

Opinnäytetyö (AMK)  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio  
2017

Vesa Niittonen

# BULK-TUOTTEIDEN LASTAUSJÄRJESTELMÄN UUDISTAMINEN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Koneautomaatio

2017 | 32

Sakari Koivunen

Vesa Niittonen

# BULK-TUOTTEIDEN LASTAUSJÄRJESTELMÄN UUDISTAMINEN

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on löytää ratkaisu kohdeyrityksen bulk-tuotteiden lastausta koskevaan ongelmaan. Vanhan lastausmallin tilalle kartoitettiin uusia vaihtoehtoja tutustumalla muun muassa siihen, miten muilla tehtailla ja satamissa bulk-tuotteita lastataan. Tutkimustyön perusteella valikoitui kolme erilaista vaihtoehtoa.

Teoriaosuudessa on käsitelty yleisimpiä jauheensiirtotekniikoita ja pölynhallinnan perusteita. Kuljettimista on perehdytty erityisesti työn toteutusosiossa esille tuleviin mekaanisiin ruuvi- ja putkikolakuljettimeen, sekä pneumaattisista siirtimistä ylipainesiirtimiin.

Työn toteutusosiossa on tarkasteltu ensin vanhan lastauksen riskejä ja kustannuksia, jonka jälkeen on käyty läpi valitut uudet lastausmallit, niiden tuomat säästöt ja takaisinmaksuajat.

Työn tuloksena saavutettiin kustannusarviot ja takaisinmaksuajat valituille lastausmalleille. Takaisinmaksuajat olivat reilusti yli kohdeyrityksen oman standardin, joten vaihtoehdoista valittiin kohdeyritykselle hyödyllisin ja rahoitusta haettiin ”pakollisena investointina” työturvallisuusnäkökulmaa painottaen.

ASIASANAT:

Bulk-tuote, jauheensiirto, pölynhallinta

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation

2017 | 32

Sakari Koivunen

Vesa Niittonen

## REDESIGNING A BULK LOADING SYSTEM

The purpose of this thesis was to find a new way for a company to load bulk products. New ways were surveyed by exploring how the handling of bulk materials is done in other factories and harbors. The research resulted in three options.

In the theory section, common ways to handle bulk materials and the basics of dust control are presented. The main focus was in the ways that came up in the practical section, such as mechanical conveyors, screw conveyors, tube chain conveyors and overpressure pneumatic conveyors.

In the practical section, the risks and costs of the old loading system were first studied. Then, the new loading system was introduced and the savings and payback times were analyzed.

As a result of this thesis, the company received cost estimates and simple payback times for the new loading systems. Payback times exceeded the company's standards significantly, so the most efficient option was chosen and funding as "a mandatory investment" was pursued underlining the work safety aspect.

### KEYWORDS:

Bulk product, handling of bulk materials, dust control

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT KÄSITTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 KÄSITELTÄVÄ IRTOLASTI</b>	<b>8</b>
2.1 Kalsiumkarbonaatti	8
2.2 Polyvinyylialkoholi, PVA	8
2.3 Tuotepakkaus	9
<b>3 JAUHEENSIIRTO JA PÖLYNPOISTO</b>	<b>10</b>
3.1 Mekaaniset kuljettimet	10
3.1.1 Ruuvikuljetin	10
3.1.2 Putkikolakuljetin	12
3.2 Pneumaattiset kuljettimet	12
3.2.1 Dilute Phase	13
3.2.2 Dense Phase	13
3.3 Pölynhallinta	14
<b>4 TYÖN SUORITUS</b>	<b>17</b>
4.1 Nykyinen lastaus	17
4.2 Mobiililastaaja	19
4.2.1 Dino bulkloader	20
4.2.2 Shrage bulkloader	22
4.2.3 Mobiililastauksen säästöt ja kustannukset	23
4.3 Lastaus tason päältä	24
4.4 Lastaussiilo	25
4.4.1 Koparin tarjous	26
4.4.2 Lastaussiilon säästöt ja kustannukset	30
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>31</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>32</b>

## KUVAT

Kuva 1. Ruuvikuljettimen pääkomponentit (Ortega-Rivas 2012, 152).	11
Kuva 2. Kuva havainnollistaa vaihtoehtojen määrää (Mills 2004, 29).	13
Kuva 3. Taulukko dilute- ja dense phase -siirron eroista (Colijn 1987, 18).	14
Kuva 4. Kuva havainnollistaa pölynkeräyslaitteiston komponentteja ja toimintaa (Indiamart 2016).	16
Kuva 5. Malli mobiililastaajan käytöstä.	20
Kuva 6. Layout-kuva Dino-lastaajasta.	21
Kuva 7. Layout-kuva Shragen-mobiililastaajasta.	22
Kuva 8. Layout-kuva lastaustasosta.	24
Kuva 9. Ote Koparin tarjouksesta.	27
Kuva 10. PI-kaavio lastaussiilosta.	29

## KUVIOT

Kuvio 1. Bulkkauksen kustannusten jakautuminen.	19
Kuvio 2. Mobiililastauksen kustannusten jakautuminen.	23
Kuvio 3. Lastaustason kustannusten jakautuminen.	25

## TAULUKOT

Taulukko 1. Lastauksen riskianalyysi.	18
---------------------------------------	----

## KÄYTETYT KÄSITTEET

Bulk	Rahtiliikenteessä termi irtolastille.
Bulkkaus	Irtolastin lastaus.
Suursäkki	Big Bag. IBC-pakkaus. Suurikokoinen bulk-tavaran kuljetukseen suunniteltu säkki.
Pneumaattinen	Paineilmatoiminen.
Bulkki-tiheys	Materiaalin paino pakattuna, ilmoitetaan esimerkiksi muodossa $\text{kg/m}^3$ .
Materiaalin lepokulma	Kasatun materiaalin ja tason välinen kulma.
Agglomeraatio	Partikkeleiden tarttuminen toisiinsa kiinni.
Kontaminaatio	Tuotteen sekaan joutuu epäpuhtauksia.
Fluidisaatio	Leijutus eli kiintoainerakeet pääsevät liikumaan esteittä kaikkiin suuntiin.
Hydrolyysi	Kemiallinen reaktio, jossa syntyy uusi sidos happiatomin ja jonkin toisen alkuaineen välille.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on suursäkkeihin pakattujen jauhemaisten ja granulaatti bulk-tuotteiden käsittely ja säiliöautoon lastaaminen. Toimeksiantajayrityksestä käytetään työssä nimitystä kohdeyritys.

Teoria-osuudessa perehdytään ensin lastattaviin tuotteisiin, erilaisiin bulk-tuotteiden siirtomenetelmiin ja syntyvän pölyn käsittelyyn. Toteutus-osiossa esitellään valikoituneet lastausmallit ja vertaillaan näitä keskenään.

Opinnäytetyössä tavoitteena on uudistaa kohdeyrityksen bulk-lastaus. Työn lopullisena tuloksena olisi esitelmä uudesta lastausmallista ja teknistaloudellinen laskelma uuden investoinnin kustannuksista ja säästöistä.

Opinnäytetyö aloitetaan perehtymällä kohdeyrityksen nykyiseen bulk-lastaukseen analysoimalla sen riskit ja parannustarpeet. Tämän jälkeen kartoitetaan mahdollisia uusia lastausmalleja. Kyseisestä projektista oli jo olemassa materiaalia ja tarjouksia, joihin tutustuttiin ensin. Lastaustavoista haettiin tietoa myös muilta bulk-tuotteita lastaavilta yrityksiltä.

## 2 KÄSITELTÄVÄ IRTOLASTI

### 2.1 Kalsiumkarbonaatti

Kalsiumkarbonaatti on yleisin käytetty täyteaine muovi-, kumi-, paperi-, maali- ja musteteollisuudessa. Kalsiumkarbonaattia saadaan jauhamalla luonnollista valkoista kalsiittia. (The Japan Institute of Metals 2009.)

Kalsiumkarbonaattijauheen käytön yleisyys johtuu sen halpuudesta ja hyvistä ominaisuuksista. Kalsiumkarbonaattia käytetään polymeerikomposiiteissa parantamaan niiden fyysisiä ominaisuuksia ja työstettävyyttä. Samalla niiden hintaa saadaan laskettua kun resiiniä korvataan kalsiumkarbonaatilla. (The Japan Institute of Metals 2009.)

Kalsiumkarbonaatin ominaisuuksia pystytään parantamaan entisestään päällystämällä jauhe, koska esimerkiksi kosteus aiheuttaa agglomeraatiota jauheessa. Päällystämiseen käytetään yleisesti rasvahappoja kuten resiini ja steariinihappo. Päällystämällä pystytään parantamaan jauheen veden vastustuskykyä ja fyysisiä ominaisuuksia kuten juoksevuuutta, kiinnittymistä, valumista ja tulvimista. (The Japan Institute of Metals 2009.)

Tällä hetkellä kohdeyrityksessä bulkataan sekä steariinihapolla päällystettyä, että päällystämätöntä kalsiumkarbonaattia, jotka valmistetaan kohdeyrityksessä.

### 2.2 Polyvinyylialkoholi, PVA

Polyvinyylialkoholia eli PVA:ta valmistivat ensimmäisen kerran Hermann ja Haehnel vuonna 1924. Sitä käytetään paperi- ja kartonkitekiteollisuudessa päällystyksessä ja keramiikkateollisuudessa. Polyvinyylialkoholia valmistetaan hydrolysoimalla polyvinyyliasetaattia metanolilla. Tuotteen ominaisuudet ja käyttäytyminen riippuvat polymerisaation ja hydrolysaation määrästä. Polyvinyylialkoholit jaetaan kahteen ryhmään, osittain ja kokonaan hydrolysoitu. (FAO 2004.)



Polyvinyylialkoholi on granulaatti, ja sen suosio teollisuuden raaka-aineena perustuu sen hyviin ominaisuuksiin. Polyvinyylialkoholi on vesiliukoinen, ja se liukenee osittain etanoliin mutta ei muihin orgaanisiin liuottimiin. Kosteuden kanssa tekemisiin joutuessaan polyvinyylialkoholi agglomeroituu, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia tuotteen purkamisessa tai siirtämisessä.

### 2.3 Tuotepakkaus

Kalsiumkarbonaatti ja PVA ovat molemmat pakattuna noin kuution kokoisiin suursäkkeihin, joiden koko vaihtelee 800:n ja 1250kg:n välillä. Säkeissä on noin puolimetrisen purkusukka, jonka kautta tuote voidaan purkaa säkkiä rikkomatta. Suursäkki on erikseen tilattu, ja siitä käy ilmi, mitä tuotetta säkki sisältää. Tämän lisäksi jokaiseen säkkiin lisätään ennen täyttöä A4, josta käy ilmi säkityspäivä ja järjestysnumero.

## 3 JAUHEENSIIRTO JA PÖLYNPOISTO

Jauheiden siirrolla prosessiteollisuudessa tarkoitetaan materiaalien siirtoa eri käsittelypisteiden välillä. Siirto on erittäin tärkeä osa prosessia, ja se ei lisää tuotteen arvoa, mutta huonosti hoidettuna se saattaa lisätä tuotteen kustannuksia. Tämän takia siirtojärjestelmän suunnittelussa kannattaa käyttää ammattilaista, joka tuntee materiaalinkäsittelyn perusteet. (Ortega-Rivas 2012, 135.)

Siirtävänä voimana voidaan käyttää painovoimaa, ruumiillista työtä tai voimälähdettä. Tämä jako käsittää kaikki erilaiset siirtimet. (Ortega-Rivas 2012, 135). Koska käsiteltävät tuotteet on rajattu jauheisiin ja granulaatteihin, olen yksinkertaistanut jaon kattamaan vain mekaanisia ja pneumaattisia kuljettimia.

Siirtojärjestelmän valintaan vaikuttavia materiaalin ominaisuuksia ovat, bulkitiheys, keskimääräinen partikkelikoko, partikkeleiden muoto, tuotteen lepokulma, materiaalin kaasun läpäisevyys, siirrettävä etäisyys ja haluttava siirtonopeus.

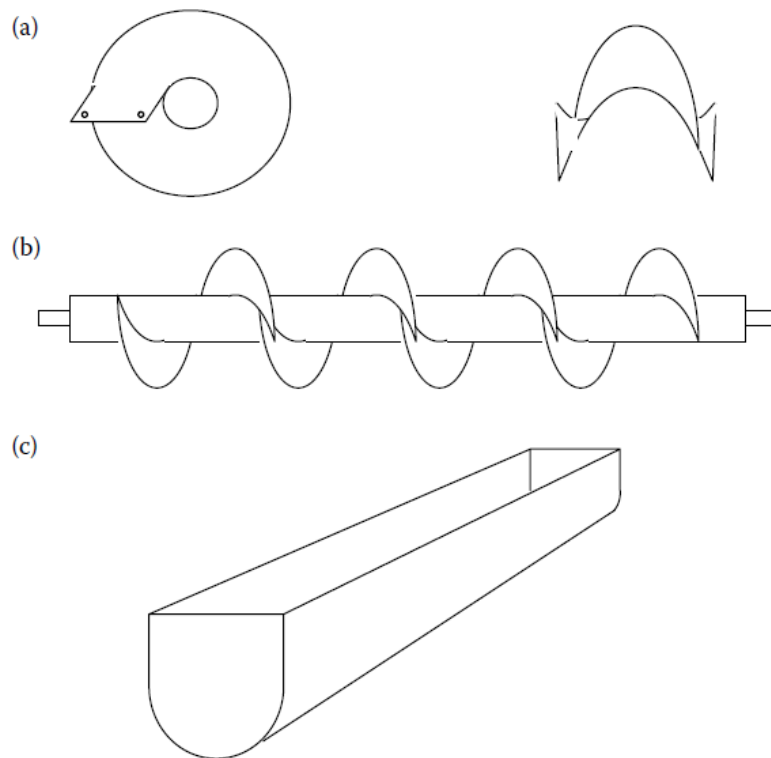
### 3.1 Mekaaniset kuljettimet

Mekaanisissa kuljettimissa siirtävänä voimana on mekaaninen työ, joka saadaan tuotettua esimerkiksi sähkö- tai polttomoottorin avulla. Kaikille tuttu mekaaninen kuljetin on esimerkiksi kaupan kassahihna. Osiossa on käsitelty mekaanisia kuljettimia, joiden avulla kohdeyrityksen käyttämiä tuotteita voidaan siirtää.

#### 3.1.1 Ruuvikuljetin

Ruuvikuljetin on vanhin jatkuvatoiminen mekaaninen kuljetustapa. Ruuvikuljetinta käytetään siirtämään hienojakoisia jauheita, kosteita materiaaleja ja kaikenlaisia granulaatteja. Niiden toiminta perustuu kaukalossa olevaan tai koteloituun pyörivään kierteiseen ruuviin, joka siirtää materiaalia. Ruuvin siivekkeet on

yleensä tehty ruostumattomasta teräksestä, kuparista, messingistä, alumiinista tai valuraudasta, jotka on kovitettu kestävämpiin materiaaleihin. Vaikka ruuvikuljettimet ovat suhteellisen yksinkertaiset ja halpa siirtotapa, vaativat ne toimiakseen paljon energiaa. Ruuvin materiaali ja nousu valitaan siirrettävän materiaalin ja vaadittavan nousukulman perusteella. (Ortega-Rivas 2012, 151.)



**FIGURE 3.29**  
Screw conveyor components: (a) flight, (b) screw formed by mounting flights on an axle, and (c) trough.

Kuva 1. Ruuvikuljettimen pääkomponentit (Ortega-Rivas 2012, 152).

Käyttötarkoituksesta ja paikasta riippuen ruuvi on joko suljettu tai avoin. Ruuvi pystytään myös eristämään kokonaan ulkoilmasta, jotta käyttö ulkona onnistuu. Kuljettimeen voidaan myös tehdä kokonaan irrotettava kansi tai huoltoluukkuja joiden kautta ruuvi voidaan putsata, jotta useiden eri tuotteiden siirto onnistuu ilman kontaminaatiota. (Ortega-Rivas 2012, 151–152.)

Ruuvikuljetin tulee aina suunnitella tapauskohtaisesti. Tuotteen ominaisuudet vaikuttavat muun muassa ruuvin materiaaliin, suurimpaan sallittuun täyttöasteeseen ja tarvittavaan kierrosnopeuteen halutun siirtonopeuden saavuttamiseksi.

### 3.1.2 Putkikolakuljetin

Putkikolakuljetin on hyvin samantyylinen kuin ruuvikuljetin, jossa mekaanisen komponentin liike aiheuttaa liikuttavan voiman siirrettävään tuotteeseen. Putkikolakuljettimessa kulkee loputon ketju tai vaijeri, johon on kiinnitetty siivekkeitä. (McGlinchey 2008, 241.)

Yksinkertaisuutensa ja lujuutensa ansiosta putkikola on hyvä vaihtoehto sementin, kuonan, tuhkan, märkien malmien, kivihiilen ja viljan käsittelyyn.

### 3.2 Pneumaattiset kuljettimet

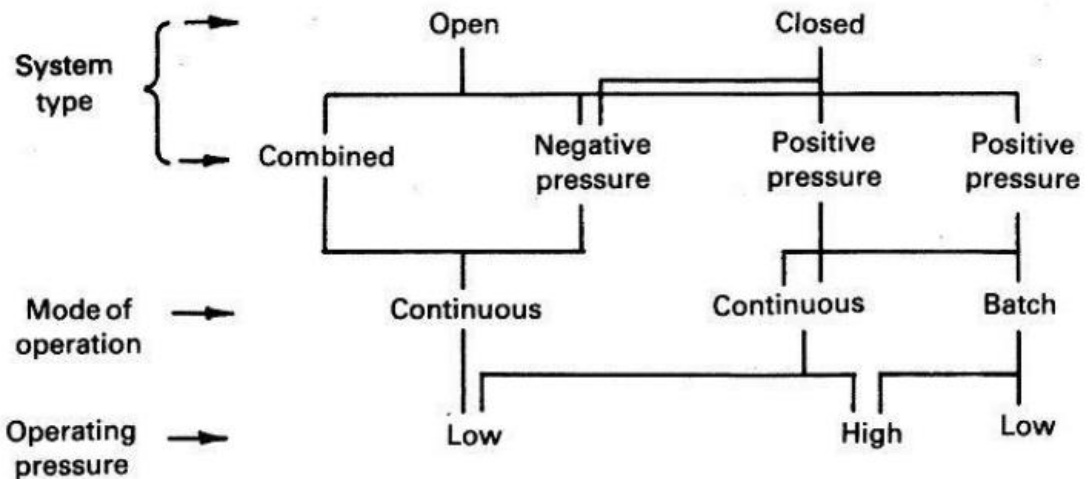
Pneumaattisia siirtojärjestelmiä on käytetty teollisuudessa muutaman vuosikymmenen ajan. Pneumaattisen siirron suosio bulk-tuotteiden kuljetuksessa lisääntyy entisestään, kun kehitetään tehokkaampia laitteistoja ja tekniikoita. Yleisesti siirtämiseen käytettävä kaasu on ilmaa, mutta joissakin erikoistapauksissa käytetään myös muita kaasuja. (Wypuch 1989, 6.)

Kuljetustavalla on paljon etuja verrattuna mekaanisiin kuljettimiin. Sillä pystytään kuljettamaan vaihtelevia tuotteita pölyttömästi hankaliinkin paikkoihin putkistosuunnittelun joustavuuden ansiosta. Uusien tekniikoiden ansiosta pystytään tuotteita siirtämään pienemmällä ilman kulutuksella, mikä laskee huolto- ja käyttökustannuksia sekä vähentää tuotteen ja putkilinjaston kulumista. Kuljettimella voidaan siirtää useita erilaisia tuotteita suurillakin siirtonopeuksilla pitkiäkin matkoja. Tuotetta voidaan syöttää järjestelmään useasta eri kohdasta ja siirtää useaan eri kohteeseen.

Huonoja puolia pneumaattisessa kuljetuksessa on suuri energian kulutus ja painehäviöistä johtuva siirtomatkan rajallisuus. Pneumaattisen järjestelmän

suunnittelu vaatii myös enemmän asiantuntevuutta, jotta järjestelmästä saadaan luotettava ja tehokas. (Wypuch 1989, 28.)

Pneumaattisissa kuljettimissa on useita eri vaihtoehtoja. Ne voidaan jakaa avoimiin ja suljettuihin systeemeihin, jatkuvatoimiseen ja sykäyksinä siirtäviin, sekä ylipaine- ja alipainekuljettimiin ja näiden yhdistelmiin.



Kuva 2. Kuva havainnollistaa vaihtoehtojen määrää (Mills 2004, 29).

Tässä osiossa olen keskittynyt vain ylipainekuljettimiin.

### 3.2.1 Dilute Phase

Yleisimmin käytetty pneumaattisen siirron muoto, jossa käytetään paljon kaasua tai ilmaa, mutta vain vähän kiinteää ainetta (Elsevier Science B. V 2001, 292).

### 3.2.2 Dense Phase

Dense Phase -siirto keksittiin 1970-luvun puolivälissä ja sitä alettiin markkinoida järjestelmänä joka korvasi kaikki muut pneumaattiset siirtojärjestelmät. Dense Phase tekniikalla pystytään vähentämään kulumista ja hankaamista, sekä ratkaisemaan monia ongelmia tehtailla. (Elsevier Science B. V 2001, 294.)

## CLASSIFICATION OF PNEUMATIC CONVEYOR SYSTEMS

	DILUTED PHASE	DILUTED PHASE	MEDIUM DENSE PHASE	DENSE PHASE	AIR ACTIVATED GRAVITY CONVEYOR
SYSTEM	FAN	BLOWER	PUMP	BLOW TANK	AIRSLIDE
PRESSURE RANGE	$\pm 20'' \text{ H}_2\text{O}$	$\pm 7 \text{ PSI}$	15 – 35 PSI	30 – 125 PSI	FAN TYPE 0.5 – 1 PSI (CLOSED) 4 – 5 PSI (OPEN)
SATURATION CU. FT. AIR/LB. MATL.	VAC. 10 – 30 PRES. 4.5 – 13	VAC. 3 – 5 PRES. 1 – 3.5	0.35 – 0.75	0.1 – 0.35	3 – 5 CFM/SQ. FT.
MATL. LOADING LB. MATL./LB. AIR	VAC. 1.3 – .45 PRES. 3 – 1	VAC. 4.5 – 2.5 PRES. 13 – 3.8	45 – 18	135 – 45	
AIR VELOCITY FPM	6000	4000 – 8000	1500 – 3000	200 – 2000	10 THRU DIAPHRAM
MAX. CAPACITY TPH	50	100	300	400	500
PRACTICAL DISTANCE LIMITS IN FT.	VAC. 100 PRES. 200	VAC. 200 PRES. 500	3000	8000	100 FT. 6 FT. DROP/LENGTH 3' TO 10' SLOPE

Kuva 3. Taulukko dilute- ja dense phase -siirron eroista (Colijn 1987 ,18).

Kuva 3 havainnollistaa hyvin dilute- ja dense phase -siirron eroja. Dense phase -siirroksessa käytetään suurempaa painetta, mutta ilmamäärä kiinteää ainetta kohden on pienempi. Vastaavasti dilute phase -siirroksessa on pienempi paine, mutta siinä kuluu enemmän ilmaa siirtoon. Dense phase -siirroksella saavutetaan myös suurempi siirtokapasiteetti ja pidempi siirtomatka.

### 3.3 Pölynhallinta

Pöly koostuu pienistä ilman mukana kulkeutuvista partikkeleista. Näitä partikkeleita syntyy muun muassa hionta-, murskaus- ja törmäysprosesseissa. Tuotteen liikkumassa se aiheuttaa voiman ympäröivään ilmaan, minkä seurauksena ilma lähtee liikkumaan tuotevirran mukana. Tuotteen törmätessä esimerkiksi lastauksessa säiliön pohjaan tuotteen mukana liikkunut ilma vapautuu ja kuljettaa mukanaan hienoja tuotepartikkeleita. Tämä vapautunut ilma-partikkeliseos on pölyä.

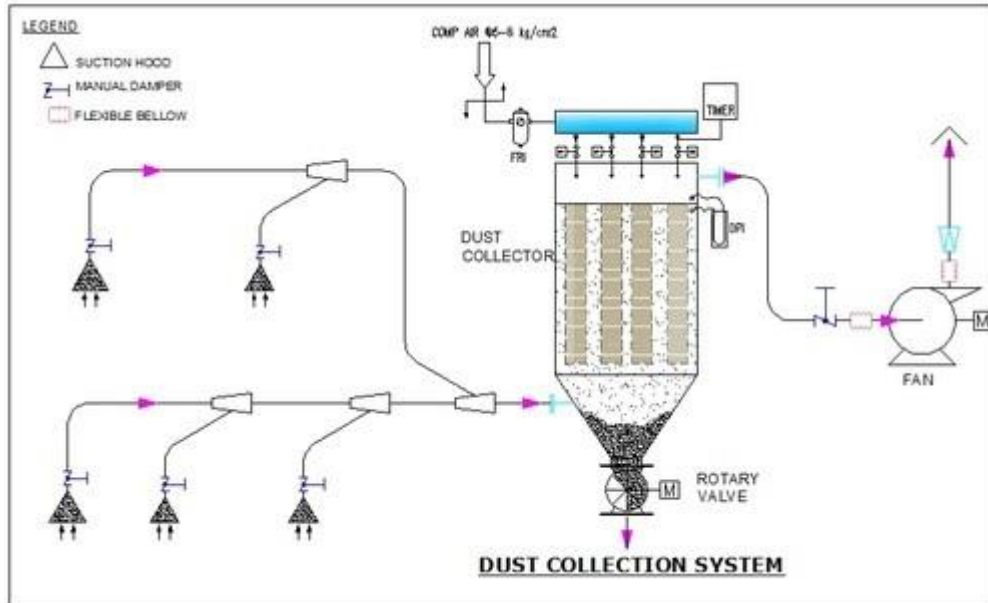
Pölyä vapautuu monissa eri jalostusprosessin vaiheissa ja vapautuvan pölyn määrä riippuu materiaalin ominaisuuksista ja käsittelytavasta. Vapautuva pöly voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Ensimmäinen tyyppi on hengitettävä pöly, joka on niin hienoa, että se tunkeutuu nenän ja ylähengitysteiden läpi keuhkoihin asti. Toinen tyyppi on hengitysteihin jäävä pöly, joka pääsee kyllä kehoon mutta jää kiinni nenään ja keuhkoihin. Kolmas tyyppi on kokonaispöly, joka katkaa kaikki pölyhiukkaset.

Kohdeyrityksessä käsiteltävät tuotteet ovat niin hienojakoisia, että lastauksessa ja siirroissa syntyy paljon pölyä. Pöly on myös hyvin hienojakoista, minkä takia se tunkeutuu nenän ja ylähengitysteiden takia suoraan keuhkoihin. Tämän takia riittävän ja oikeanlaisen pölynpoiston valinnan tärkeys korostui työssä ja uudesta järjestelmästä halutaan käytännössä pölytön.

Pölynpoistoa suunniteltaessa kannattaa muistaa, ettei kyse ole pelkästään laitteiden ostamisesta vaan pitää myös huomioida pölyn syntymisen ennaltaehkäisy, sekä mahdollisuus eristää syntynyt pöly tai korvata puhtaalla ilmalla.

Pölynhallintaan on kolme eri vaihtoehtoa, pölynkeräyslaitteisto, tuotteen kastelu pölyn vähentämiseksi ja syntyneen pölyn kastelu. Kohdeyrityksessä tuotteita ei voi kastella, joten ainut mahdollinen tapa pölynhallintaan on keräyslaitteisto.

Pölynkeräyslaitteisto koostuu neljästä pääkomponentista, pölynkeräyssuppilo, putkilinja, suodatinyksikkö, joka erottaa pölyn ilmasta ja puhallin, jonka avulla saadaan aikaiseksi imuvoima ja puhalletaan puhdas ilma ulos.



Kuva 4. Kuva havainnollistaa pölynkeräyslaitteiston komponentteja ja toimintaa (Indiamart 2016).

Kuvan 3 kokoonpanossa puhallin muodostaa imuvoiman, jonka mukana pöly imeytyy keräyssuppilon kautta suodattimeen. Suodatinyksikössä pöly jää kiinni suodattimeen ja erottuu puhtaasta ilmasta, joka poistuu puhaltimen kautta. Suodattimeen kerääntynyt pöly poistetaan joko manuaalisesti tai yleisesti tehdassovelluksissa automaattisesti paineilmaiskun avulla. Esimerkiksi siilosuodattimissa paineilmaisku pudottaa kerääntyneen pölyn takaisin siiloon, josta se tulee uudestaan käyttöön.



## 4 TYÖN SUORITUS

Sain kohdeyritykseltä toimeksiannon uudistaa yrityksen bulk-lastaussysteemin.

Aloituspalaverissa käytiin läpi projektin lähtökohdat ja pohdittiin vaatimuksia, jotka uuden lastaussysteemin tulisi täyttää. Tärkeimmäksi tavoitteeksi nousi työturvallisuuden parantaminen. Investointia voi siis pitää niin kutsuttuna ”pakollisena investointina”.

Projektia oli jo aikaisemmin aloitettu, mutta ajan puutteen takia siihen ei ollut perusteellisesti kyetty paneutumaan. Tästä oli jäljellä muutama vanha tarjous ja materiaalia joihin perehtymällä lähdettiin liikkeelle.

Kohdeyrityksen toivomuksesta tarkkoja euromääräisiä hintoja ei työssä ole käytetty.

### 4.1 Nykyinen lastaus

Nykyinen lastaus suoritetaan tehtaan pihalla taivas alla. Lastaukseen tarvitaan kolme henkilöä, trukki ja nosturiauto.

Lastaus aloitetaan ajamalla tonnimäärän mukainen määrä säkkejä lastauspaikalle, jotta niitä ei tarvitsisi hakea lisää kesken lastauksen.

Tuotteen lastaus autoon suoritetaan nostamalla nosturiauton kanssa suursäkki tankkiauton päällä olevan suppilon yläpuolelle, jonka jälkeen säkin pohja leikataan auki puukolla ja tuote valutetaan painovoiman avulla suppilon läpi tankkiautoon. Leikkaamalla pohja auki säästetään paljon aikaa, koska säkkien täyttö vaiheessa niistä on tärytetty ylimääräinen ilma pois, on tavara pakkautunut säkkiin tiukasti eikä se valuisi purkusukasta kunnolla ilman fluidisointia.

Lastatessa joudutaan yleensä käyttämään useampaa tankkiauton täyttöaukkoa, koska tuote kasaantuu täyttöaukon kohdalle. Lastatessa joudutaan myös pitämään yhtä täyttöaukkoa auki, ettei tuotteen syrjäyttämä ilma ja pöly poistuisi käytettävästä täyttöaukosta suoraan auton päällä olevan lastaajan naamalle.

Säkin tyhjennyttyä lasketaan se alas ja vaihdetaan uusi säkki tilalle. Lastauksen jälkeen tyhjät säkit viedään puristimeen. Tyhjät säkit menevät näin ollen energijätteeksi.

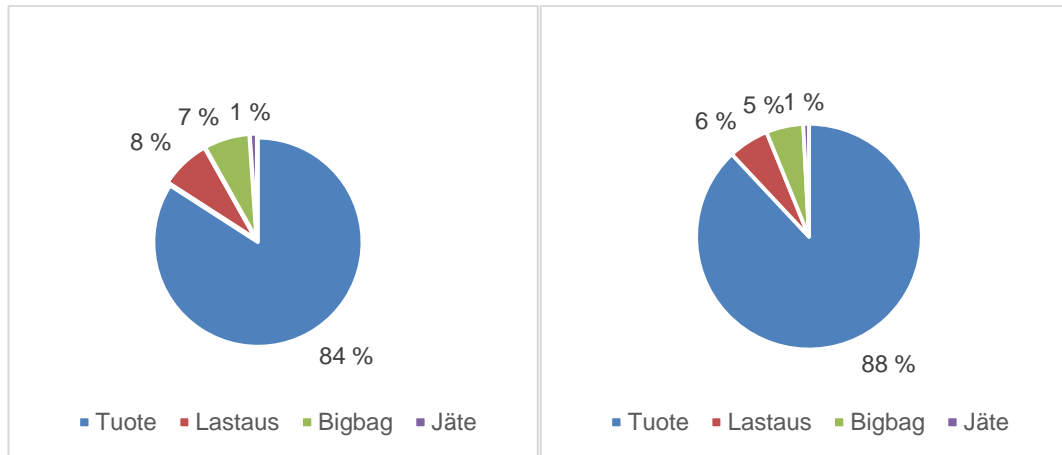
Lastauksen riskianalyyssissa havaittiin muutama selkeä työturvallisuus- ja työterveyspuute. Taulukossa 1 on kuvattu nykyisen lastauksen riskianalyysi.

Taulukko 1. Lastauksen riskianalyysi.

<b>Vaaraa aiheuttava tilanne</b>	<b>Seuraukset</b>	<b>Nykyinen varautuminen</b>	<b>Toimenpide-ehdotus</b>
Säkkiä tyhjennettäessä pöly leviää sekä säkistä, että säiliön avoimesta luukusta	Pöly leviää ympäristöön. Altistuminen pölylle	Lastaajalla motorisoitu hengityssuoja muilla keräkäyttöinen	Kunnollinen pölynpoisto lastaukseen
Työskentely auton päällä	Putoamisvaara	Auton säiliössä oleva kaide ylhäällä	Vähintään kiinteät rakenteet joiden päällä työskennellään
Säkin pohjaa leikatessa ylämiehen käsi säkin ja lastaussuppilon välissä	Säkin lenkin petäessä käsi jää suppilon ja säkin väliin	-	Laitteisto missä käsiä ei tarvitse laittaa roikkuvan säkin alle

Työterveys- ja työhyvinvointiriskien lisäksi lastauksessa on nykyisellään muita riskejä, joista saattaa aiheutua rahallista tappiota kohdeyritykselle. Säkin pohjaa leikatessa saattaa säkistä irrota kuituja, jotka tuotteen joukkoon joutuessaan aiheuttaa ongelmia asiakkaalla.

Bulkkauksen kustannusten jakautuminen eroaa hiukan kahden tuotteen välillä. Oheisesta kuviosta selviää, kuinka bulkatun tuotteen kustannus jakautuu.



Kuvio 1. Bulkkauksen kustannusten jakautuminen.

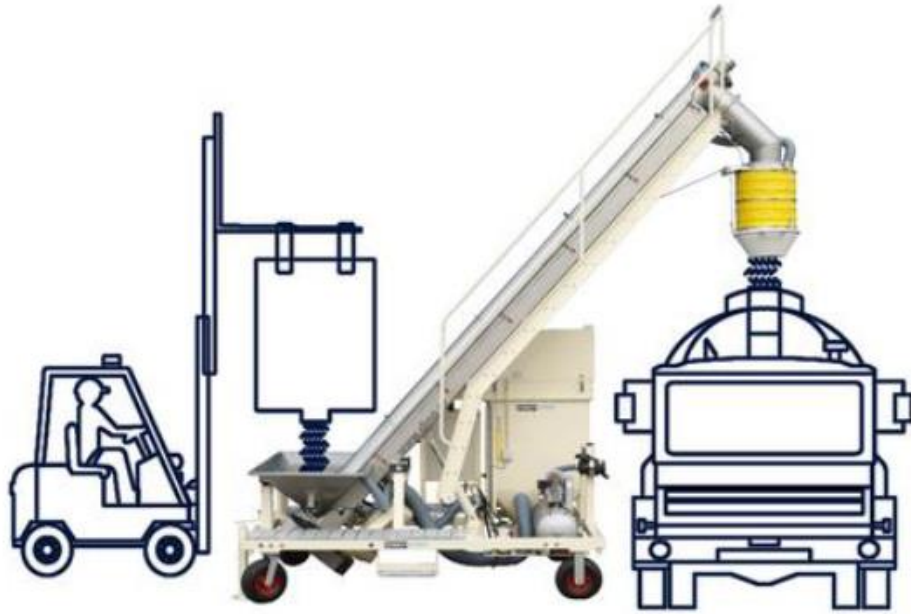
Kuviosta nähdään että suurin osa bulkkauksen kustannuksista koostuu tuotteen hinnasta. Lastauksen ja suursäkin kustannus on suunnilleen saman verran ja loppu on jätekustannuksia.

Suursäkki-kustannuksia pystyttäisiin pienentämään uudelleen käyttämällä säkit. Tämä vaatisi tosin säkkien vaihtamista kalliimpaan ja säkit pitäisi käsitellä aina lastauksen jälkeen, josta tulisi uusi kustannus. Kaikkiaan kuitenkin jos säkkejä käytettäisiin kolme kertaa, laskisi suursäkki-kustannukset 49 %.

#### 4.2 Mobiililastaaja

Mobiililastaaja on nimensä mukaan lastaussysteemi jota pystytään liikuttamaan tarpeen mukaan paikasta toiseen. Tällä mahdollistetaan se, että lastausten takia ei välttämättä tarvitse tehdä kiinteitä rakenteita.

Mobiililastaajat käyttävät yleisesti mekaanista siirrintä. Tämä aiheuttaa kontaminaatiovaaran, ja siirtimen puhtaus pitäisi tarkastaa aina lastattavaa tuotetta vaihdettaessa. Myös sääolosuhteet aiheuttavat kontaminaatiovaaran, tämän takia lastausta varten tarvitaan myös katos, jonka suojassa lastaus voidaan suorittaa.



Kuva 5. Malli mobiililastaajan käytöstä.

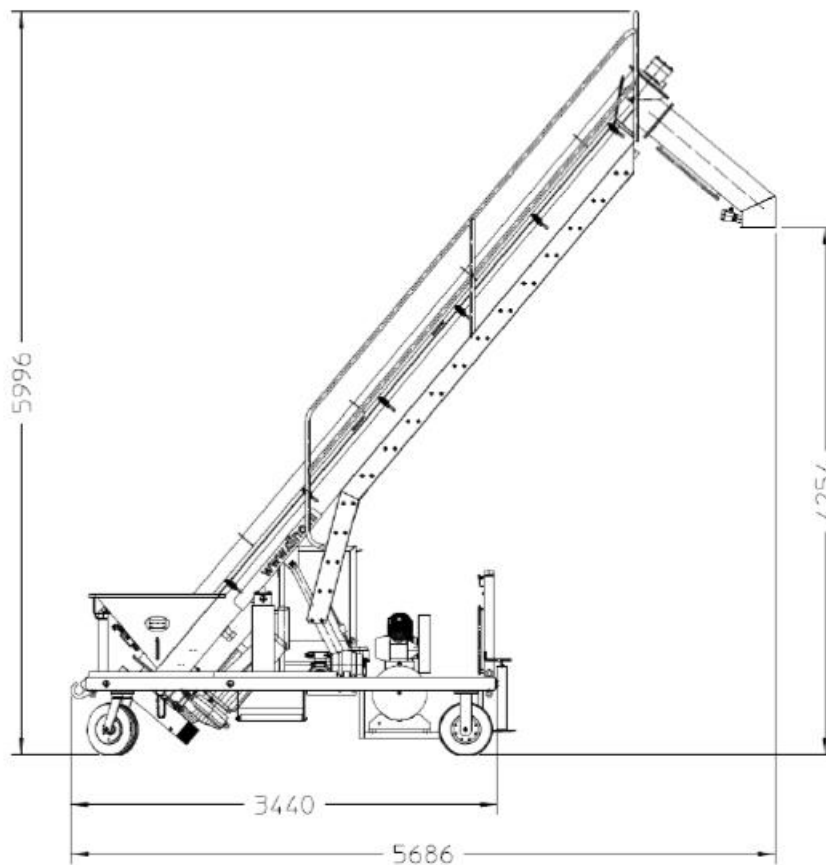
Tarjous saatiin kahdelta eri toimittajalta, saksalainen Shrage ja hollantilainen Dino. Tarjoukset olivat hyvin lähellä toisiaan, sekä hinnallisesti että kokoonpanon osalta.

#### 4.2.1 Dino bulkloader

Dino on hollantilainen yritys joka myy ja vuokraa mobiililastaajia bulk-tuotteiden käsittelyä varten. Lähestyin yritystä sähköpostitse ja kerroin kohdeyrityksen tilanteesta ja tarpeista, niiden perusteella sain tarjouksen.

Dino tarjosi bulk-lastaajaa, jonka siirtokapasiteetti olisi  $40\text{m}^3/\text{h}$ . Kapsiteetti on riittävä, jotta lastaus voidaan suorittaa noin tunnissa.

#### 4.2 Drawing DINO® in raised position



Kuva 6. Layout-kuva Dino-lastaajasta.

Dinoon on mahdollista valita runko normaalista rakenneteräksestä tai ruostumattomasta teräksestä. Kohdeyityksen sijainnin kannalta järkevin materiaalivaihtoehto rungolle olisi ruostumaton teräs.

Tuotteen siirto on Dinossa toteutettu suljetulla ruuvikuljettimella, jossa on irroitettava kansi ruuvien puhdistamista varten.

Dinossa on yleisesti käytössä ”veitsitoiminen” säkinpurkupiste, jonka päälle suursäkit vain lasketaan, mutta lisävarusteena on myös mahdollista saada purkupiste, jossa säkit voidaan avata pohjasta käsin. Koska käsiä ei tarvitse missään vaiheessa laittaa suursäkin ja purkukehikon väliin, vältetään kiilautumis-

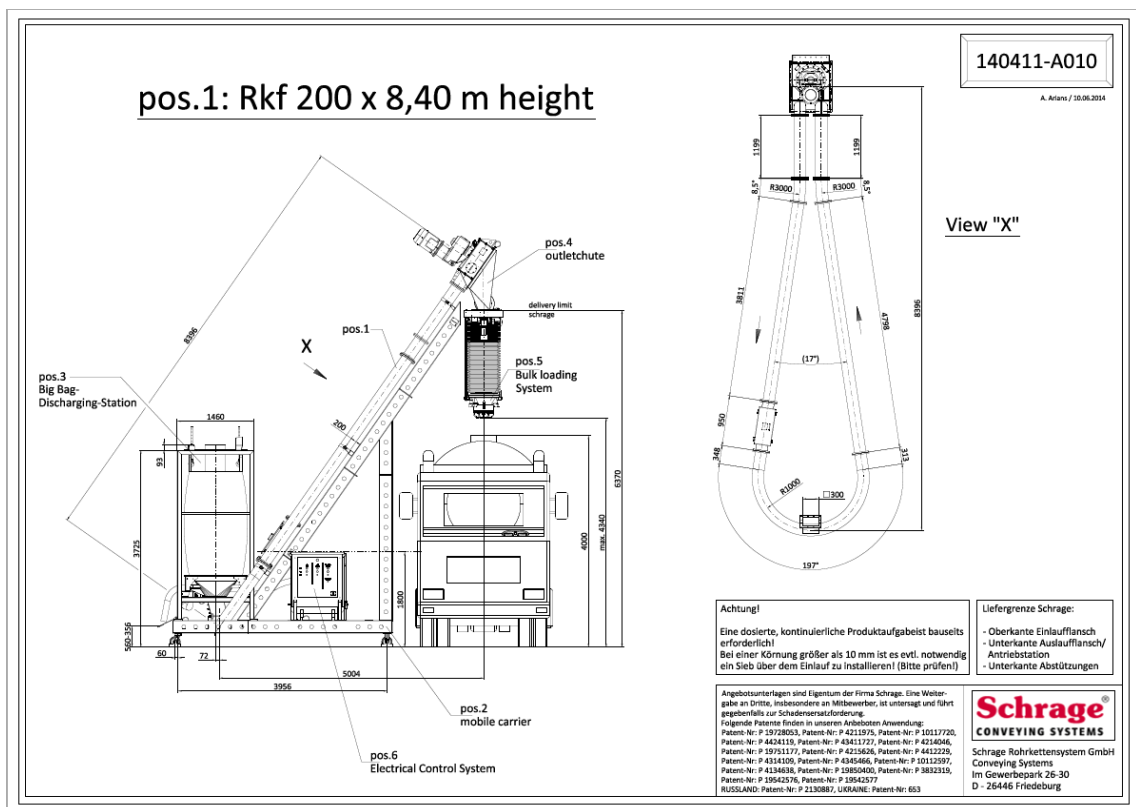
vaara ja saadaan työturvallisuutta parannettuna. Tämä myös mahdollistaa suursäkkien kierrättämisen ja näin ollen pienentäisi säkkikustannuksia.

Dinossa on oma integroitu pölynpoistosuodatin, joka imee pölyn sekä säkinpurkuasemalta että lastauspalkeelta.

#### 4.2.2 Shrage bulkloader

Shrage on saksalainen yritys, joka tarjoaa yleisesti ratkaisuja bulk-materiaalien siirtoon ja säilytykseen.

Shrage tarjosi mobiililastajaa, jonka siirtokapasiteetti on  $40\text{m}^3/\text{h}$ . Kapasiteetti on riittävä, jotta lastaus voidaan suorittaa noin tunnissa.



Kuva 7. Layout-kuva Shragen-mobiililastajasta.

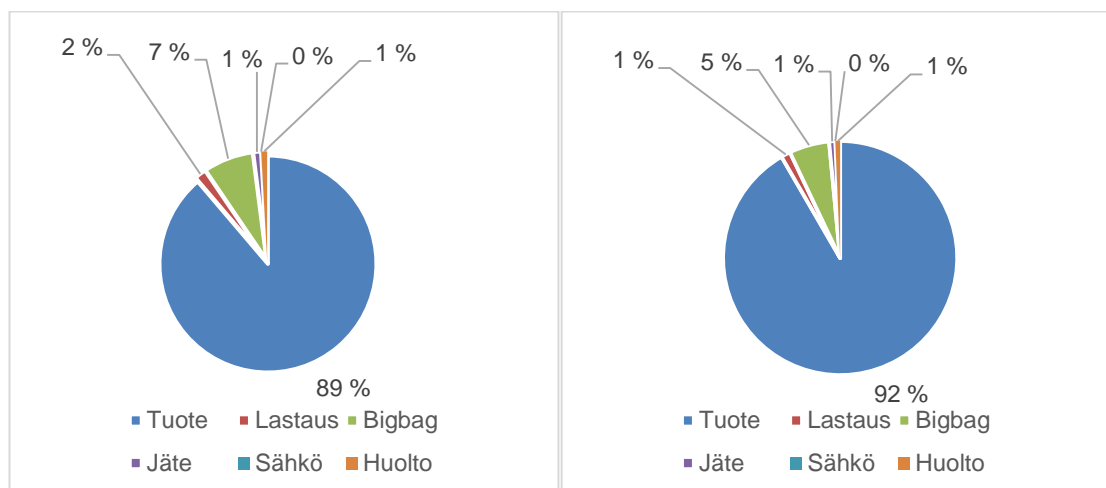
Shragen runko on maalattua S235jr rakenneterästä. Tuotteen siirto shragessa on toteutettu putkikolajuljettimella, joka on täysin pölytiivistetty.

Säkinpurkuasema on myös rungoltaan S235jr rakenneterästä. Suursäkki nostetaan trukilla säkinpurkuasemalle, jonka jälkeen säkin pohja avataan asemassa olevan turvaluukun kautta. Näin varmistetaan, että käsi ei voi kiilautua säkin ja purkupisteen väliin.

Kuljettimen ja säiliöauton välillä on sähkötoimisella nostimella varustettu lastauspalje. Palje on PVC päällystettyä kangasta, ja se tiivistyy säiliöauton lastausaukkoon paineilmalla.

#### 4.2.3 Mobiililastauksen säästöt ja kustannukset

Mobiililastaajalla pystytään vaikuttamaan lastauksen kustannuksiin. Uusia kustannuksia tulisi mobiililastaajan käytöstä ja huollosta.



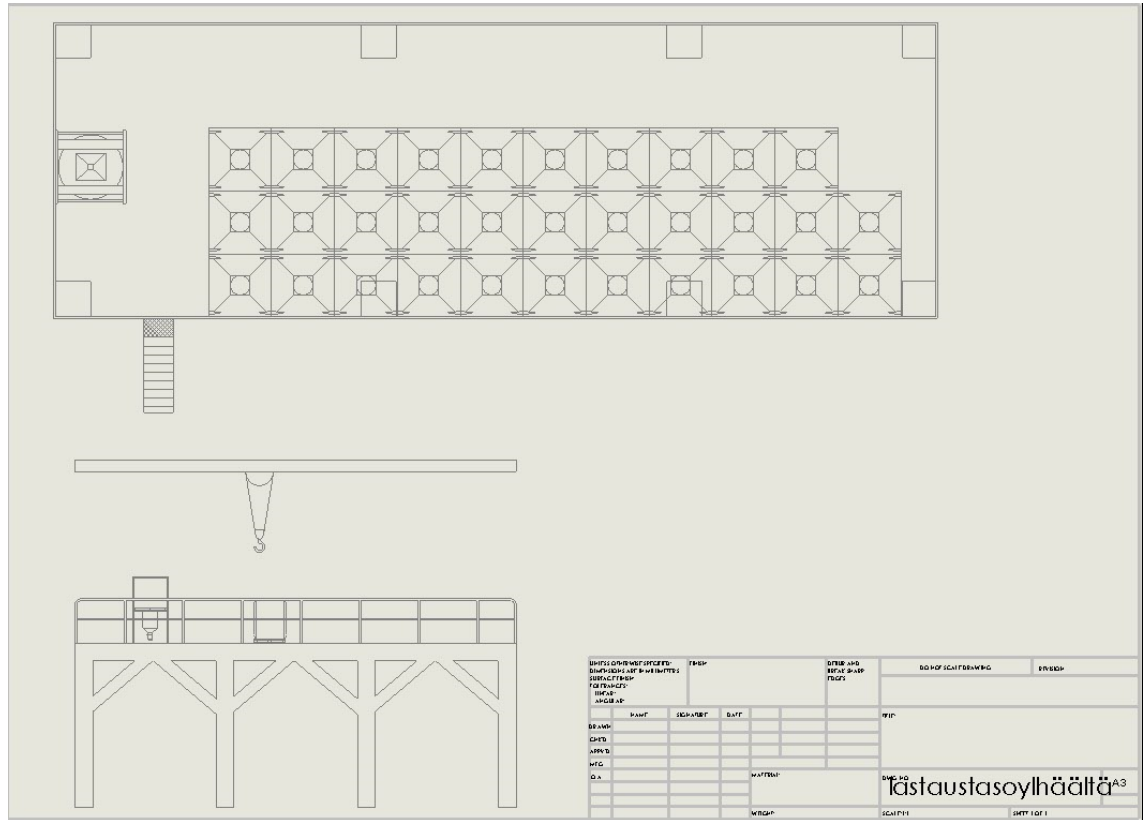
Kuvio 2. Mobiililastauksen kustannusten jakautuminen.

Kuviosta 2 nähdään, että suurin kustannus mobiililastauksessa on tuotteen hinta. Tuotteen hinta koko prosessissa on 89 % tai 92 % riippuen lastattavasta tuotteesta. Kustannukset, joihin pystytään vaikuttamaan, ovat hyvin pieni osa lastausprosessissa. Niiden osuus koko prosessissa on vain 7-10 %. Tästä johtuen investoinnin hinta ei saisi olla kovin korkea, tai siitä tulee kannattamaton.

Laskettaessa yksinkertainen takaisinmaksuaika saatiin tulokseksi 6,7 vuotta, joka on yleisesti koneelle liian pitkä takaisinmaksuaika.

### 4.3 Lastaus tason päältä

Tämä menetelmä on hyvin samanlainen kuin nykyinen, mutta projektin vaatimukset huomioon ottaen paranneltu.



Kuva 8. Layout-kuva lastaustasosta.

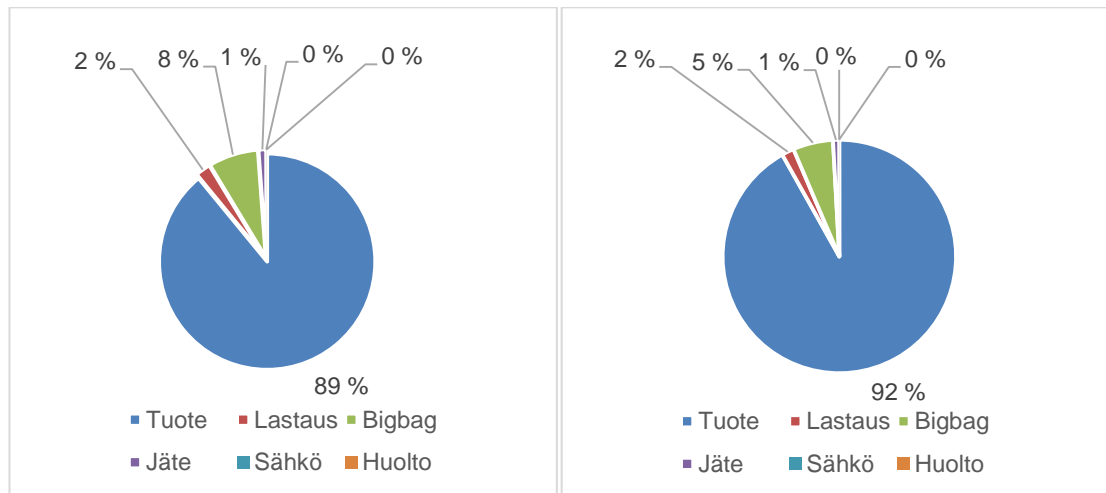
Kuvasta 7 nähdään lastaustason toimintaperiaate yksinkertaistettuna. Taso on niin korkea, että sen alitse voidaan ajaa säiliöautolla. Tason päällä on säkinpurkuasema ja riittävästi tilaa, että sinne voidaan nostaa yhden säiliöautollisen verran suursäkkejä. Suursäkkien liikuttelu tapahtuu kattoon kiinnitetyllä siltanosturilla.

Pölynpoisto on suunniteltu säkinpurkuasemaan tulevalla pölysuodattimella, joka imee pölyn sekä säkinpurkuaseman purkupisteestä, että auton täyttöluukkuun kiinnittyvästä lastauspalkeesta. Vaihtoehtoisesti pölynpoisto voidaan suorittaa tehtaan omalla pölynsuodatinyksiköllä.



Lastaustasoa varten olisi rakennettava myös uusi halli, jonka suojassa lastaus voidaan suorittaa. Tästä ei tarjouta haettu vielä tässä vaiheessa vaan kustannusarvio perustettiin edellisten hallien rakennuskustannuksiin.

Rahallista säästöä saataisiin vähentyneistä työvoimakustannuksista. Uusia kustannuksia tulisi nosturin huollosta ja tarkistuksista ja pölysuodattimen huollosta.



Kuvio 3. Lastaustason kustannusten jakautuminen.

Kuviosta 3 voidaan todeta, että suurin kustannus on tuotteen hinta. Tuotteen osuus prosessin kokonaiskustannuksista on 89 % - 92 % riippuen lastattavasta tuotteesta. Kustannukset, joihin pystytään vaikuttamaan, ovat erittäin pieni osa vain 8 % - 11 %. Kustannusten jakautumisesta johtuen säästöt ovat hyvin pieniä, joten investoinnin kokonaishinnan tulisi olla matala, tai investoinnista tulee kannattamaton.

Laskettaessa yksinkertainen takaisinmaksuaika saatiin tulokseksi 4,7 vuotta.

#### 4.4 Lastaussiilo

Lastaussiilon rakentaminen on vaihtoehtoista kallein, mutta samalla myös tehokkain. Siilo luo lastaukseen uusia mahdollisuuksia, jotka muilla lastausmalleilla eivät ole mahdollisia. Suurimpana etuna voidaankin pitää sitä, että siilo mahdollistaisi lastauksen ympäri vuorokauden, sillä erillistä henkilökuntaa ei lasta-

uksen aikana tarvita. Lastaussiilon avulla pystytään myös takaamaan lähes täydellinen pölyttömyys.

Järjestelmä haluttiin sellaiseksi, että siiloa voidaan täyttää sekä suoraan tuotannosta, että suursäkeistä säkinpurkuaseman kautta. Tämä siksi, että tehtaalla valmistetaan yhdellä myllyllä useampaa tuotetta, joten välttämättä ei säiliöautoon menevä tuote ole juuri sillä hetkellä tuotannossa. Tehtaalla on kaksi dense phase -siirrintä tuotannon kahdessa eri vaiheessa, eli uusia siirtimiä ei tarvita siilon täyttöä varten.

#### 4.4.1 Koparin tarjous

Kopar on suomalainen yritys, joka on keskittynyt tarjoamaan kokonaisvaltaisia ratkaisuja bulk-materiaalien siirtoon ja säilöntään.

Koparin lähettämä tarjous sisälsi neljä kohtaa. Näiden lisäksi tarjouksessa oli laitteiston mekaanista asennusta sekä sähkö- ja automaatio suunnittelua, jotka hoidettaisiin kuitenkin talon omalla henkilökunnalla.

Pos.	Kuvaus	Toimitusaika	Määrä	Mittayks.
1	RST-siilo 100m <sup>3</sup> -kartion kärkikulma 40 astetta -purkaukseen tärypohja TP-1200 ja kartion fluidisointi -sylinterin vaippa ja katto eristetty -eristetty ovellinen alahuone -suodatin imurilla, EMJET 27 -tikas nousu siilon katolle, 1 levähdistaso -punnitus, tarkkuus 0,5% -yläpintaraja -tukirakenteet maatasoon saakka (ei perustuksia)		1,00	kpl
2	Siilon purkauslaitteisto -lastauspalje -laskeportaat auton katolle -käsiventtiili -sulkusyötin, moottori noin 1,5kW, kapasiteetti noin 75m <sup>3</sup> /h -taajuusmuuttajakäyttö		1,00	kpl
3	RST-säkinpurkuasema -suodatin imurilla -ylä- ja alapintarajat -fluidisointi -sulkusyötin, moottori noin 1kW, kapasiteetti noin 40m <sup>3</sup> /h -taajuusmuuttajakäyttö -hoitotaso -tuenta maatasoon saakka (ei perustuksia) -1250kg nosturi suursäkille, sis. käyttöönottokäyttö		1,00	kpl
4	RST-putkistot -DN100 putkistoa noin 50 metriä (sis. käyrät) -DN120 putkistoa noin 50 metriä (sis. käyrät) -kannakointi -automaattiventtiilit		1,00	kpl

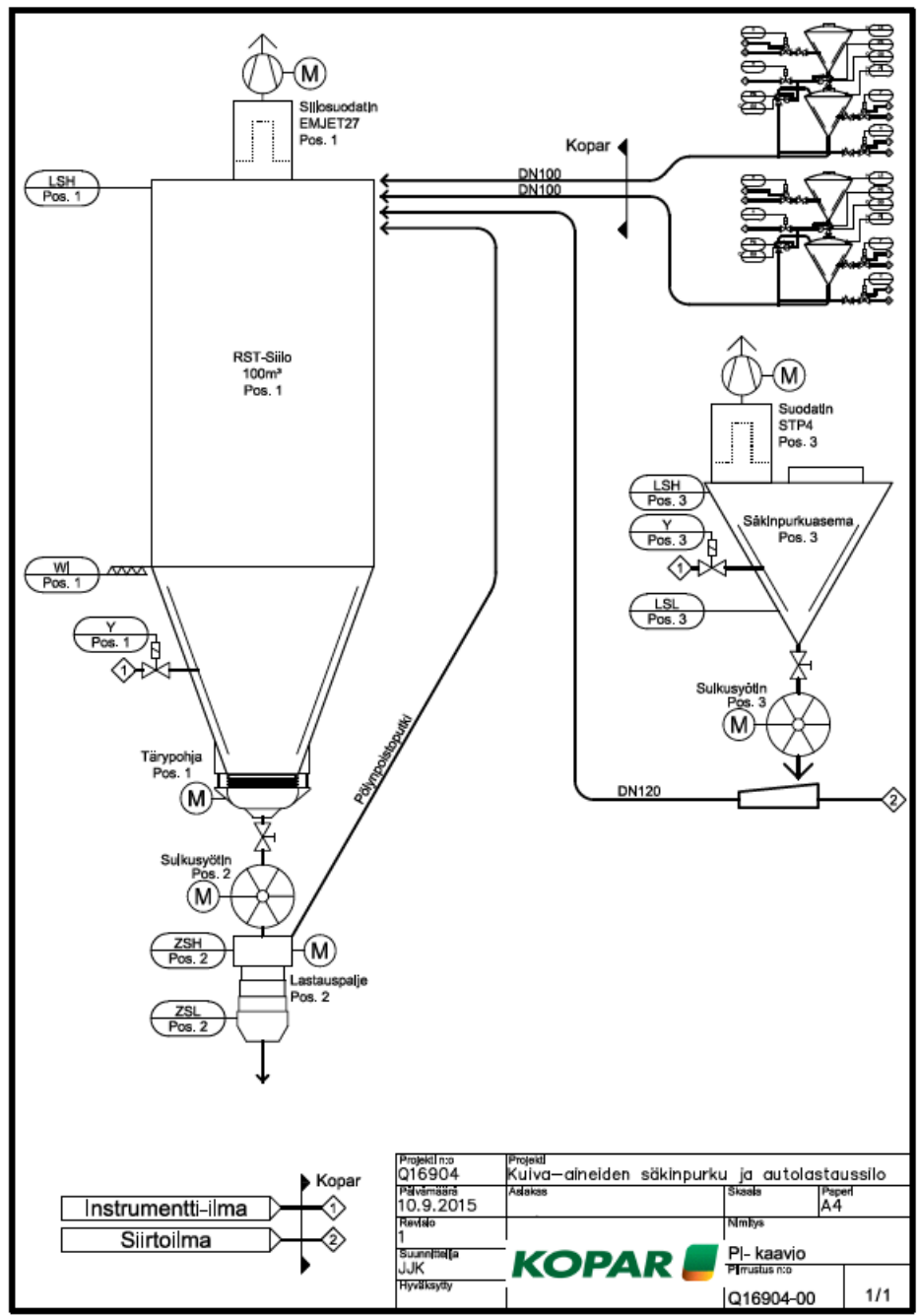
Kuva 9. Ote Koparin tarjouksesta.

Lastaussiilon kooksi haluttiin 100m<sup>3</sup>, jotta sinne mahtuisi kaksi säiliöautollista. Materiaaliksi haluttiin kulutusta ja korroosiota kestävä ruostumaton teräs. Tämä oli tärkeä asia etenkin kun tehdas sijaitsee meren äärellä ja siilo joutuu alttiiksi muuttuville sääolosuhteille. Siiloon kartio on hyvin jyrkkä, 40° ja siilossa on sekä tärypohja, että fluidisointi kartiossa takaamassa siilon tyhjenemisen. Siilon monitorointia varten siilossa on yläraja ja vaaka, jonka avulla siilon täyttöastetta tarkkaillaan. Pölynpoistoa varten siilolla on oma siilosuodatin.

Siilon purku autoon tapahtuu sähkötoimisen lastauspalkeen kautta. Palje laskeaan säiliöauton täyttöluukkuun ja se tiivistyy luukun ympärille paineilmapalkeella. Tuotevirtaa säädellään sulkusyöttimellä eli kiertuventtiilillä. Lastauksen aikana syntyvä pöly kiertää lastauspalkeeseen kiinnitettyä pölynpoistoputkea pitkin takaisin siiloon.

Säkinpurkuasema on valmistettu myös ruostumattomasta teräksestä. Säkinpurkuasema jossa on oma nosturi suursäkin käsittelyä varten. Purkuaseman kartio on fluidisoitu tyhjenemistä varten. Purkuaseman alla on sulkusyötin, joka kontrolloi tuotteen virtaa putkistoon ja estää, että putki ei tulvi täyteen. Sulkusyöttimen ohjausta varten purkuaseman kartiossa on sekä ylä-, että alaraja-anturit.

Tarjous sisälsi riittävästi ruostumatonta teräsputkea mutkaosineen, jotta kaikki uudet linjat saadaan rakennettua ja tietysti rakenteet siloa ja säkinpurkuasemaa varten.



Kuva 10. PI-kaavio lastaussiilosta.

Kuvasta 7 käy ilmi jauheiden siirto siilon sekä tuotannon kahdesta eri vaiheesta, että erillisen säkinpurkuaseman kautta. Kaaviosta voidaan myös lukea sekä paineilman, että pölynpoiston kulkusuunnat.

#### 4.4.2 Lastaussiilon säästöt ja kustannukset

Rakentamalla siilo lastausta varten pystytään vaikuttamaan kaikkiin prosessin kustannuksiin.

Säästöt siilon avulla ovat kaikista malleista selvästi suurimmat. Säästöjen täydellinen arviointi hyvin vaikeaa, sillä ne ovat riippuvaisia niin monista asioista. Säästöt riippuvat hyvin paljon muun muassa siitä, kuinka suuri osa kuormista saadaan ajettua suoraan tuotannosta siiloon ja kuinka monta kuormaa joudutaan ajamaan säkinpurkuaseman kautta.

Henkilöstökustannukset tässä tapauksessa voidaan kuitenkin laskea olemattomaksi, sillä vuorossa oleva työntekijä pystyy täyttämään lastaussiiloa muun työn ohessa.

Investoinnin korkeasta hinnasta johtuen, laskettaessa yksinkertainen takaisinmaksuaika tulokseksi saatiin 4,8 vuotta. Tämä siis parhaassakin tapauksessa, että kaikki kuormat saataisiin ajettua suoraan tuotannosta lastaussiiloon.

## 5 YHTEENVETO

Investointien kokonaishinnat nousivat kaikissa tapauksissa hyvin korkeiksi, säästöjen jäädessä, etenkin nykyisillä lastausmäärillä hyvin minimaalisiksi. Ratkaisuna mietittiin muun muassa ulkoisten tuotteiden lastausta. Tätä ei kuitenkaan työssä huomioitu, koska nämä olivat vain mahdollisuuksia eivätkä välttämättä toteudu.

Takaisinmaksuajat kaikissa tapauksissa olivat reilusti yli kohdeyrityksen sisäisen rajan. Tästä syystä rahoitusta investointiin haettiin nimikkeellä ”pakollinen investointi” ja vedottiin nykyisen lastauksen epäkohtiin työturvallisuuden ja ympäristötekijöiden osalta. Rahoitusta päädyttiin hakemaan uutta lastaussiiloa varten sen monipuolisten mahdollisuuksien takia. Oma osuuteni työssä päättyi rahoitushakemuksen valmiiksi saamisen jälkeen.

Omasta näkökulmasta työ oli hyvin opettavainen. Työssä joutui tutustumaan aihealueisiin, jotka eivät itselle olleet kovin tuttuja. Työhöni kuului yhteydenpitoa eri yrityksiin tarjousten osalta ja kommunikointia kohdeyrityksen johdon kanssa. Sain vapauden toimia työssä melko itsenäisesti, joten minuun luotettiin. Tästä sain henkilökohtaisesti eniten oppia, sillä opinnäytetyöni oli työelämälähtöinen. Teknistoloudelliset laskelmat ja kokonaisten investointien suunnitteleminen olivat pääasiallisena tavoitteena. Ne onnistuivat hyvin, ja toimeksiantaja sai konkreettista hyötyä työstäni. Tästä heidän on helppo lähteä kehittämään toimintaansa.

## LÄHTEET

Colijn, H. 1987. Achieving high reliability from gravity flow hoppers and bins and pneumatic conveying systems. National material handling forum.

Elsevier Science B. V 2001. Handbook of Conveying and Handling of Particulate Solids. Netherlands: Elsevier Science B. V.

Food and Agriculture Organization of the United Nations 2004. Chemical and Technical Assessment. Polyvinyl Alcohol. [Viitattu 16.9.2015] <http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/61/PVA.pdf>

Indiamart 2016 [Viitattu 13.11.2016] <http://www.indiamart.com/ace-engineering-parts/products.html>

McGlinchey, Don. 2008. Bulk Solids Handling, Equipment Selection and Operation. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.

Mills, D. 2004. Pneumatic Conveying Design Guide. London: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Ortega-Rivas, Enrique. 2012. Unit Operations of Particulate Solids, Theory and Practice. New York: CRC Press.

The Japan Institute of Metals 2009. Characteristics of the Treated Ground Calcium Carbonate Powder with Stearic Acid Using the Dry Process Coating System. [Viitattu 15.9.2015] <https://www.jim.or.jp/journal/e/pdf3/50/02/409.pdf>

Wypuch, P.W. 1989. Pneumatic conveying of bulk solids.