjauksesta sekä Yara Suomi Siilinjärven Lannoite-  
tehtaan tuotantopäällikköä Henri Pitkästä opinnäytetyön työpaikka ohjauksesta. Ohjauksesta oli suuri apu opinnäytetyön suunnittelussa ja toteutuksessa. Haluan myös kiittää kaikkia heitä, jotka olivat mukana opinnäytetyön eri vaiheissa.

Kuopiossa 27.10.2021

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	YARA ESITTELY.....	9
2.1	Yara Suomi Oy.....	9
2.2	Yara Siilinjärvi.....	10
3	SIILINJÄRVEN LANNOITETEHIDAS.....	11
3.1	Lannoiteprosessi .....	11
3.1.1	Liuotus ja neutralisointi .....	12
3.1.2	Rakeistus.....	13
3.1.3	Seulonta ja jäähditys .....	13
3.1.4	Kaasunpesu ja pölynerotus .....	13
3.1.5	Energia.....	13
4	PROSESSIVESIKIERTO JA SUOLASAOSTUMAT .....	15
4.1	Suolasaostumien kemiallinen koostumus .....	16
5	VAIHTOEHTOISET RATKAISUT SUOLASAOSTUMAN KIERRÄTYKSELLE .....	17
5.1	Aiemmin koettujen ratkaisujen arviointi .....	17
5.2	Kiertotalous ja resurssitehokkuus .....	17
6	KIERRÄTYSRATKAISU SUOLASAOSTUMALLE.....	19
6.1	Seosaine .....	19
6.2	Kierrätyspisteen valinta lannoiteprosessissa .....	20
7	INVESTOINNIT.....	21
7.1	Investoinnin strategia.....	21
7.2	Investointi päätös ja suunnitelma.....	21
7.3	Investointienluokittelu .....	21
7.4	Investointiprosessi .....	22
7.5	Aikataulutus .....	23
7.6	Investoinnin toteutus .....	23
7.7	Raportointi .....	23
7.8	Investoinnin takaisin maksuaika.....	24
8	KIERRÄTYKSEN TALOUDELLINEN TARKASTELU .....	25
8.1	Kierrätyspilotin investoinnin taloudellinen tarkastelu .....	25
8.2	Kierrätysmenetelmien taloudellinen vertailu .....	25

9	KIERRÄTYKSEN TEKNISET RATKAISUT .....	27
9.1	Suppilon esisuunnittelu.....	27
9.1.1	Muutoksenhallinta .....	27
9.2	Kierrätyspilon pääsuunnittelu.....	28
9.3	Suppilon valmistus ja asennus .....	31
10	LOGISTIIKKA .....	33
10.1	Logistiikka tehtaalle.....	33
10.2	Logistiikka tehtaalla sisällä .....	34
11	KOEAJOT .....	35
11.1	Kierrätyksen tehokkuus .....	35
11.2	Kehitysideoita ja työturvallisuus kierrättämiseen .....	35
12	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	37
13	LÄHTEET .....	38

## KUVALUETTELO

KUVA 1.	Yara Suomen toimipisteet kartalla .....	9
KUVA 2.	Yara Siilinjärven tehtaot ja kaivos (Yara Siilinjärvi 2021) .....	10
KUVA 3.	Lannoiteprosessi (Hukkamäki 2016) .....	11
KUVA 4.	Esiselkeytysallas.....	15
KUVA 5.	Kuva esittää kiertotaloutta .....	18
KUVA 6.	Suolasaostuman ja kipsin valmis seos.....	19
KUVA 7.	Kuvassa on esitetty yksinkertainen malli investoinnista .....	22
KUVA 8.	Räjätyskuva suppilosta .....	29
KUVA 9.	Kannen rakenne.....	30
KUVA 10.	Suppilon kansi auki asennossa .....	30
KUVA 11.	Seulan hitsattu rakenne .....	31
KUVA 12.	Kierrätyspilo ketjukolajettimen päällä .....	31
KUVA 13.	Kierrätyspilo asennettuna ja koeajossa .....	32
KUVA 14.	Suolasaostumien kuivausalue .....	33

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Taulukossa on esitetty lannoiteprosessin pääraaka-aineet .....	12
TAULUKKO 2. Taulukossa kuvataan suolasaostuman kemiallinen koostumus.....	16
TAULUKKO 3. Taulukko esittää investointi luokkien eroavaisuudet.....	22
TAULUKKO 4. Investointi sisältää useita raportteja .....	24
TAULUKKO 5. Kierrätysmenetelmien taloudellinen vertailu .....	26
TAULUKKO 6. Muutoksenhallinnan kriteerit .....	28
TAULUKKO 7. Logistiikkaketju suolasaostuman saattamiseksi lannoiteprosessiin .....	33

## TERMIT

Ammonoida	Lannoiteliemen neutralointi ammoniakkikaasulla
Feasibility Study	Investointisuunnitelma
Eksotermien	Kemiallinen reaktio, jossa vapautuu lämpöä
Hygroσκοoppinen	Aine, joka imee ilmasta kosteutta
Kiertovesi	Kaasunpesuvesi lannoiteprosessissa
MOC	Management of Change eli muutoksenhallinta
NPK	Typpi, fosfori, kalium
Sakkakouru	Kiertovesialtaan esiselkeytin
Stabilointi	Vakautus

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Yara Siilinjärven lannoitetehtaalle. Pää tavoitteena opinnäytetyössä oli kehittää menetelmä kaasupesurien suolasaostumien kierrätykselle takaisin lannoiteprosessiin. Lannoitetehtaalla on suljettu prosessivesien kierto. Prosessivesikierto sisältää tehtaan poistokaasupesurien lisäksi kaksi 1500 m<sup>3</sup> kiertovesiallasta, joissa selkäytimenä toimivat laskeuma-altaat ennen varsinaista allasta, niin kutsutut sakkakourut. Suolasaostumat eivät ole vesiliukoisia, joten saostumat laskeutuvat kaasupesurien ja sakkakourun pohjalle. Sakkakourut täyttyvät suolasaostumasta ja puhtaampi vesi jatkaa altaaseen, josta taas takaisin lannoiteprosessiin reaktorien jäähdytys vedeksi. Suolasaostumat kauhotaan sakkakourusta kuivatus alustalle. Suolasaostuman kuivettua se siirretään raaka-aine varastolle läjitykseen odottamaan jatkokäsittelyä.

Aikaisemmin suolasaostumat kierrätettiin raaka-ainesilojen kautta takaisin lannoiteprosessiin. Tämä kuitenkin osoittautui ongelmalliseksi tavaksi silojen tukkeennuttua annostelun aikana. Seuraavaksi oli tarkoituksena kierrättää suolasaostumat ongelmajätteenä ongelmajätelaitoksella. Työssä suunniteltiin suolasaostuman koostumuksen parantaminen seosaineella, logistiikkaketju suolasaostuman kuljettamiselle lannoitetehtaalle sekä kierrätyspilo suolasaostuman saattamiseksi takaisin lannoiteprosessiin. Suolasaostumaa syntyy noin 400 tonnia vuodessa.



## 2 YARA ESITTELY

Yara on globaali kivennäislannoitteiden, teollisuuskemikaalien ja ympäristönsuojelutuotteiden toimitaja. Liikevaihto yrityksellä on noin 11,6 miljardia USD ja henkilöstöä yli 17000. Myyntiverkosto ulottuu 160 maahan ja toimipaikkoja on yli 60 maassa. Lannoitteita myydään vuodessa 30,5 miljoonaa tonnia ja lisäksi teollisuustuotteita 6,6 miljoonaa tonnia. Pääkonttori sijaitsee Norjassa Oslossa. Yhtiö on perustettu 1905 nimellä Norsk Hydro (Yara lyhyesti 2021).

### 2.1 Yara Suomi Oy

Suomessa toiminta aloitettiin vuonna 1920, kun valtion Rikkihappo- ja Superfosfaattitehtaat perustettiin. Tehtaiden nimi muutettiin Rikkihappo Oy:ksi vuonna 1961 ja Kemira Oy:ksi vuonna 1972, jolloin se jakoi lannoiteliiketoiminnan ja kemianteollisuuden toisistaan ja lannoiteliiketoiminta nimettiin Kemira Agroksi. Kemiran liiketoiminta oli laajaa ja yli 80 vuoden aikana tuotanto keskittyi lannoitteiden ja rikkihapon tuotantoon sekä lukuisiin eri teollisuuskemikaaleihin. (Yara Suomi 2021).

Kemiran aikana liiketoimintaa alettiin kansainvälistämään ja globaaliksi toiminnaksi se kehittyi 1980-luvulla, kun Kemira laajeni ostamalla lannoitetehtaita Iso-Britanniasta, Alankomaista, Belgiasta, Ranskasta ja Tanskasta. Kemirasta tuli kehittynyt kansainvälinen vientiyritys. Kemira-konsernin liiketoimintayksiköt yhtiöitettiin 1990-luvulla sekä uusia yrityskauppoja tehtiin Baltiaan, Puolaan, Unkariin sekä Lähi-itään ja Aasiaan. Kemira listautui Helsingin pörssiin vuonna 1994 (Yara Suomi 2021).

Kemira Agro Oy irtautui Kemira Oyj:stä vuonna 2004, uudeksi nimeksi tuli oli Kemira GrowHow, jolla se listautui Helsingin pörssiin. Yara osti Kemira GrowHow:n Suomen valtio osakekannan vuonna 2007. GrowHow:sta tuli norjalaisen Yara International ASA:n tytäryhtiö (Yara Suomi 2021).



KUVA 1. Yara Suomen toimipisteet kartalla

## 2.2 Yara Siilinjärvi

Siilinjärven tehtaat työllistävät 400 vakinaista työntekijää ja lisäksi suuren määrän yhteistyökumppaneita. Päätuotteena ovat lannoitteet ja fosforihappo. Lannoitteiden tuotanto on noin 500 000 tonnia vuodessa ja fosforihapon tuotanto on noin 300 000 tonnia vuodessa. Siilinjärven tehdasalue sisältää lannoite- ja fosforihappotehtaan lisäksi raaka-aineita valmistavia tehtaita kuten rikkihappo- ja typpi-happotehtaan. Kaivosalueeseen kuuluu Suomen suurin avolouhos, rikastamo ja pastalaitos. Lisäksi tehdasalueella on lukuisia tukitoimintoja, kuten voimalaitos ja laboratoriot (Yara Siilinjärvi 2021).



KUVA 2. Yara Siilinjärven tehtaat ja kaivos (Yara Siilinjärvi 2021).

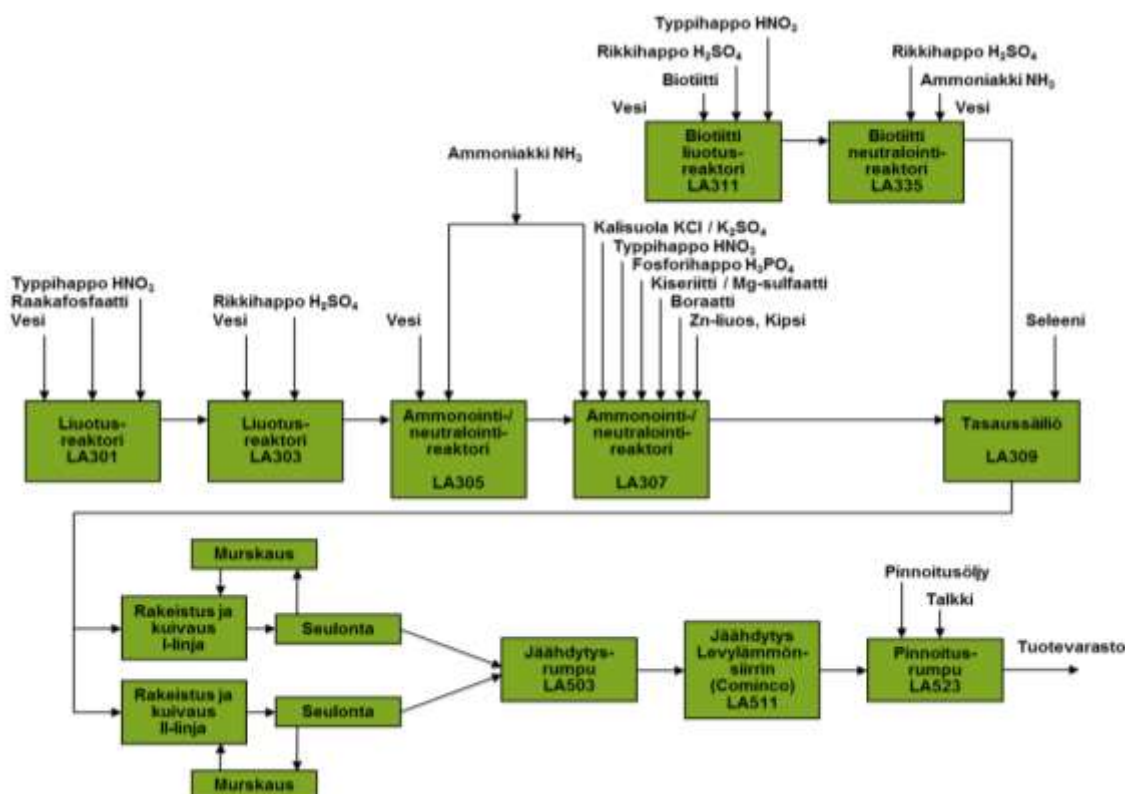
### 3 SIILINJÄRVEN LANNOITETEHDAS

Siilinjärvelle perustetun lannoitetehtaan kivijalka muurattiin vuonna 1976. Tuolloin tehtaan tuotantokapasiteetti oli noin 350 000 t/a. Vuosikymmenien aikana tuotantokapasiteettia kasvatettiin jatkuvan parantamisen hengessä ja nyt lannoitetehtaan tuotantokapasiteetti on 500 000 t/a peltolannoitteita, joka kattaa liki Suomen markkinan. Suurin osa Siilinjärvellä tuotetuista lannoitteista tehdään kotimaan markkinoille. Osa lannoitteista lähtee laivoilla vientiin tehtaan sisävesisatamasta. Yaran toinen lannoitetehtas Uusikaupungissa keskittyy pääasiassa ventilaajikkeisiin. Tehdas toimii katkeamattomassa kolmivuorossa. Tehtaalla työskentelee 35 henkilöä, sekä heidän lisäksi joukko yhteistyökumppaneita (Yara Siilinjärvi 2021).

#### 3.1 Lannoiteprosessi

Siilinjärven lannoiteprosessi on ns. modifioitu nitrofosfaattimenetelmä (kuva 3). Prosessilla voidaan tehdä NPK, NK, NP ja N lajikkeita, joten lajikematriisi on suuri. Prosessin pääraaka-aineita on useita, kuten taulukossa 1 osoitetaan. Lajikkeisiin lisätään hivenaineita, joita ihmiset ja eläimet tarvitsevat. Lannoitetehtaan läpi virtaa suuri määrä raaka-aineita. Suuri osa raaka-aineista saadaan tehdasalueelta, kuten tyypihappo, rikkihappo, fosforihappo, apatiitti, kipsi ja biotiitti. Loput raaka-aineet virtaavat tehtaalle rekoilla ja junilla.

Lannoiteprosessi koostuu useista yksikköprosesseista, jotka ovat sarjassa ja voimakkaasti riippuvaisia toisistaan. Onnistuneen tuotannon ja laadun varmistamiseksi jokaisen prosessin osan tulee onnistua. Lannoiteprosessissa on useita laatumittareita, joita seurataan taukoamatta. Lisäksi laatua valvotaan omassa laboratoriossa.



KUVA 3. Lannoiteprosessi (Hukkamäki 2016)

TAULUKKO 1. Taulukossa on esitetty lannoiteprosessin pääraaka-aineet.

Raaka-aine	Kemiallinen kaava
Raakafosfaatti (apatiitti)	$Ca(PO_4)F_6$
Biotiitti	$K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$
Typpihappo	$HNO_3$
Rikkihappo	$H_2SO_4$
Fosforihappo	$H_3PO_4$
Ammoniakki	$NH_3$
Kaliumkloridi (MOP)	$KCl$
Kaliumsulfaatti (SOP)	$K_2SO_4$
Magnesiumsulfaatti	$MgSO_4$
Magnesiumoksidi	$MgO$
Sinkkisulfaatti	$ZnSO_4$
Boraatti	$B(O)_3$
Seleeni	$Se$
Kipsi	$Ca(SO)_4$

### 3.1.1 Liutos ja neutralisointi

Lannoiterekattorit toimivat sarjassa, jolloin jokainen reaktori on ylikaadossa. Lajikkeita vaihdettaessa tehdasta ei pysäytetä, vaan reaktoreille syötetään uuden lajikkeen raaka-aineita oikeassa suhteessa ja lajike vaihtuu kolmessa tunnissa. Erien välissä voi syntyä sekulia, joka ei ole kummankaan lajikkeen ravinne spesifikaation mukaista tuotetta. Nämä rakeet kierrätetään takaisin lannoiteprosessiin.

Ensimmäisessä vaiheessa apatiitti liuotetaan kahdessa liuotusreaktorissa typpi- ja rikkihappoon, jotta fosfori saadaan vesiliukoiseen muotoon. Rikkihapolla kalsium saadaan sidottua apatiitista ja näin syntyy kipsiä sekä vesiliukoista fosforia.

Toisessa vaiheessa liuennut apatiitti ja ylimäärä happo johdetaan ensimmäiseen neutralointireaktoriin, jossa seoksen pH nostetaan arvoon 3 ammoniakkikaasulla. Samalla ammoniakista saadaan ammoniumtyyppiä. Seos jatkaa toiseen ammonointireaktoriin, jossa seokseen lisätään ammoniakkia ja pH nostetaan arvoon 6 eli lähelle neutraalia. Tässä vaiheessa seokseen lisätään kalisuola, sekä tarvittavat hivenaineet kuten magnesiumsulfaatti. Viimeisessä reaktorissa seos on valmis ruiskutettavaksi rakeistusrumpuun.

### 3.1.2 Rakeistus

Siilinjärven lannoitetehtas sisältää kaksi identtistä rakeistuslinjaa. Reaktoreilta pumpattava seos eli lannoiteliemi ruiskutetaan rakeistusrumpuun, jonka sisällä kauhat nostavat raeverhoa. Pumpattu liemi hajotetaan suuttimessa paineilman avulla sprayksi. Liemi törmää raeverhoon ja ydinrakeisiin. Ydinrae saa sipulirakenteen ja se alkaa suureta. Näin jokaisessa rakeessa on tasaisesti sama ravinnesisältö. Rummun keulalla lämpötila on noin 200–300 °C, jotta osa kosteudesta saadaan haihdutettua ja rakeet kuivavat koviksi. Rummun perän kuivausosassa lämpötila on noin 100 °C lämpötila.

### 3.1.3 Seulonta ja jäähdytys

Rakeistuksen jälkeen rae nostetaan elevaattoreilla tehtaan ylimpään kerrokseen, josta se ohjataan seuloille. Seuloilla raemassasta seulotaan jakeet erilleen. Raejakeet ohjataan joko tuotteeksi, pienet jakeet takaisin rakeistusrumpuun tai liian suuret valssimurskalle murskattavaksi, josta takaisin rakeistusrumpuun. Rakeistuskierrossa rakeista 1/3 on tuotekokoisia. Kun seula on erotellut tuotteen, aletaan tuotetta jäähdyttämään jäähdytysrummulla ja levylämmönvaihtimella. Tuote jäähdytetään noin 35 °C, jonka jälkeen tuote pinnoitetaan pinnoitusöljyllä ja talkilla. Valmis tuote siirretään hihnakuljettimilla tuotevarastoon, josta se pakataan suursäkkeihin tai irtotavarana junaan ja laivaan.

### 3.1.4 Kaasunpesu ja pölynerotus

Prosessissa reaktoreilta vapautuu lämpöä ja emissiokaasuja, joten lannoitetehtaalla on laaja kaasupesujärjestelmä. Lannoitereaktoreilta vapautuvat kaasut ovat pääosin typenoksiedeja ja ammoniakia. Typenoksiedeille, joita vapautuu liuotusprosessissa, on kaksi pallopesuria. Ammonointireaktoreista vapautuvalle ammoniakille on spray-, venturi- ja pallopesurit. Rakeistuksen kuivakaasuille on omat pesurinsa, joita ennen pöly on eroteltu syklonien avulla kaasusta. Pesurien pH säätö on automatisoitu ja pH arvot ovat tarkoin asetellut. Liuotusreaktoreiden pesureilla pH säädetään ammoniakkikaasulla tai ammoniakkivedellä ja ammonointireaktoreiden pesureissa typpihapolla. Lannoitetehtaan prosessivesikierto on suljettu. Kaasupesureiden vesi sisältää samoja ravinteita kuin lannoite, joten ravinteet saadaan talteen käyttämällä pesurivettä reaktorien jäähdytykseen. Pölyn erotukseen syklonien lisäksi on käytössä letkusuodin. Pölyt palautetaan reaktoreille lannoiteliemeen.

### 3.1.5 Energia

Prosessi on eksotermiäinen, joten reaktoreita tulee jäähdyttää. Jäähdytys tehdään pesurivedellä. Rakeistuksessa rumpuja lämmitetään jopa 300 °C lämpöön, jolloin energian kulutus on suurta. Lannoitetehtaalla on typpihappotehtaalta saatava hukkalämmön talteenotto, josta saadaan 200 °C ilmaa

lannoitetehtaan kuumailmakehittimille. Typpihappotehtaan lämmöllä saadaan korvattua osa tarvittavasta energiasta. Kuumailmakehittimissä on nestekaasupolttimet, jotka tuottavat tarvittavan lisälämmön rumpuun.



#### 4 PROSESSIVESIKIERTO JA SUOLASAOSTUMAT

Lannoitetehtaan prosessivesien kierto on suljettu, joten vesitaseen merkitys on suuri. Vesikiertoon syötettävät raakavedet on voitava kuluttaa haihduttamalla lannoitereaktorissa. Kaikki ravinnepitoiset vedet kierrätetään takaisin lannoiteprosessiin. Myös lannoitetehtaan ympäristöstä maaperään suotautuvat ravinnepitoiset vedet pumpataan keruukaivoista kiertovesialtaille.

Pesurivesikierrossa ammoniakkikaasuja pestäessä puhtain vesi pesee kaasua juuri ennen piippua ja likaisin vesi ensimmäisessä pesurissa heti reaktorien jälkeen. Myös pH arvot pesureilla noudattavat samaa kaavaa eli korkein pH-arvo on viimeisessä pesurissa juuri ennen piippua ja matalin ensimmäisessä pesurissa heti reaktorin jälkeen. Kaasun pesun pH säätöön käytetään typpihappoa, joka muodostaa yhdessä ammoniakkipitoisten kaasujen kanssa suoloja kuten ammoniumnitraattisuolaa. Ammoniumnitraattipitoisuus jää kuitenkin pieneksi, koska suuri määrä vettä kiertää tehokkaasti altaiden ja pesurin lävitse suuressa vesikierrossa. Ammoniumnitraatti on täysin vesiliukoinen, joten se ei kerääntynyt pesurien eikä altaiden pohjalle. Kaasuja pestäessä reaktoreilla on alipaine, jotta kaasut ohjautuisivat kaasukanaviin. Liika ammoniakki reaktoreilla lisää merkittävästi typpihapon määrää vesissä, koska pesurien pH säädetään typpihapolla. Liika alipaine reaktoreilla aiheuttaa kuivaraaka-aineiden kulkeutumisen kaasupesujärjestelmään ja sitä kautta yhdessä typpihapon ja ammoniakin ne muodostavat vesiliukenemattomia suoloja pesurijärjestelmään. Suolasaostuman laskeuduttua pesurien pohjille ne voivat aiheuttaa tukkoisuutta pesusuuttimissa ja pumppujen imuissa. Kiertovesialtailla suolasaostumat laskeutuvat esiselkeytysaltaan pohjalle (kuva 4).



KUVA 4. Esiselkeytysallas on kuvassa keskellä, jonka pohjalle suolasaostumat laskeutuvat.

## 4.1 Suolasaostumien kemiallinen koostumus

Suolasaostuman kemiallisen koostumuksen analysointi oli tärkeää. Ravinnesisältötiedoilla voitiin laskea ravinteiden arvo, joka saadaan takaisin lannoiteprosessiin kierrättämällä suolasaostumaa. Lisäksi saatiin selville paljonko pääravinteita kierrättää lannoiteprosessiin ja sitä kautta vaikutukset lannoiteprosessin säätöön. Taulukossa 2 on kerrottu suolasaostuman ravinnesisältö ja ravinteista saatavana rahallinen arvo. Taulukossa esitetään raaka-aineet, joita käytetään lannoitteiden valmistamiseen, joten on viisasta kierrättää ravinteet takaisin lannoiteprosessiin.

TAULUKKO 2. Taulukossa kuvataan suolasaostuman kemiallinen koostumus, pitoisuusprosentti, kokonaismäärä ja ravinteiden sisältämä rahallinen arvo.

<b>Analyysi</b>	<b>Tulos %</b>	<b>Määrä t/a</b>	<b>Arvo €/a</b>
$P_2O_5$ – kok	17	49	
$K_2O$ – kok	1	3	
$Mg$	2	6	
$S$	6	17	
<b>Yhteensä</b>			<b>40000</b>



## 5 VAIHTOEHTOISET RATKAISUT SUOLASAOSTUMAN KIERRÄTYKSELLE

Vaihtoehtoisia ratkaisuja mietittäessä tutkittiin historiaa aikaisemmin koettujen ratkaisujen löytämiseksi. Uusia toimintatapoja luodessa tulee tutkia aikaisemmat toimintatavat ja analysoida niiden vahvuuksia ja heikkouksia, jotta samoja virheitä ei toistettaisiin.

### 5.1 Aiemmin koettujen ratkaisujen arviointi

Suolasaostumia on syntynyt koko lannoitetehtaan historian aikana noin 400 t joka vuosi. Historiaa aikaisemmilta vuosikymmeniltä, kuinka näitä suoloja on kierrätetty, on mahdoton löytää. Viimeisen vuosikymmenen aikana suoloja on koitettu kierrättää monin eri keinoin. Yleisin tapa on ollut syöttää sakkaa raaka-ainesilojen kautta reaktoreihin ilman seosaineita. Siilot on kuitenkin tarkoitettu kuiville raaka-aineille, jolloin siilojen kautta kostean savimaisen aineen annostelu ei ole järkevää. Siilojen alaosassa syöttökartio on kapea, jolloin savimainen aines tukkii sen helposti.

Lannoitetehtaan aikaisempaan kiertovesialtaaseen oli suunnitteilla lautta, jossa uppopumppu olisi nostanut pohjasakkaa siirtopumpulle ja sitä kautta tehtaalle. Altaaseen olisi tarvittu sekoitus, jolla pohjaliete olisi saatu irti pohjasta ja sotkeutumaan takaisin prosessiveteen. Tästä ideasta kuitenkin luovuttiin sen heikon käytännöllisyyden vuoksi. Aikaisemman kiertovesialtaan elinkaari oli lopussa, joten altaaseen ei haluttu investoida. Lannoitetehtas sai uudet kiertovesialtaat käyttöön vuonna 2010, jolloin altaille rakennettiin suolasaostumalle esiselkeytsaltaat.

Aikaisemmissa kokeiluissa testattiin magnesiumsulfaatin ja suolasaostuman seosta. Magnesiumsulfaatti on voimakkaasti hygroskooppinen, joten se pystyy imemään itseensä paljon vettä. Seoksen tarkoituksena oli veden sitominen ja sitä kautta kuivan raaka-aineen syöttäminen prosessiin raaka-ainesilojen kautta. Kokeen tuloksena oli kuitenkin voimakkaasti paakkuuntunut koostumus. Seos täytyi louhia kasasta kaivinkoneella ja murskata, ennen kuin sitä voitiin syöttää lannoiteprosessiin. Seoksen kustannukset olivat merkittäviä, sillä magnesiumsulfaatin hinta oli korkea ja käytettävä määrä seoksen valmistukseen suuri.

Viimeisten vuosien aikana suolasaostumaa läjitettiin raaka-ainevarastolle ja sakkojen kokonaisuus alkoi kasvamaan merkittävästi. Viimeisenä ratkaisuna mietittiin aineen siirtoa stabiloitavaksi ja sijoitettavaksi ongelmajätelaitokselle. Tämä vaihtoehto olisi ollut helppo, mutta kallis toteuttaa.

### 5.2 Kiertotalous ja resurssitehokkuus

Aloimme pohtia kiertotalouden näkökantaa, olisiko viisainta kierrättää saostumat takaisin lannoiteprosessiin ja tehdä siitä lannoitetta. Kiertotalouden määritelmään ja toimintaan liittyvät mallit ovat muun muassa jätteen ja hukan minimointiin tähtäävä tuote, uudelleenkäyttö sekä kierrätys. Kiertotalous vahvistaa maapallon ekologista kantokykyä pitkällä aikavälillä (Sitra 2018). Suolasaostuman kierrätys on raaka-aineen uudelleen käyttöä. Se tukee ekologista kantokykyä koska kaikki suolasaostumat kierrätetään takaisin lannoiteprosessiin.



KUVA 5. Kuva esittää kiertotaloutta, joka tulee olemaan merkittävä asia tulevaisuudessa. (Sitra 2018).

Myös ravinnekierto eli ravinteiden, erityisesti fosforin ja typen kierrättäminen takaisin lannoiteprosessiin on taloudellisesti järkevää. Lisäksi resurssitehokkuus, joka pyrkii vähentämään ympäristökuormitusta ja kulutuksen kautta raaka-aineita uudelleen kiertoon. Materiaalien optimaalinen käyttö ja ympäristön kuormituksen vähentäminen on osa resurssitehokkuutta, jolla ehkäistään luonnonvarojen loppuminen. Lisäarvoa pyritään luomaan pienemmistä materiaalivirroista, joita kierrätetään. Resurssitehokkuus on osa kiertotaloutta (Sitra 2018). Suolasaostumassa on kaikkia ravinteita, joita käytetään lannoiteprosessissa, joten on päivänselvää pyrkiä kierrättämään ravinteet takaisin prosessiin. Näistä ravinteista suurin osa on juuri edellä mainittuja typen ja fosforin yhdisteitä. Voidaan todeta kierrätyksen vähentävän ympäristön kuormitusta ja ehkäisevän omalta osaltaan luonnonvarojen loppumista.

## 6 KIERRÄTYSRATKAISU SUOLASAOSTUMALLE

Ratkaisu kierrätykselle oli löytää menetelmä, jolla suolasaostumasta saataisiin käsittelykelpoinen raaka-aine. Lisäksi syöttöpisteen löytäminen lannoiteprosessista muodostui merkittäväksi tekijäksi, koska raaka-aine sillojen kautta syöttö olisi vaatinut aineelta jauhemaisen koostumuksen.

### 6.1 Seosaine

Heti aluksi oli selvää, että suolasaostuman savimainen ja kostea koostumus oli saatettava muotoon, jossa sitä voitiin kuljettaa ja syöttää prosessiin ilman ympäristön likaantumista kuljetuksen aikana. Prosessin kannalta turvallisinta oli käyttää seosaineena raaka-ainetta, jota käytetään jo ennestään prosessin yhtenä raaka-aineena. Seosaineen valinnassa pohdimme myös aineen reaktiivisuutta lannoiteprosessissa. Valintamme kohdistui kipsiin, jota käytetään täyteaineena lannoiteprosessissa. Kipsille ominaista on sen stabiloiva vaikutus lannoitereaktoreissa. Lisäksi kipsin saatavuus on hyvä, koska sitä syntyy fosforihappotehtaan sivutuotteena. Seokseen valittiin kuiva ja seulottu kipsilaatu. Seoksen kipsi tuotiin kipsin läjitysalueelta, jossa se murskattiin ja seulottiin. Kipsin ja suolasaostuman sekoitus tapahtui pyöräkuormaajalla. Sopivan suhteen löytäminen oli vaikeaa johtuen suolasaostuman kosteuden vaihtelusta. Kosteuden ollessa suuri, kipsiä jouduttiin lisäämään 1:1 suhteella. Sen vuoksi oleellista on kuivattaa sakkaa kesällä muutamia kuukausia ennen sen sekoittamista kipsiin. Suolasaostumaa kuivataan kipsivallin keskellä, jolloin se pysyy kasassa ja ei leviä ympäristöön. Kuivauksen jälkeen oikea seossuhde oli noin 1/3 kipsiä ja 2/3 sakkaa riippuen kuivatuksen onnistumisesta. Kierrätettävä kokonaismäärä pysyy kohtuullisena kuivattaessa suolasaostumaa riittävän kauan. Sekoitus tarvitsee suuren alueen ja varastointi katoksen kosteuden välttämiseksi (kuva 6). Tarvittaessa seosta voidaan murskata murskakauhalla jolloin annostelussa paakkujen määrä vähenee merkittävästi. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä.



KUVA 6. Suolasaostuman ja kipsin valmis seos kahden vuoden suoloista valmiina kierrätykseen.

## 6.2 Kierrätyspisteen valinta lannoiteprosessissa

Kierrätyspisteen löytäminen oli haastavaa johtuen tehtaan laitteiden sijoittelusta useaan kerrokseen ja osaksi toisiinsa nähden päällekkäin. Uusien prosessilaitteiden lisäyksessä on aina mietittävä niiden todellista tarvetta, jotta ylimääräisiltä huoltokohteilta vältyttäisiin. Lannoiteprosessissa ei ollut valmiista kierrätyspistettä, josta lannoitereaktoreille olisi voitu syöttää raaka-aineita muutoin kuin raaka-aine sillojen kautta.

Ensimmäisenä vaihtoehtona pohdimme seoksen kierrättämistä rakeistusrumpuun, jossa kierrätys-suppilo oli valmiina lannoiterakeiden kierrätykselle. Tämä vaihtoehto kuitenkin hylättiin mahdollisten tukosten vuoksi rakeistusrummun syöttöputkessa. Lisäksi olisi turvallisempaa lisätä seos lannoiteprosessin alkuvaiheeseen, jossa reaktoreiden korkea lämpötila liuottaisi seoksen osaksi lannoitelientä.

Toisena vaihtoehtona oli löytää kierrätyspiste reaktorille syöttävistä laitteista, johon voisimme lisätä kierrätys-suppilon. Lisäksi kierrätyspisteen tuli olla paikassa, jossa pienkuormaajan käyttö olisi mahdollista. Kierrätyksen aloittaminen ei saanut vaikuttaa lannoiteprosessin kulkuun eikä lisätä työympäristön riskejä. Myös liikkuminen tehtaalla ei saanut vaarantua koneiden liikkeessä tehdashallissa.

Kierrätyspiste löydettiin lannoitetehtaan kolmannesta kerroksesta, jossa sijaitsevat reaktoriin raaka-aineita syöttävät ketjukolakuljettimet. Ketjukolakuljettimen etuna on sen toimivuus kaikilla raaka-aineiden kosteusasteilla. Ketjukolakuljettimen vetopäässä raaka-aineet tippuvat pudotusputkea pitkin suoraan reaktoriin, jossa voimakas sekoitus sekoittaa aineet tehokkaasti osaksi lannoitelientä. Ketjukolakuljettimen LA217 tehtävänä on syöttää raaka-aineita toiseen neutralointireaktoriin. Prosessin kannalta toinen neutralointireaktori on juuri paras paikka syöttää hivenaineita, kalisuolaa ja lannoitepölyjä. Sama reaktori soveltuu myös suolasaostuman ja kipsin seoksen syöttökohteeksi. Ketjukolakuljettimen taittopäässä oli juuri sopiva tila kierrätys-suppilolle ja pienkuormaajan käyttö oli mahdollista suppilon edessä. Paikan yläpuolella sijaitsi palkkinosturi huoltoa helpottamaan sekä vesipiste laitteiston pesemiseen. Seoksen syöttö suppilon kautta ketjukolakuljettimelle ei vaikuttanut muiden raaka-aineiden kuljetukseen samalla kuljettimella samaan aikaan. Laitteessa olevalla taajuusmuuttajalla pysyimme säätämään kierroksia ohjaamosta, jolloin moottorin kierrosluvun noustessa ketjukolakuljettimen sisällä oleva raaka-aine patja pieneni ja näin ollen moottorin virta-arvot pysyivät pieninä. Tukostilanteissa laitetta voidaan pyörittää myös takaperin ja laitteeseen voidaan laske vettä, jolloin laite saadaan uudelleen käyntiin.

## 7 INVESTOINNIT

Yritystoiminnassa yrityksellä on tuloja ja menoja. Investoinnissa rahaa sidotaan hankkeelle ja odotus aika saatavalle tuotolle voi olla pitkäkin. Investointi ei siis ole menoa. Investoinnit ovat monesti suuria ja voivat epäonnistuessaan jopa lopettaa yritystoiminnan (Neilimo & Uusi-Rauva 2017, 206).

### 7.1 Investoinnin strategia

Investoinnit kuuluvat yrityksen strategiaan. On oleellista katsoa investointeja pitkällä tähtäimellä koska suuremmat investoinnit voivat estää muiden investointien toteutumisen, vaikka ne olisivat tärkeitä. Siispä voimme todeta, että investoinnit vaikuttavat yrityksiin todella laajasti. Vaikutukset ulottuvat usein myös koko organisaatioon, vaikka investointi tehtäisiin yksittäisessä yksikössä (Ikäheimo, Malmi ja Walden 2016, 164–165). Investointien suunnittelussa käytetään strategiasuunnitelmaa, jonka tärkeä tukeva osa on investointi suunnitelma. Strategiaprosessi toistuu vuosittain ja yleisesti sitä kutsutaan vuosisuunnitelmaksi (Puolamäki & Ruusunen 2009, 83).

### 7.2 Investointi päätös ja suunnitelma

Investoinnit ovat tärkeä osa yrityksen toimintaa koska niihin liittyy huomattavia rahamääriä. Olisi tärkeää luoda tarkka ohjeistus investointeja varten sekä selkeä kaava esityksille, joilla johto voi tehdä investointi päätöksiä. Ohjeen tulisi sisältää ainakin liiketoimintasuunnitelman, strategisen arvioinnin, projektisuunnitelman, kannattavuuslaskelmat ja riskiarvion. Ohjeistuksen pääpaino tulisi olla tietojen oikean mukaisuudessa ja tuoreudessa. Investointipäätöksen hyväksyntään pyritään vaikuttaa lobbaamalla ylintä johtoa ja pitämällä hyvää ilmapiiriä asia yllä. Ylimmän johdon tulee havainnoida strategiaa tukevia investointeja. Jotta investointiesityksen jättäjä saisi oman inventoinnin hyväksytyksi, investointisuunnitelman (Feasibility Study) tulee olla niin laadukas, että sen pohjalta investointi on helppo hyväksyä. Taloudellisissa kustannusarvioissa pyritään 5–10 % virhemarginaaliin sekä laskelmiin lisätään ennalta arvaamattomia kustannuksia 10–20 %. Yrityksen investointipäätöksissä tulee noudattaa tiukkaa talouskuria ja priorisointia, jotta oikeat ja tuottavimmat investoinnit tulee valituksi. (Puolamäki & Ruusunen 2009. 132, 140, 171).

### 7.3 Investointienluokittelu

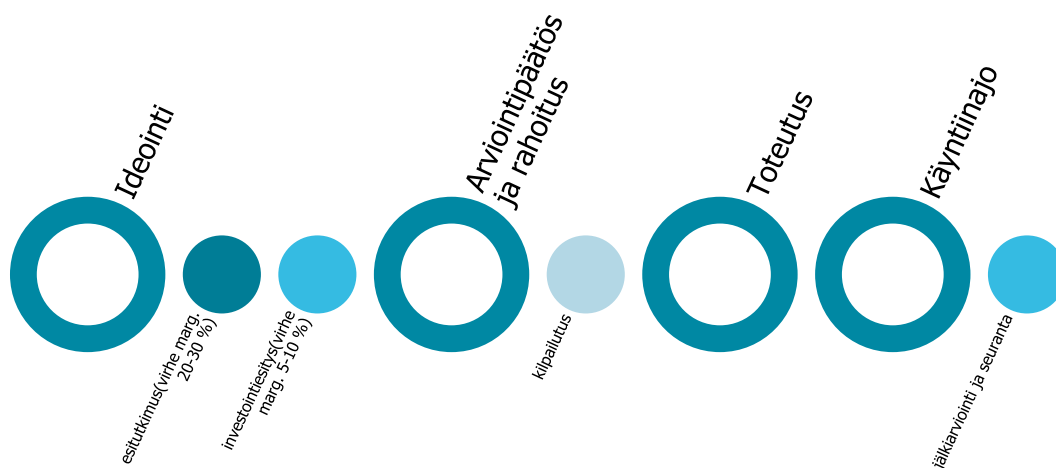
Investoinnit voivat olla hyvin erilaisia (taulukko 3). Toiset investoinnit tuottavat heti suuria kassavirtoja ja toiset ovat ei rahallista hyötyä tuottavia kuten henkilöstön viihtyvyyteen liittyviä. Investointeja voidaan luokitella monella eri tavalla kuten kassavirran, suuruuden, saatavan hyödyn ja toisiinsa kytkeytyvyyden mukaan (Martikainen & Martikainen, 2009, 27).

TAULUKKO 3. Taulukko esittää investointi luokkien eroavaisuudet.

Investointien luokittelu	Selitys
Rahoitusinvestoinnit	Rahan sijoittamista liiketoimintaan joko oman tai vieraan muodossa.
Reaali-investoinnit	Raha sidotaan tuotantotekijöihin menoina ja sitä kautta saadaan tuloja.
Operatiiviset investoinnit	Pyritään ylläpitämään pitämään nykyinen liiketoiminta, parantamallaan laitteita, sijoitetaan kunnossapitoon tai jatkuvan parantamisen edistämiseen. Myös luotettavuuden parantaminen ja aloitetoiminta sekä välttämättömyys investoinnit ovat hyviä esimerkkejä.
Strategiset investoinnit	Muuttavat liiketoiminnan suuntaa ja ovat siksi riskialttiita. Ylimmän johdon vastuu ja harkintakyky ovat merkittäviä strategisissa investoinneissa.
Tutkimus- ja kehitysinvestoinnit	Tähtäävät uusien tuotteiden ja palveluiden sekä toimintatapojen luomiseen. Myös esimerkiksi suolasaostuman kierrätys on esimerkki kehitysinvestoinnista.

#### 7.4 Investointiprosessi

Investointi prosessi on moniportainen prosessi, jossa ideasta edetään suunnitelman ja toteutuksen kautta operatiiviseen toimintaan. Vaikka prosessi kuvattaisiin tarkasti, kuten kuvassa 7 on esitetty, on selvää, ettei prosessi kulku ole aina suoraviivainen. Se voi sisältää esteitä, joita on ylitettävä eri vaiheissa ja vaiheet voivat sotkeutua eri vaiheiden välillä. Lisäksi prosessi voi sisältää yrityskohtaisia yksilöllisiä eroja, jolloin vaihteita voi olla eri määrä.



KUVA 7. Kuvassa on esitetty yksinkertainen malli investoinnista, ideasta käyntiinajo.

## 7.5 Aikataulutus

Aikataulutus antaa projektille selkeää raamin ja yhteenvedon, mitä milloinkin ollaan tekemässä. Aikataulutukseen on syytä kirjata kriittiset vaiheet, joiden kohdalla investointia tarkastellaan. Jotta aikataulu pysyisi ajan tasalla on sitä päivitettävä tarpeen mukaan. Aikataulusta kannattaa tehdä yksityiskohtainen, jolloin pienetkään tärkeät asiat eivät unohdu. Aikataulutus tulee olla kaikilla saatavilla ja selkeässä muodossa. Siitä myös näkee kuka vastaa kyseisetä tehtävästä. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 163).

## 7.6 Investoinnin toteutus

Ennen investoinnin toteutusta on hyvä laatia projektimanuaali, joka sisältää tarvittavan ohjeistuksen avainhenkilöille. Perinteinen tapa toteutuksen aloittamisessa on koota linjaorganisaatio jolle vastuut ja tehtävät jaetaan. Projektipäällikkö luonnollisesti koordinoi kokonaisuutta ja seuraa aikataulua. Projektipäällikön on toimittava määrätietoisesti, jota aikataulussa pysytään. Toteutuksen aikana osa asioista dokumentoidaan, jotta projektin lopussa näihin asioihin voidaan palata tarvittaessa. Toteutus voidaan tehdä erilaisilla urakkamuodoilla riippuen investointiprojektin luonteesta ja yrityksen omista intresseistä sekä opituista käytännöistä.

## 7.7 Raportointi

Investointien raportointi on hyvä pitää tarkkana ja perinteisenä, joka voi tuntua raskaalle mutta se selkeyttää projektin etenemisen seuranta. Onnistuneissa projekteissa raportointi on kunnossa. Raportoinnin voidaan sanoa olevan tehokas työkalu projektipäällikölle ja ohjausryhmälle. Raportit tuovat esille heikkouksia ja niiden pohjalta tehdään korjaavia toimenpiteitä. Investointiprojekteissa on useita raportteja kuten taulukossa 4 on esitetty (Puolamäki & Ruusunen 2009, 179–178).

TAULUKKO 4. Investointi sisältää useita raportteja.

Investoinnin raportit	Selitys
Investointiohjelma	Sisältyy strategiasuunnitelmaan
Investointisuunnitelma	Sisältyy vuosibudjettiin
Feasibility Study eli investointiesitys	Tehdään hyvin, jotta saadaan investoinnille hyväksyntä
Toteutusajan raportointi	Tehdään mahdollisesti viikko- tai kuukausitasolla, seurataan projektin etenemistä
Toteutusraportti	Tehdään heti käyntiinajon jälkeen ja verrataan toteutusta suunnitelmaan.
Investoinnin jälkiraportti	Tehdään kun investointi on ollut käytössä esim. 2–4 vuotta. Raportissa verrataan alkuperäistä investointiesitystä ja toteutuneita lukuja.

### 7.8 Investoinnin takaisin maksuaika

Investoinnille lasketaan takaisinmaksuaika, jolla saadaan selville rahoitusvaikutukset siihen asti, kunnes investointi on maksanut itsensä takaisin mutta emme tiedä sen jälkeisen ajan vaikutuksia ja kannattavuutta. Voimme estimoida tulevaisuuden kannattavuutta mutta emme voi olla siitä varmoja pelkän takaisinmaksuajan perusteella (Neilimo & Uusi-Rauva 2017, 223). Alussa investointien pääoma sitoutuu kiinteään omaisuuteen tai tuotekehitykseen. Pitkällä aikavälillä pääoma vapautuu, kun investointi alkaa tuottaa kassavirtoja. Investointipäätöstä tehdessä on muistettava, että investoinnin peruminen tai sen muuttaminen takaisin rahaksi on vaikeaa (Ikäheimo ym. 2016, 165).



## 8 KIERRÄTYKSEN TALOUDELLINEN TARKASTELU

### 8.1 Kierrätyspila investoinnin taloudellinen tarkastelu

Investointipäätöstä tehdessä syöttösuppilolle tehtiin taloudellinen tarkastelu. Ensimmäisessä vaiheessa teimme esisuunnittelun ja kilpailutimme valmistuksen ja asennuksen. Laitteen teknisen suunnittelun päätimme tehdä itse ja näin säästää kokonaiskustannuksissa. Syöttösuppilolle laskettiin takaisinmaksuaika. Kilpailutuksen ja riskiarvioinnin jälkeen tehtiin investointipäätös.

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan sitä aikaa missä alkupääoma on yhtä suuri kuin sen tuottama kassavirta. Mitä nopeammin kassavirta kasvaa yhtä suureksi alkupääoman kanssa, sitä parempi on investointi päätös (Ikäheimo ym. 2016, 173). Tässä investoinnissa takaisin maksuaika laskettiin korotomana (kaava 1).

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Vuotuinen nettotuotto}} \quad (1)$$

Syöttösuppilon valmistuksen ja asennuksen takaisinmaksuajaksi saamme 21 päivää. Laskelmassa investoinnin hankintamenoiksi laskettiin valmistus- ja asennuskustannukset. Vuotuisen nettotuottoon laskettiin vuotuinen säästö uudella kierrätystavalla verrattuna toiseksi edullisempaan vaihtoehtoon, joka oli magnesiumsulfaatti seos. Lisäksi lisäsimme ravinteiden sisältämän arvon, jonka voimme saada kierrättämällä suolasaostumat takaisin lannoiteprosessiin. Todettiin investoinnin olevan kannattava nopean takaisinmaksuajan perusteella (kaava 2).

$$24 \text{ päivää} = \frac{4200 \text{ €/a}}{65367 \text{ €/a}} \quad (2)$$

### 8.2 Kierrätysmenetelmien taloudellinen vertailu

Investointipäätöksen tekemisen tueksi vertailtiin eri kierrätystapojen kustannuksia. Kustannuslaskelmat taulukossa 5 osoittivat uuden kierrätystavan olevan kustannustehokas ja vuotuiset säästöt tulevat olemaan merkittäviä. Vuotuisiksi säästöiksi saatiin noin 72000 €. Kierrätysmenetelmien vertailu on järkevää ja se antaa selkeän kuvan kustannusrakenteesta eri menetelmien välillä. Pelkkä vertailu ei riitä määrittämään, kannattaako suolasaostumat kierrättää omassa yrityksessä vai lähettää ne alihankkijan käsiteltäväksi. Työn tekemiseen tarvitaan henkilökuntaa ja tässä tapauksessa lannoitetehtaalla resurssit olivat valmiina kierrätykselle. Jos resursseja ei olisi valmiina, olisi laskettava mahdollisten rekrytointien tai vuokratyön tuoma lisähinta. Lisäksi on hyvä miettiä, onko kierrätykseen menevä aika tuottavinta työtä vai voisiko resursseja käyttää vielä tuottavampaan työhön. Tässä ratkaisevaa on kierrätykseen menevä aika suhteessa rahalliseen hyötyyn. Opinnäytetyössä esiteltävässä ratkaisussa työ on todettu tuottavaksi työksi.

TAULUKKO 5. Kierrätysmenetelmien taloudellinen vertailu ilman investointia, josta voimme todeta uuden kierrätystavan olevan kannattavaa verrattuna toiseksi edullisempaan tapaan, joka oli MgSO<sub>4</sub> sekoitus 15 %.

<b>Kierrätysmenetelmä</b>	<b>€/t</b>	<b>€/a</b>
<b>Ekokemille hävitys polttamalla</b>		
Ekokemin hinta (sis. kuljetuksen)	480	192000
<b>Yhteensä</b>		<b>192000</b>
<b>MgSO<sub>4</sub> sekoitus 15 %</b>		
MgSO <sub>4</sub> hinta	475	28500
Käsittelykulu (sekoitus ja murskaus)	2,8	1133
Tukosten avaus siiloilla	4,7	1880
<b>Yhteensä</b>		<b>31513</b>
<b>Stabilointi ja sijoitus L&amp;T vaarallisen jätteen kaatopaikalle</b>		
L&T hinta (stabilointi, loppusijoitus)	75	30000
Kuljetus	30	12000
<b>Yhteensä</b>		<b>42000</b>
<b>Kierrätyspila</b>		
Työn hinta	12,5	5013
Käsittelykulu (sekoitus ja murskaus)	2,8	1133
<b>Yhteensä</b>		<b>6146</b>
<b>Ravinteiden takaisin kierrätys</b>		<b>40000</b>
<b>Säästöt verrattuna MgSO<sub>4</sub> sekoitus 15 %</b>		<b>65367</b>

## 9 KIERRÄTYKSEN TEKNISET RATKAISUT

Suolasaostuman kierrättämisen aloittaminen käytännössä vaati teknisiä ratkaisuja. Kierrätyspisteen valinnassa päädyttiin ketjukolakuljettimeen, jonka taittopäähän lisäitiin kierrätyspippilo. Mekaanisen kestävyuden tarkastelussa totesimme ketjukolakuljettimen rungon kestävän 350 kg lisäkuorman, jonka pippilo toisi sekä pienkuormaajan kauhan iskut.

### 9.1 Suppilon esisuunnittelu

Esisuunnittelu aloitettiin katselmuksella, jossa päätettiin suppilon muoto tilan koon mukaan. Lisäksi suunniteltiin suppilon kitakoko kuljettimelle ja asennuspaikka. Materiaalivalintoja pohdittaessa kiinnitettiin huomiota ympäröiviin olosuhteisiin ja tilassa olevien muiden prosessilaitteiden materiaaleihin. Esisuunnittelussa otettiin huomioon myös suppilon ja ketjukolakuljettimen huoltomahdollisuus. Lisäksi huomioitiin kierrätettävän seoksen erityisen koostumuksen tuomat haasteet, kuten laitteiston puhdistus ja mahdollisten tukosten avaus. Käytettävyyden näkökulmaksi valittiin suppilon koneellinen täyttö, joka asetti vaatimuksia suppilon materiaalien paksuudelle sekä suppilon yläosan korkeudelle ja leveydelle pienkuormaajan kauha koon mukaan. Katselmuksessa huomioitiin myös työturvallisuus näkökohtia liittyen ympäröiviin laitteisiin ja pienkuormaajan käyttöön. Esisuunnittelu vaiheen jälkeen pippilo mallinnettiin SolidWorks ohjelmalla.

#### 9.1.1 Muutoksenhallinta

Lannoitetehtaan muutoksenhallinnassa otetaan kantaa muutoksen aiheuttamiin taloudellisiin kustannuksiin, muutoksen tuomiin riskeihin, muutoksen perehdytykseen ja muutoksen koordinointiin. Muutoksenhallinnan kriteeristöllä käynnistetään muutoksenhallintaprosessi (taulukko 6). Muutoksen hallinta tehdään aina ryhmätyönä, jolloin muutoksen tuomat riskit saadaan esille. Työtä ei voida aloittaa ennen muutoksen hallinnan hyväksymistä. Muutoksenhallinnassa muutoksen riskeistä tehdään tarvittaessa erillinen riskitarkastelu. Muutokset esitellään tuotantopäällikölle, joka hyväksyy muutoksen.

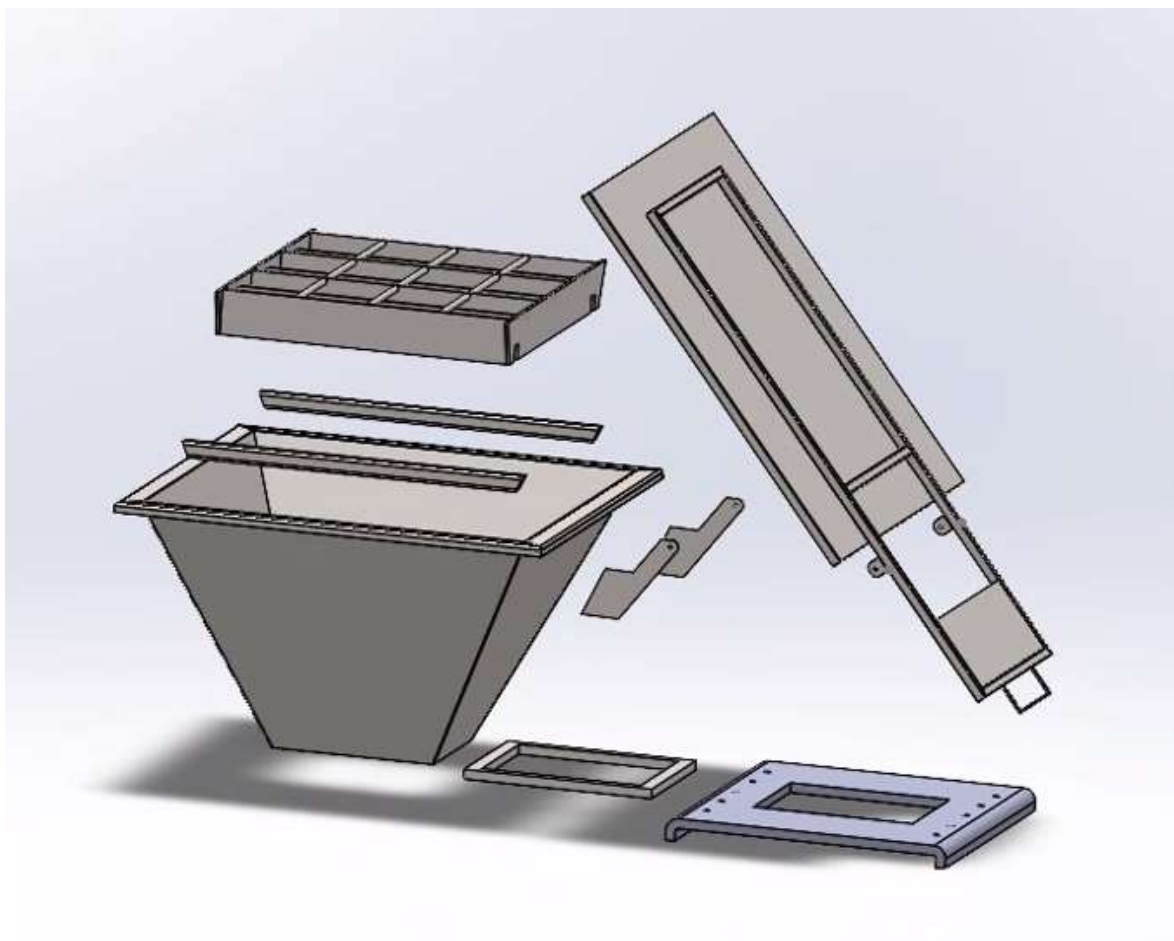
Kierrättämisestä ja kierrätyspippilosta tehtiin muutoksenhallintadokumentit. Muutoksen riskien hallinnassa otettiin kantaa prosessiolosuhteiden muutoksiin, sekä kierrätyspippilon lisäykseen osaksi ketjukolakuljettinta. Ketjukolakuljettimen kapasiteetiksi todettiin 40 t/h ja runkorakenteen materiaalien paksuuden ollessa riittävät, totesimme kuljettimen kestävän lisäkuormituksen, jota suppilon paino ja pienkuormaajan kauhan iskut tuovat. Muutos hyväksyttiin muutoksenhallinnassa ja pippilolle saatiin lupa aloittaa suunnittelu ja valmistus. Muutoksen hyväksymisen jälkeen vikailmoituksesta jalostettiin työ SAP-järjestelmään, jonka kautta työ- ja materiaalitilaukset etenivät.

TAULUKKO 6. Muutoksenhallinnan kriteerit (Yara 2018)

Muutoksenhallinnan kriteerit	Kyllä/Ei
Muuttuuko PI-kaavio, tekniset piirustukset?	
Muuttuuko laitetyyppi?	
Muuttuuko putkistot/putkistomateriaali/virtausmäärä tai paine?	
Muuttuuko murtolevy, varoventtiili tai asennuspaine?	
Muuttuuko säätöjärjestelmä?	
Muuttuuko Atex-alueiden tilaluokitus/sähkölaite?	
Muuttuuko tiestö/ kulkureitti?	
Muuttuuko ympäristötekijät/vesien käsittely/laatu?	
Muuttuuko kemikaali?	
Muuttuuko tuotantomäärä?	
Testataanko uutta teknologiaa?	
Jos yhteenkään kysymykseen tulee vastaukseksi kyllä, työ vaatii muutoksenhallintaprosessin läpikäynnin.	

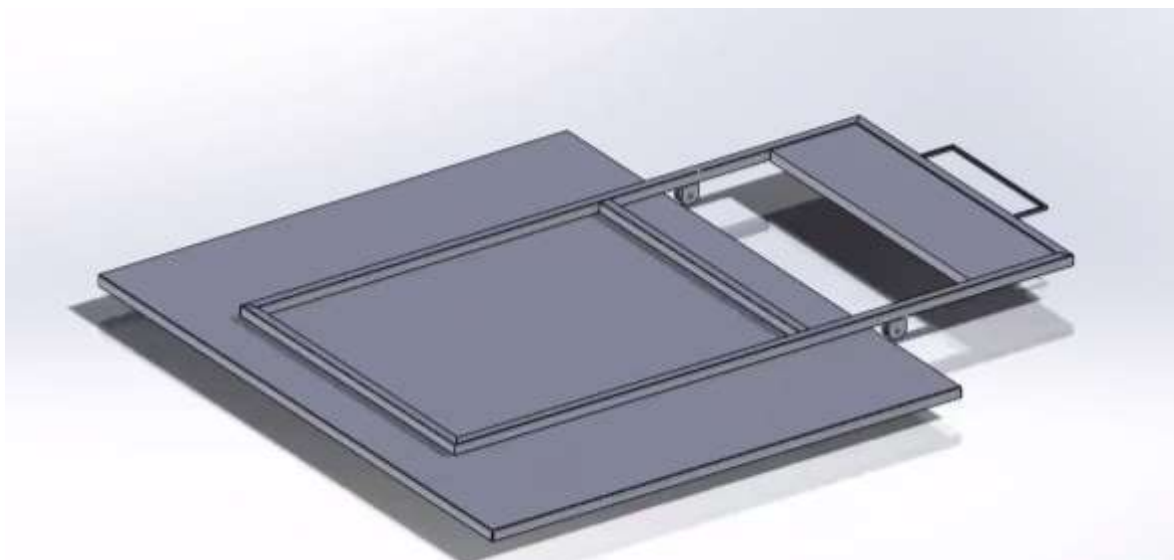
## 9.2 Kierrätyspilon pääsuunnittelu

Kierrätyspilon rungon rakenteessa otettiin huomioon valmistettavuus. Suppilon muoto voitiin kantata kahdesta osasta ja hitsata yhteen (kuva 8). Materiaaliksi valittiin 3 mm S355 rakenneteräs, joka jauhe maalattiin. Suppilon alaosaan suunniteltiin istuskaulus, jolla ketjukolakuljettimen kanteen voitaisiin liittyä hitsaamalla. Ketjukolakuljettimen kansi oli 5 mm S355 rakenneterästä ja kannet olivat 1000 mm pitkiä irrotettavia osia, joten kansien kestävyys oli hyvällä tasolla. Istutus kohtaan kanteen tehtiin 500 mm x 500 mm kokoinen reikä. Suppilon ylälaita kehystettiin 50 mm x 50 mm kulmarauhoilla, jolloin rakenteeseen saatiin jäykkyyttä ja kestävyyttä suojaamaan pienkuormaajan tuoma rasitusta vastaan. Tässä rakenteessa etuna saatiin tiivistepinta, joka tarvittiin kannen ja suppilon väliin. Työturvallisuus huomioitiin SFS-EN ISO 13854:2019 koneturvallisuus standardissa, joka koskee vähimmäisetäisyyksiä kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi. Suppilo tehtiin niin korkeaksi, että ruumiinosat eivät ylety kuljettimelle missään tilanteessa.



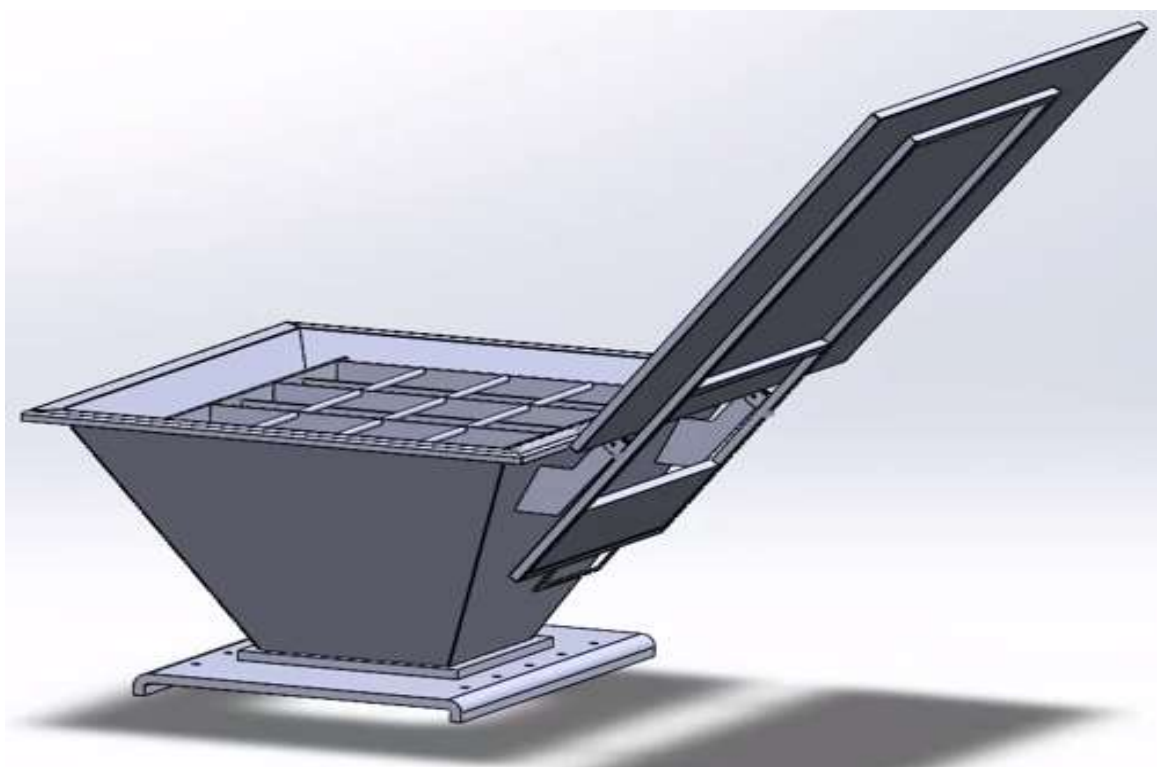
KUVA 8. Räjätyskuva suppilosta

Suppilon kantta suunniteltaessa otettiin huomioon käytettävyys. Kannen koon ollessa 1500 mm x 1200 mm kannen paino aiheutti käsiin kohdistuvan turvallisuusriskin. Materiaaliksi valittiin 1,5 mm paksu S355 rakenneteräs, joka jauhemaalattiin (kuva 9). Kuitenkin kannen suuren koon vuoksi, kanteen tuli tehdä jäykistys neliöputkesta, jotta kansi pysyisi suorana ja tiivistys olisi toimiva. Työturvallisuuden parantamiseksi kanteen suunniteltiin kevennys mekanismi, jonka tehtävänä oli keventää kannen liikettä ja näin suojelee käsivammoilta. Ideassa kanteen lisättiin vastapaino ja kahva, josta kannen liikuttelu sujuisi helposti ja turvallisesti. Vastapainon painoksi saatiin 40 kg ja kannen painoksi 45,4 kg, kannen aukaisuun tarvita voima oli noin 50 N. Kannen avauksessa sen ylittäessä Y-akselin, vastapaino estää kannen sulkeutumisen painon nojatessa suppilon seinään (kuva 10). Saranoinnissa oleellista oli olosuhteiden tuomat lisävaatimukset, jolloin saranoinnin tuli olla yksinkertainen pulttisarana.



KUVA 9. Kannen rakenne

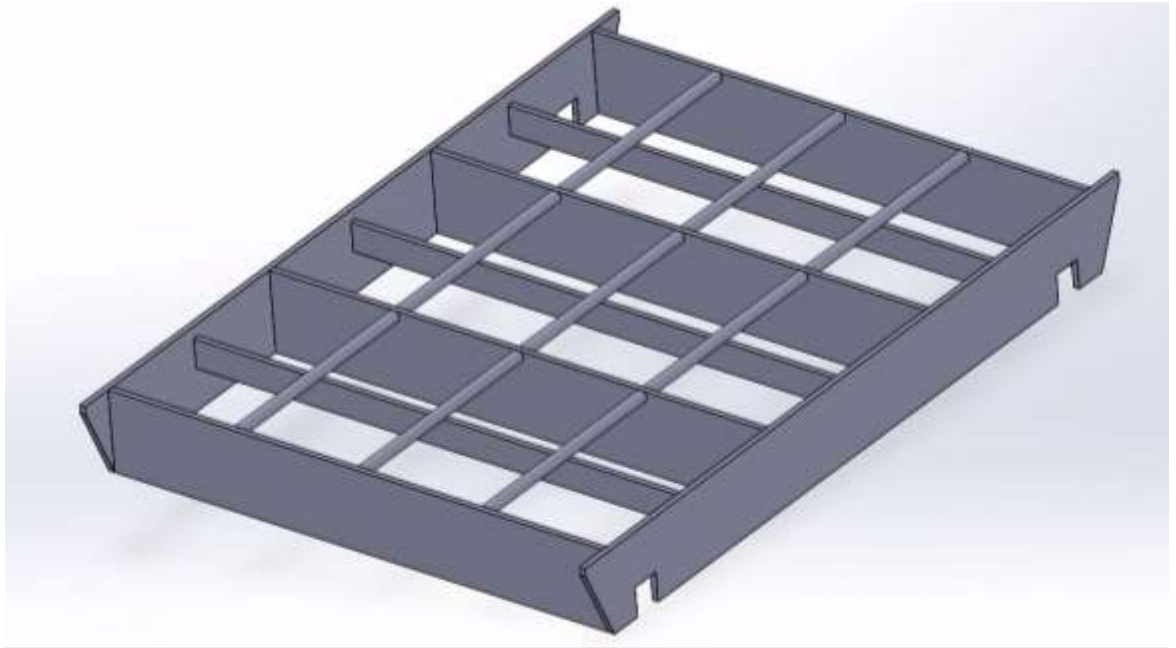
Suppilon kansi pysyy auki ja vastapainon nojatessa suppilon saranaan. Painavampana kansilevyn vetää kantta alaspäin ja painoa ylöspäin. Kantta käytetään kannessa olevasta kahvasta. Kannen liikkutteluun käytetään kahvaa, joka sijaitseen vastapainon vieressä ja estää näin sormien joutumisen kannen väliin



KUVA 10. Suppilon kansi pysyy auki kannen painaessa vastapainoa saranaa vasten.

Suppilon koneellinen täyttö ja syötettävän aineen mahdollinen paakkuuntuvuus vaativat suunnittelulta huomiota. Suunnittelun alkuvaiheessa oli selvää, että suppilo tarvitsee kestävän seularakenteen suppilon sisälle, jotta pienkuormaajan kauha voi pienentää seula vasten suurimmat paakut (kuva 11). Seulan silmäkooksi valittiin 200 x 200 mm koko, jotta kuljetin jakkaa kuljettaa paakut ja ettei

paakut tukkisi purkupäätä kokonsa puolesta. Rakenteessa käytettiin erikokoisia lattarautoja ja pyöröterästä. Näin saatiin kestävä, irrotettava rakenne, joka kestää kovaa kulutusta. Lisäksi huollon yhteydessä sen irrotus on helppoa.



KUVA 11. Seulan hitsattu rakenne kestää pienkuormaaja kolhaisut.

### 9.3 Suppilon valmistus ja asennus

Suppilon asennus kilpailutettiin ja kilpailutuksen voitti Pajava Oy. Tarjous sisälsi raaka-aineet ja valmistuksen. Suppilon osat koottiin ja maalattiin Pajava Oy:n työtiloissa Kuopiossa. Valmis suppilo tuotiin tehtaalle asennusta varten. Tuotteen esivalmistusaste oli korkea. Ainoana irto-osana tehtaalle tuotiin kansi. Valmistuksessa noudatettiin hyvää konepajakäytäntöä.



KUVA 12. Kierrätyspuppilo ketjukulakuljettimen päällä asennettuna.



Asennus suoritettiin yhteistyökumppanin toimesta. Tilaajan vastuulla oli laatia asennukselle työlupa, jossa määriteltiin tarvittavat turvallisuus vaatimukset. Asennuksessa käytettiin apuna sähkönostinta, joka sattu olemaan suppilon asennuspaikan yläpuolella. Ketjukolakuuljettimen kansi irrotettiin ja siihen polttoleikattiin oikean kokoinen reikä. Ketjukolakuuljettimen kansi hitsattiin kiinni suppilon alaosassa olevaan asennuskaulukseen. Hitsauksen jälkeen hitsauskohta paikkamaalattiin ja suppilo asennettiin paikoilleen ketjukolakuuljettimen päälle. Kansi ja seula asennettiin paikoilleen. Ketjukolakuuljettimelle asennettiin vesiliitos kuuljettimen taittopäähän. Asennukselle tehtiin jälkitarkastus, jossa asennus todettiin noudattavan sovittua asennustapaa.



KUVA 13. Kierrätyspuppilo asennettuna ja koeajossa.



## 10 LOGISTIIKKA

Teknisten ratkaisujen lisäksi oleellista oli muodostaa logistiikkaketju, jolla suolasaostuma saataisiin lannoitetehtaalle kierrätykseen (taulukko 7). Logistiikan sujuvuudella on suuri merkitys. Logistiikkaketju kuvattiin tarkasti, jotta osastojen välinen yhteistyö olisi mahdollisimman toimivaa. Jokaisen on tiedettävä oma tehtävänsä, jotta työ sujuisi jouhevasti.

Taulukko 7. Logistiikkaketju suolasaostuman saattamiseksi lannoiteprosessiin.



### 10.1 Logistiikka tehtaalle

Ensimmäisessä vaiheessa suolasaostumat kaivetaan kaivinkoneella kiertovesialtaiden prosessivesien esiselkeyttimistä ja siirretään kiertovesialtaan päässä sijaitsevalle kuivatusalueelle. Kuivatusalustan pohja on laskeva altaan suuntaan, jolloin vapaa vesi pääsee valumaan takaisin altaaseen. Suolasaostuma jää kuitenkin savimaiseen muotoon esikuivatuksen jälkeen. Päätös siitä milloin esiselkeyttimet tyhjenetään suolasaostumasta, kuuluu tuotantoinsinöörille. Hän koordinoi sakan käsittelyä selkeyttämillä aina tehtaalle asti.



KUVA 14. Suolasaostumien kuivatusalue kiertovesialtaiden päässä.

Kevään koettaessa aines kaivetaan kuivausalustalta kuorma-auton lavalle ja läjitetään kipsivallin sisään raaka-ainevarastolle. Saostuman kuivettua sopivan kuivaksi kesän aikana, tuotantoinsinööri koordinoi ja valvoo seoksen valmistuksen. Seos sekoitetaan kipsiin ja varastoidaan varastorakennuksen sisälle sääsuojaan.

Kierrätyksen aikataulutuksesta vastaa tuotantoinsinööri. Työnkulkua ohjaa päiväoperaattori, joka kierrättää seoksen pienkuormaajalla lannoiteprosessiin. Kierrätys aloitetaan soittamalla logistiikkaoperaattorille. Logistiikkaoperaattori kuljettaa seosta pyöräkuormaajan kauhalla lannoitetehtaan alakerran lattialle, sille osoittamaan paikkaan. Seosta tuodaan kerrallaan neljä kauhallista, joka painaa yhteensä noin 16 t.

Vaihtoehtoisia menetelmiä mietittiin seoksen kuljetukselle kuten siirtolavaa, joka tuotaisiin tehtaan eteen täynnä seosta. Lopulta kuitenkin päädyttiin yksinkertaiseen ratkaisuun minimoimalla työvaiheet.

## 10.2 Logistiikka tehtaan sisällä

Kun kipsin ja suolasaostuman seos on läjitetty lannoitetehtaan alakertaan, alkaa seoksen kierrätys pienkuormaajalla lannoiteprosessiin. Suurimmaksi haasteeksi koettiin löytää keino, jolla seos kuljetettaisiin lannoitetehtaan alakerrasta kolmanteen kerrokseen. Projektin esisuunnittelussa vaihtoehtoisia tapoja oli useista, kuten kuilunosturin käyttö, jolla pienempi lava seosta nostettaisiin kolmanteen kerrokseen ja josta pienkuormaaja tyhjentäisi lavaa ja syöttäisi seosta suppiloon. Toisena mielettävänä oli seoksen täyttö rakennuskuoppiin, joita voitaisiin kuljettaa hissillä ja kipata seosta kolmannen kerroksen lattialle. Kolmantena vaihtoehtona oli rakentaa elevaattori, jolla seosta nostettaisiin suppilolle tai suoraan reaktoriin. Edellä mainitut tavat sisälsivät monia työvaiheita, jotka olisivat työllistäneet liikaa päiväoperaattoria. Elevaattori olisi ollut kallis investointi, jota ei haluttu toteuttaa sen huoltotarpeen ja jaksottaisen käytön vuoksi. Lisäksi lannoitetehtaalta ei löytynyt laitteelle sopivaa sijoituspaikkaa.

Yksinkertaistamalla prosessia ja karsimalla kaikki turhat työvaiheet, päädyttiin ratkaisuun, jossa operaattorin tekemä työ tehdään puhtaasti konevoimalla. Työnkulku pyrittiin rakentamaan vähiten operaattoria kuormittavaksi ja prosessin tehokkuutta maksimoivaksi. Työ tehdään pienkuormaajalla, jolloin päiväoperaattori kauhoo kasasta kauhallisen seosta ja ajaa koneen hissiin. Hissistä päästyään kolmannessa kerroksessa, hän tyhjentää kauhan kierrätyspuppiloon ja ajaa koneen takaisin hissiin.

Suunnitteluvaiheessa työ tuntui vaikealta toteuttaa hissiä käyttäen. Jouduimme miettimään myös hissien kantavuutta, sekä koneen kokoa suhteessa hissikorin kokoon. Hissin kantavuus oli 3500 kg, joka riitti hyvin koneen ja seoksen yhteispainon ollessa 2400 kg. Hissikorin koko riitti koneen pituuden ja leveyden suhteen sekä mahdollisesti turvallisen poistumisen koneesta hississä. Se myös mahdollisti matkustajin mukana olon kuljetuksen aikana.

## 11 KOEAJOT

Kun suppilo asennettiin paikoilleen ja ensimmäinen seos sekoitettiin raaka-aine varastolle, aloitettiin koeajovaihe. Koeajossa seosta kierrätettiin 10 t. Ensimmäisien kauhojen aikana säädettiin ketjukolakuuljettimen kierroksia sopivalle tasolle, jotta seos ei tukkisi syöttö suppiloa. Ketjukolakuuljettimessa oli taajuusmuuttajasäätö, jota voitiin säätää tarvittaessa lannoitetehtaan ohjaamosta. Koeajon aikana tarkkailtiin reaktoriolosuhteita ja rakeistuksen muutoksia. Kierrätys ei saanut vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen tai vaikeuttaa operaattoreiden työtä. Koeajon aikana prosessiolosuhteet pysyivät vakaina ja suppilo sekä ketjukolakuuljetin toimivat moitteetta.

Hissin ovien aukiolo aiheutti turhaa koneesta poistumista, joka kuormitti operaattoria, joten ovien säätö lisättiin kehityslistalle. Lannoitetehtaan alakerrassa huomattiin kasan leviävän liikaa koneen kauhan työnnellessä kassa. Lisäsimme kasan taakse esteen, jota vasten kauha saatiin täytettyä. Seoksen kierrätyksen jälkeen lattiat pestiin ja hissi lakaistiin seosjäämistä puhtaiksi.

### 11.1 Kierrätyksen tehokkuus

Työn jaksoaikaa mitattiin ja todettiin prosessin olevan tehokas. Pienkuormaajan seoskuuhallisen kierrättäminen lannoitetehtaan alakerrasta suppiloon kestoksi saatiin noin 2–3 minuuttia riippuen seoksen kosteudesta ja paakkuuntuvuudesta. Kostea ja paakkuista seosta tuli annostella suppiloon varoen, jolloin jaksonaika piteni. Kauhallinen seosta punnittiin painavan noin 300 kg. Eli kierrätysmääräksi saatiin noin 6 t/h. Tauot pois lukien kierrätysmääräksi päivässä saatiin noin 40 t. Seosta valmistetaan vuodessa noin 600 t ja sen kierrättäminen kestää 120 miestyötuntia eli 15 työpäivää. Joissain tilanteissa kierrätysnopeus oli liikaa lannoiteprosessin olosuhteiden kannalta ja kierrätystah-  
tia tuli säätää sen hetkisen prosessiolosuhteiden mukaan yhteistyössä lannoitetehtaan operaattoreiden kanssa.

Päiväoperaattoreiden positiivisen palautteen perusteella edettiin seuraavaan koeajo vaiheeseen, jossa seosta kierrätettiin työpäivän ajan noin 35 t. Päiväoperaattoreiden kokemuksen perusteella työn todettiin olevan helppoa ja yksinkertaista. Työn yksinkertaisuus aiheuttaa havainnoinnin heik-  
nemistä, joten sovittiin operaattorin työskentelyn yhtäjaksoiseksi työskentelyajaksi 4 h/pv. Kahdella päiväoperaattorilla kierrätys onnistuu tehokkaasti ja turvallisesti työpäivän ajan.

Koeajojen perusteella kierrätyksessä edettiin tuotantovaiheeseen, jossa päiväoperaattoreille suunniteltiin kierrätystä viikkotyösuunnitelmaan. Työtä tehdään syksyisin kolmen viikon ajan.

### 11.2 Kehitysideoitu ja työturvallisuus kierrättämiseen

Koeajossa kuunneltiin päiväoperaattoreiden kokemuksia ja toiveita. Hissin toimivuuteen tehtiin pieniä säätöjä, jolloin hissien ovi saatiin pysymään auki kauhan tyhjennyksen ja täytön ajan, jolloin kuljettajan ei tarvinnut laskeutua koneesta tilaamaan hissiä. Lannoitetehtaan hissi on Kone-yhtiön valmistama ja ovet ovat nykyaikaiset. Ovien vikaantumisen mahdollisuus tunnistettiin riskinä koeajossa. Ovien alakiskostot, joissa ovet liikkuvat, ovat herkkiä lialle, ja sitä kautta hissi voi jumitua kerrokseen. Jokaisen kierrätyspäivän päätteeksi päätimme puhdistaa hissien ovien kiskostot ja hissikorin, jotta turhilta käyttökatoilta vältyttäisiin. Hissien ovipeltien havaitsimme olevan ohuet ja eivätkä kes-  
täisi kolhuja.

Kierrättämisessä käytetään pienkuormaajaa, joka asettaa vaatimuksia työturvallisuudelle. Hissikoriin koneelle tehtiin tarkka kohta, johon kone ajetaan hissikorissa. Tällä varmistettiin kuljettajan turvallinen poistuminen koneesta hissiniemessä. Hissiin suunniteltiin peruutuspeilien asennusta mutta totesimme koneessa olevan kaksi peruutuspeiliä, jotka puhtaana pitämällä, peruutus hissikorista on turvallista. Koneen tehokas käyttö lannoitetehtaan kerroksissa vaatii tilaan ja jotta tilaa voitaisiin käyttää vapaasti ilman kävelijöiden aiheuttamaa vaaraa, on tilat rajattava rajausnauhoilla. Rajausnauhakelat asennettiin lannoitetehtaan kerroksiin, joita käyttämällä kierrätys voitiin tehdä turvallisesti. Rajausnauhaan kiinnitetään kyltti, jossa kerrotaan rajauksen tarkoitus ja rajauksen tekijän puhelinnumero.

Työergonomian kehitystarpeet huomattiin koeajossa. Totesimme koneesta nousemisen aiheuttavan kuormitusta kuljettajalle hissiniemessä. Jos kierrätysnopeus laskee, hissiniemi ehtii mennä kiinni ennen kauhan tyhjennystä, jolloin hissi on tilattava uudelleen. Kehitysideana päätettiin hankkia kaukosäädin hissiniemiseen, jolla työergonomia saataisiin paremmalle tasolle.

## 12 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön aiheen valinnassa mietittiin sen hyödyllisyyttä yritykselle ja kuinka se tukisi omaa kehitystäni nykyisessä työtehtävässäni. Tavoitteena opinnäytetyössä oli kehittää kierrätysmenetelmä, jolla prosessivesien suolasaostumat voitaisiin kierrättää takaisin lannoiteprosessiin. Työssä hyödynnettiin Savonia-ammattikorkeakoulussa koneeninsinöörin tutkinnossa opittuja taitoja mahdollisimman laajasti. Tässä mielestäni onnistuttiin hyvin.

Työn päätavoite oli kehittää toimiva kierrätysjärjestelmä, joka sisältää kierrätyspaikan valinnan lannoiteprosessissa, kierrätyspisteen modifioinnin, logistiikkaketjun luomisen kierrätettävälle materiaalille sekä seosaineen valinnan suolasaostuman koostumuksen parantamiseksi kuljetusta ja kierrättämistä varten. Voimme todeta näiden tavoitteiden toteutuneen.

Lannoitetehtaalla on toimiva kierrätyspiste tehtaan kolmannessa kerroksessa, jossa seos voidaan syöttää lannoitereaktoreille. Lisäksi suolasaostuman seosaineeksi valittu kipsi on osoittautunut oikeaksi valinnaksi sen stabilointikyvyn ansiosta, seosta on helppo käsitellä kuljetuksessa ja annostelun aikana. Lisäksi lannoiterektoareiden olosuhteet pysyvät vakaina eikä kierrätyksestä aiheudu lisäharmejä prosessiohjaukseen. Logistiikkaketju toimii sovitulla tavalla ja logistiikan koordinoituvastuut ovat selkeät kaikille. Kierrätys on sujuvaa, yksinkertaista ja tehokasta.

Kierrätyksen taloudellisten kustannuksien arviointi oli yksi opinnäytetyön tavoitteista. Aikaisemmin kierrätyskustannukset olivat merkittäviä. Uudella kierrätystavalla ravinteista saatava rahallinen arvo ja kierrätyksen tehokkuus tuovat merkittäviä säästöjä yritykselle.

Kiertotalouden näkökanta otettiin huomioon osana työtä. Voimme huomata uuden kierrätystavan olevan luontoa säästävää ja ravinnekierron olevan tehokasta. Kaikki syntyvät suolasaostumat kierrätetään takaisin lannoiteprosessiin.

Konetekniikan näkökulmasta opinnäytetyö sisältää prosessilaitesuunnittelua. Työssä suunniteltiin kierrätyspuppilo, joka sijoitettiin ketjukolakuuljettimen taittopäähän. Puppilon suunnittelussa huomioitiin käytettävyys, valmistettavuus ja koneturvallisuus. Näissä osa-alueissa onnistuttiin löytämään oikeat asiat ja vietiin käytäntöön. Koeajojen perusteella suppilo on toimiva ja turvallinen käyttäjä.

Pohdittaessa omaa suoriutumistani opinnäytetyön aikana, voidaan nähdä ammatillista kasvua. Kierrätysprosessin keksiminen ja kokonaisuuden luominen kehittivät omaan ammatillista kompetenssia. Työskentelin projektin aikana yhteistyössä monien eri sidosryhmien kanssa ja toimin projektissa projektipäällikkönä. Investointikustannusten hallitseminen oli tärkeä osa projektia ja siinä onnistuttiin hyvin. Kierrätyspuppilon investointikustannukset olivat minimaaliset suhteessa kierrätyksestä saataviin hyötyihin.

Tulevaisuuden jatkotutkimushanke voisi olla kierrätyksen kehittäminen vielä tehokkaammaksi lannoitetehtaalla sisällä, esimerkiksi elevaattoria apuna käyttäen, jolloin hissien käyttö loppuisi. Toinen suurempi jatkotutkimushanke voisi olla suolasaostumien kierrätyksen toteuttaminen sopivan yhteistyökumppanin tai sisäisen asiakkaan kanssa heidän tuotantoonsa. Tässä suosittelisin edelleen kiertotaloudellisen näkökannan huomioon ottamista

## 13 LÄHTEET

- Hukkamäki, Jarkko (2016). Process description Fertilizer production. Verkkojulkaisu. [https://yara.sharepoint.com/teams/SVILAT/\\_layouts/15/search.aspx/siteall?q=npk\\_prosessikuvaus\\*](https://yara.sharepoint.com/teams/SVILAT/_layouts/15/search.aspx/siteall?q=npk_prosessikuvaus*). Viitattu 11.9.2021.
- Ikäheimo, Seppo, Malmi, Teemu. & Walden, Risto. 2016. Yrityksen laskentatoimi. Helsinki: Talentum Pro Oy.
- Martikainen, Teppo & Martikainen, Minna 2009. Rahoitusperusteet. Helsinki: Martikainen Capital Oy & WSOYpro Oy.
- Neilimo, Kari & Uusi-Rauva, Erkki 2017. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Puolamäki, Esa & Ruusunen, Pentti 2009. Strateginen johtaminen. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- Sitra 2018. Kiertotalous. Verkkojulkaisu. Sitra.fi. Päivitetty 20.6.2019. <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat>. Viitattu 17.9.2021
- Yara 2018. Muutoksenhallinnan kriteerit. Intranet-verkkojulkaisu. Yaran sisäinen dokumentti. Päivitetty 2018. Viitattu 24.8.2021
- Yara 2021. Yara lyhyesti. Verkkojulkaisu. Yara.fi. Päivitetty 2021. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-lyhyesti>. Viitattu 24.8.2021
- Yara 2021. Yara Siilinjärvi. Verkkojulkaisu. Yara.fi. Päivitetty 2021. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/siilinjarvi/tuotantolaitos>. Viitattu 24.8.2021
- Yara 2021. Yara Suomi. Verkkojulkaisu. Yara.fi. Päivitetty 2021. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/historia>. Viitattu 24.8.2021