

Santtu Härkönen

# Ferrokromitehtaan palarikasteen käsittely ja sen pölynpoiston kehittäminen



Insinööri (AMK)  
Kone- ja tuotanto-  
tekniikka

Kevät 2016



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## TIIVISTELMÄ

**Tekijä:** Härkönen Santtu

**Työn nimi:** Ferrokromitehtaan palarikasteen käsittely ja sen pölynpoiston kehittäminen

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka

**Asiasanat:** Palarikaste, rikaste, pöly, pölynpoisto, ferrokromi, kromi

Opinnäytetyö suoritettiin Outokumpu Chrome Oy:lle. Ferrokromitehtaalla raaka-aineena käytetyt palarikaste ja hienorikaste ovat erittäin pölyävää materiaalia ja aiheuttavat työhygieenisiä ja hävikkiongelmia. Käytössä olevat pölynpoistolaitteet ovat puutteellisia tai eivät toimi tehokkaasti. Rikastepölyn terveydelliset haitat ovat korostuneet vuoden 2015 aikana, kun Kemian kaivoksella on aloitettu louhimaan kuitupitoista malmiota. Kaivokselta toimitetun rikasteen mukana tulee tällöin väistämättä kuituja, jotka pääsevät pölyn mukana leviämään.

Työn tarkoituksena oli ottaa tarkasteluun ferrokromitehtaan VKU1:n palarikasteen käsittelyketju ja selvittää siitä pölynpoistoratkaisujen kehittämisen kannalta olennaisia tekijöitä. Selvitettäviä asioita olivat pölyn määrä, pölyn koostumus ja raekoko, pölyämiseen vaikuttavat tekijät, käytössä olevat pölynpoistolaitteistot ja palarikasteen käsittelylaitteistot ja -määrät. Työhön kuului myös selvitysten pohjalta valita kohde, jota kehittämällä saataisiin eniten vähennettyä pölyämistä. Valittuun kohteeseen kuului ideoida teoreettisia ratkaisuehdotuksia.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitettyä halutut tiedot ja muutamia teorian tasoisia ratkaisuja purkuaseman pölynpoiston kehittämiseksi. Aiemmin mainittujen selvitettävien tietojen lisäksi saatiin selville palarikasteen pudotusmatkat. Ratkaisuissa ehdotettiin purkuasemien sulkemista ovilla ja käsiteltiin kyseiselle alueelle sopivia suodatin- ja pölynsidontavaihtoehtoja. Opinnäytetyötä voidaan käyttää tarjoamaan pohjatietoa pölynpoistojärjestelmien suunnittelijoille, jolloin heillä olisi kattava käsitys nykytilanteesta ja aikaa säästyisi pohjatietojen keräämisessä. Ratkaisujen perusteella voidaan pohtia parhaita menetelmiä pölynpoiston kehittämiseksi ja niitä voidaan soveltaa muihin palarikasteen käsittelyketjuihin.

## ABSTRACT

**Author:** Härkönen Santtu

**Title of the Publication:** Handling of lumpy ore at the ferrochrome plant and developing its dust removal

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical and Production Engineering

**Keywords:** Lumpy ore, ore, dust, dust removal, ferrochrome, chrome

This thesis was made for Outokumpu Chrome Oy. The lumpy ore and fine ore used as raw material at the ferrochrome plant are highly dusty materials and cause hygiene and wastage problems. Current dust collectors are insufficient or don't work properly. The health issues caused by ore dust have been highlighted during year 2016, when they started to extract ore containing fibers at Kemi mine. It is inevitable, then, that the ore delivered from the mine contains fibers which get to spread with the dust.

The goal of this thesis was to take one lumpy ore handling chain at the ferrochrome plant under closer inspection and find out the essential factors needed in order to develop dust removal solutions. The factors were the amount of dust, composition and grain size of dust and factors affecting the formation of dust. The current dust collectors in use and the handling machinery were also included as well as the amount of raw material handled. Based on this information an object would be chosen, whose development would reduce the dust most. Theoretical solutions would be offered for the particular object.

As a result of the thesis, the needed information was gathered and several theoretical solutions were introduced for developing dust removal in the unloading area. In addition to the factors mentioned before lumpy ore's falling distances were found out. Proposed solutions included alternative filters and dust binding techniques that could work in the unloading area as well as closing the area with doors. This thesis could be used to offer the base information needed by designers of dust removal systems so that they would have a clear picture of the present situation and time could be spared from gathering the base information. The best methods for developing dust removal can be researched on the basis of theoretical solutions and they can be suited for use in other lumpy ore handling sequences.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 YRITYS .....	2
2.1 Outokumpu Oyj .....	2
2.2 Outokumpu Chrome Oy .....	3
2.3 Ferrokromi.....	3
2.3.1 Tuotantoprosessi.....	4
2.3.2 Tuotteet .....	5
3 PALARIKASTEEN KÄSITTELY.....	7
3.1 Palarikaste .....	7
3.2 Muut raaka-aineet .....	8
3.2.1 Koksi .....	8
3.2.2 Kvartsi .....	9
3.2.3 Hienorikaste .....	9
3.2.4 Bentoniitti .....	10
3.3 Käsittelylaitteisto.....	10
3.3.1 Hihnakuuljettimet.....	10
3.3.2 Tärysyöttimet.....	11
3.3.3 Koirakuuljetin.....	11
3.3.4 Siilot .....	12
3.3.5 VKU1:n laitteisto.....	12
4 PÖLYNPOISTO.....	16
4.1 Pöly .....	16
4.2 Pölynpoistolaitteet .....	18
4.2.1 Syklonit.....	19
4.2.2 Kuitusuodattimet .....	19
4.2.3 Sähkösuodattimet .....	20
4.2.4 Märkäerottimet .....	20
4.2.5 Puhaltimet .....	21
4.2.6 Putkisto .....	21
4.2.7 Huuvat ja koteloinnit.....	22

4.2.8 Korvausilma .....	23
5 PÖLYÄMISKOHTEIDEN SELVITYS .....	24
5.1 Pölyämiseen vaikuttavat tekijät .....	24
5.1.1 Käytössä oleva laitteisto .....	25
5.1.2 Putoamismatkat .....	25
5.1.3 Käsittelymäärät .....	27
5.2 Pölyn koostumus .....	28
5.2.1 Raekokojakauma .....	30
5.2.2 Koostumusanalyysi .....	31
5.3 Pölymäärien selvittäminen .....	31
5.4 Tulosten tarkastelu .....	32
5.4.1 Raekokojakauman tulokset .....	32
5.4.2 Koostumusanalyysin tulokset .....	34
5.4.3 Pölymäärät .....	34
6 PARANNETTAVAN KOHTEEN VALINTA .....	36
6.1 Purkuasema .....	37
6.2 Ratkaisuehdotukset .....	38
6.2.1 Rajoitukset .....	38
6.2.2 Purkuaseman sulkeminen .....	39
6.2.3 Märkäerottimet .....	39
6.2.4 Sähkösuodattimet .....	40
6.2.5 Pölynsidonta .....	40
7 YHTEENVETO .....	41
LÄHTEET .....	43
LIITTEET	

## SYMBOLILUETTELO

C/C fix	Hiili
Cr2O3	Kromioksidi
EKU	Esikumennusuuni
FeCr	Ferrokromi
HK	Hihnakuuljetin
OKTO	Outokumpu Tornio
PR	Palarikaste
SiO2	Piidioksidi
VKU	Valokaariuuni

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Outokumpu Chrome Oy. Toimeksiannon aiheen tarkensi kehityspäällikkö Aale Grekula. Opinnäytetyön aiheena oli ferrokromitehtaan palarikasteen käsittelyketjun pölynpoiston kehittäminen.

Ferrokromitehtaalla raaka-aineina käytetyistä pala- ja hienorikasteista syntyy runsaasti pölyjä, jotka ovat haitallisia terveydelle ja työympäristön viihtyisyydelle. Lisäksi palarikaste sisältää pieniä määriä asbestia ja kuitumaisia aineita. Käytössä olevien pölynpoistojärjestelmien toiminnoissa on puutteita ja joiltain työalueilta ne puuttuvat kokonaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pölynpoiston suunnitteluun tarvittavat pohjatiedot ja tarjota omia teorian tasoisia ratkaisuja. Työ siis toimii pohjustuksena pölynpoiston suunnittelijoille, joilta säästyy aikaa tarvittavien perustietojen selvittämisessä. Opinnäytetyön kohteeksi rajattiin VKU1:n palarikasteen käsittelyketju, kuitenkin ratkaisuja pohdittaessa otetaan huomioon niiden soveltuvuus muille käsittelyketjuille.

## 2 YRITYS

### 2.1 Outokumpu Oyj

Outokumpu Oyj on Suomessa perustettu monikansallinen metalliteollisuuden konserni, joka on 2,6 miljoonan tonnin kylmävalssauskapasiteetillaan johtavin toimija ruostumattoman teräksen markkinoilla maailmassa. Konserni valmistaa ruostumatonta terästä useissa eri maissa, muun muassa Suomessa, Ruotsissa, Yhdysvalloissa ja Saksassa. Outokummun liikevaihto oli 6 844 miljoonaa euroa vuonna 2014, ja yritys toimitti ruostumatonta terästä yhteensä 2 554 000 tonnia. Konserni työllistää 30 eri maassa yli 12 000 työntekijää, joista Suomessa noin 2400. (1.)

Outokumpu sai alkunsa 1910-luvulla perustetusta Outokummun kuparikaivoksesta. Alkuun valtion ja yksityisten tahojen omistama yritys muuttui myöhemmin kokonaan valtionyhtiöksi. 1932 Outokummusta tehtiin osakeyhtiö, joskin Suomen valtiolla oli yhä osake-enemmistö yrityksestä. Outokummun kuparikaivos ja sen kuparin kuparijalostusketju oli tuona aikana yksi Euroopan merkittävimmistä kuparin tuottajista. 1950- ja 1960-luvuilla Outokumpu laajensi tuotantoaan muiden metallien pariin ja avasi uusia kaivoksia. Näistä kenties merkittävin on Kemin kromikaivos, joka mahdollisti kromimalmin jalostamisen ferrokromiksi ja sitä kautta mahdollisuuden ruostumattoman teräksen valmistukseen. Kemin kaivos avattiin 1968, samana vuonna kuin Tornioon perustettu ferrokromitehdas. Vuosien kuluessa ferrokromitehtaan yhteyteen perustettiin terässulatto ja myöhemmin kuuma- ja kylmävalssaamot, luoden täysin integroidun ruostumattoman teräksen tuotantoketjun. Vuonna 1988 Outokummusta tuli pörssiyritys sen listauduttua Helsingin pörssiin, ja vuonna 1994 Suomen valtio luopui määräysvallasta yhtiössä. Valtio on kuitenkin Outokummun suurin osakkeenomistaja Solidiumin kautta. (2.)



## 2.2 Outokumpu Chrome Oy

Outokumpu Chrome Oy on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiö, joka omistaa Kemin kromikaivoksen sekä Torniossa sijaitsevan ferrokromitehtaan. Kaivoksen vuosittainen malmintuotanto on noin 2,4 miljoonaa tonnia. Todennettuja malmivarantoja on noin 50 miljoonaa tonnia, joiden lisäksi on vielä tutkimattomia mineraalivaroja 98 miljoonaa tonnia. Kromirikaste käytetään Torniossa ferrokromin valmistukseen. (3.)

Ferrokromitehtaalla käytetään valmistuksessa sähkökäyttöisiä valokaariuunia. Valokaariuuneja (VKU) on käytössä kolme kappaletta, joiden tuotantokapasiteetit vaihtelevat. VKU1 on vanhin uuneista, ja se on ollut käytössä tehtaan perustamisesta lähtien. VKU2 on tuotantokapasiteetiltaan hieman suurempi kuin VKU1, ja se otettiin käyttöön 1980-luvulla. Uusin ja suurin uuni, VKU3, otettiin käyttöön 2010-luvulla, jonka myötä ferrokromin tuotanto kaksinkertaistui. Tehtaan tuotantokapasiteetti on noin 530 000 tonnia ferrokromia vuodessa. Ferrokromia toimitetaan Outokummun omalle terässulatolle Torniossa, Outokummun muille tehtaille ympäri maailmaa sekä konsernin ulkopuolisille asiakkaille. Ferrokromitehdas on osa Tornion tehtaiden ruostumattoman teräksen täysin integroitua tuotantoketjua.

## 2.3 Ferrokromi

Ferrokromi on raudasta ja kromista muodostuva metalliseos, jota käytetään ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Seos sisältää yleensä 45–80 % kromia, vaihtelevia määriä rautaa, hiiltä sekä muita aineita. Kromia käyttämällä teräksestä voidaan tehdä ruosteenkestävää. Teräkseen sekoitettu kromi reagoi hapen kanssa, luoden teräksen pinnalle suojakalvon eli passiivikalvon. Kalvo suojaa terästä korroosiolta, ja se korjaa itse kaikki pintaan tulleet naarmut ja rikkoutumat. (4.), (5.)

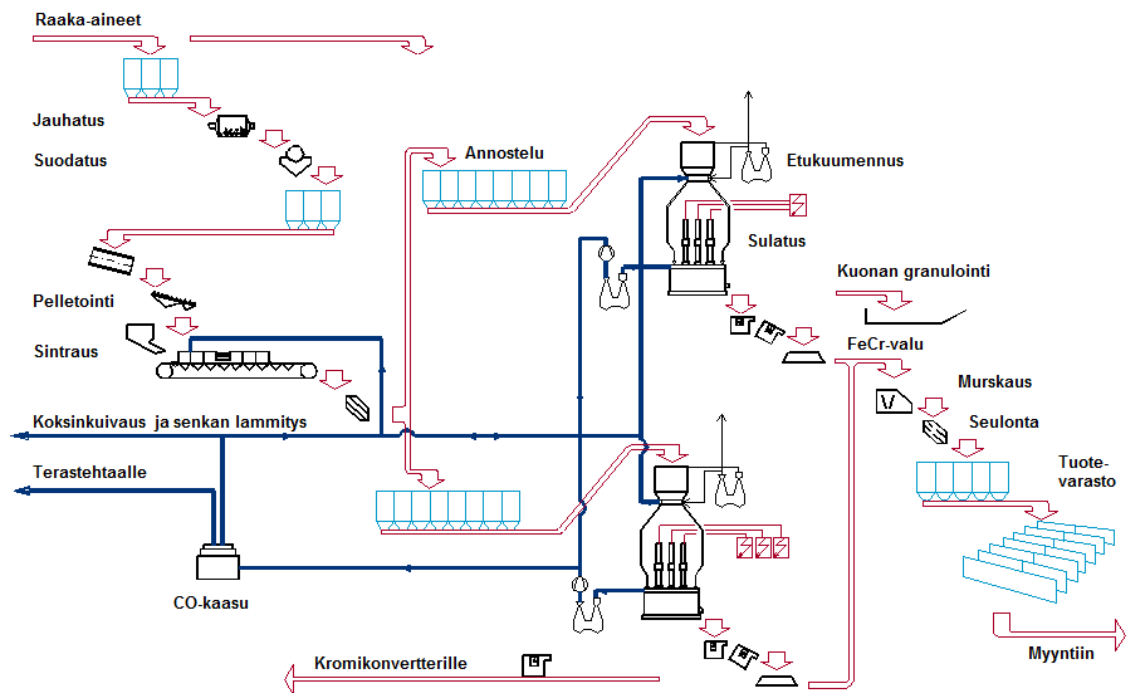
### 2.3.1 Tuotantoprosessi

Ferrokromin valmistuksessa käytetyt tärkeimmät raaka-aineet ovat palarikaste, pelletti, koksi ja kvartsi. Pelletit valmistetaan Kemin kaivoksen tuottamasta 0,2 mm kokoluokan hienorikasteesta, joka ferrokromitehtaalla pelletoidaan ja sintrataan. Prosessissa käytetään bentoniittia sidosaineena ja koksipölyä energialähteenä.

Tuotantoprosessin alkuvaiheessa osa raaka-aineista käy läpi erillisen prosessin ennen syöttöä valokaariuuneille. Koksi esimerkiksi voi usein olla hyvinkin kosteaa, joten koksinkäsittelyasemalla se kuivatetaan haluttuun kosteusarvoon. Sintraamoilla hienorikaste jauhetaan vielä hienommaksi, jonka jälkeen se pelletoidaan ja sintrataan. Palarikaste, pelletti, koksi ja kvartsi kuljetetaan erillisille annosteluasemille, joissa raaka-aineet varastoidaan siiloihin. Raaka-aineet syötetään panoksina esikuumennusuunille. Panokset kerätään niin sanottuina sandwich-annoksina, eli raaka-aineet tyhjennetään käynnissä olevalle hihnakuljettimelle kerroksittain. Menetelmällä saadaan raaka-aineet hyvin sekoitettua. Esikuumennusuunilla materiaaleja kuumennetaan ennen lopullista syöttöä valokaariuunille. Valokaariuunissa rikaste pelkistetään kaksin avulla ja kvartsi mahdollistaa kuonan muodostamisen. Sula ferrokromi valutetaan senkkoihin, joiden pinnalle kuona kerääntyy. Kuona erotetaan ferrokromista kaatamalla tai laappaamalla ja annetaan sen jäähtyä.

Sula ferrokromi toimitetaan joko sellaisenaan terässulatolle tai se kaadetaan maahan kaivettuihin valuojiin. Valuojissa ferrokromin annetaan jäähtyä noin pari tuntia, jolloin se on tarpeeksi kiinteää nostettavaksi. Pyöräkone nostaa kiinteytyneen ferrokromin valuojista ja siirtää ne jäähdytyslaareihin. Laareissa ferrokromin annetaan jäähtyä ulkoilmassa alkuperäisestä noin 1500 asteen lämpötilasta alle 50 celsiusasteen lämpöiseksi. Tässä kestää säästä ja kasaustavasta riippuen yhdestä vuorokaudesta kolmeen vuorokauteen. Ferrokromin jäähtyttyä tarpeeksi pyöräkone syöttää sen murskaamolle, jossa se murskataan ja seulotaan. Murskausprosessilla ferrokromi saadaan logistiikalle ja

tuotantolaitoksille helpommin käsiteltävään muotoon. Seulonnalla ferrokromi jaotellaan kolmeen eri raekokoon: 0–10 mm, 10–50 mm ja 50–80 mm kokoluokat. Murske jaotellaan raekoon perusteella eri tuotelaareihin, joista ne kerätään toimitettavaksi asiakkaille. Kuvassa 1 on tuotantokaavio ferrokromin valmistuksesta. (4.)



Kuva 1. Ferrokromin tuotantokaavio (6.)

### 2.3.2 Tuotteet

Outokumpu Chrome myy pääasiallisesti ferrokromia kolmessa eri raekoossa. Näitä ovat 0–10 mm finestuote ja 10–50 mm ja 10–80 mm palatuotteet. Lisäksi myydään myös muita sivutuotteista jalostettuja tuotteita. Muun muassa talteenotettu kuona hyödynnetään. Kuona jatkokäsitellään, jolloin siitä saadaan vielä erotettua ferrokromia terässulattoa varten. Itse kuonasta valmistetaan

OKTO-eristettä ja -murskettä, joka myydään tie- ja rakennusteollisuuden käyttöön. Kuvassa 1 on ferrokromituotteita. (7.)



Kuva 1. Ferrokromituotteet (7.)

Ferrokromin valmistusprosessissa syntyy hyvin suuria määriä häkää. Häkää voidaan polttaa pois, mutta sitä myös myydään energianlähteeksi terässulatolle ja kuumavalssaamolle. Käytännöllä on tehokkaasti saatu hyödynnettyä prosessin sivutuotetta.

### 3 PALARIKASTEEN KÄSITTELY

Ferrokromitehtaalla on kolme erillistä palarikasteen käsittelyketjua, yksi jokaiselle uunille. Periaate niissä on kaikissa sama, joskin laitteisto ja layout ei ole yhteneväinen. Kokoluokka myös luonnollisesti vaihtelee. Käsittelyketjun alussa kaivokselta saapuva kuorma-auto tyhjentää kuljettamansa palarikasteen purkuasemalle, josta se tärykuljettimilla syötetään hihnakuljettimille ja niillä annosteluasemien silloihin. Silloista palarikastetta annostellaan uunille haluttu määrä. Tärysyöttimien yhteydessä on vaa'at, joiden avulla saadaan annostelun suuruutta säädettyä. Annosteluasemilla käsitellään myös pellettiä, koksia ja kvartsia. Annostelun jälkeen kaikki raaka-aineet kulkevat samalla hihnakuljettimella jakolaitteelle, joka jaottelee ne haluttuun EKU:n syöttösiilon. EKU:lle syötön jälkeen alkaa ferrokromin valmistusprosessi.

#### 3.1 Palarikaste

Kemin kaivoksella tuotetun palarikasteen rikastusmenetelmänä käytetään upotus-kellutusmenetelmää. Se perustuu murskatun ja seulotun malmin tiheyseroihin, eikä rikastuksessa käytetä kemikaaleja. Palarikasteen laatutavoitteena on 35,7 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-pitoisuus ja tavoiteltu raekoko on 12–100 mm, vuosituotannon ollessa noin 200 000 tonnia. Palarikasteen eroja hienorikasteeseen ovat muun muassa 10 prosenttiyksikköä pienempi Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-pitoisuus ja korkeampi MgO- sekä SiO<sub>2</sub>-pitoisuus. Palarikaste sisältää ajoittain kuitumaisia aineita, kuten tremoliittia. Tehtaalla suoritetaan säännöllisin väliajoin mittauksia haitallisten aineiden tason selvittämiseksi.

Palarikasteen kestävyys mekaanisen kulutuksen suhteen on hyvin heikko, ja se alkaa hienontua jo kuljetuksen ja käsittelyn aikana. Seurauksena syntyy pölyä, josta on työhygieenistä haittaa. Pöly muun muassa likaa paikkoja ja rikasteen sisältämät terveydelle haitalliset aineet pääsevät leviämään. (8.)

## 3.2 Muut raaka-aineet

Palarikasteen käsittelyssä osa kuljetinlaitteista on yhteisiä kaikille raaka-aineille. Uunille annosteltaessa kaikki raaka-aineet kulkevat sekaisin samoilla hihnakuljettimilla. VKU1:n annostelusiiloja täytettäessä kaikki raaka-aineet käyttävät lähes samoja hihnakuljettimia, mutta kerrallaan kuljetetaan vain yhtä materiaalia.

### 3.2.1 Koksi

Koksi on polttoainetta, joka on puhtaampaa ja lämpöarvoltaan parempaa kuin tavallinen kivihiili. Sitä valmistetaan kivihiilestä kuivatislaamalla. Valmistus tapahtuu kuumentamalla hienoksi jauhettu kivihiili 900-1200 °C:n lämpötilaan ilmassa suljetussa uunissa. Koksausprosessin aikana kivihiilestä tislautuvat haihtuvat aineet. Prosessin ollessa valmis uuni tyhjennetään koksista ja koksi sammutetaan palamisen estämiseksi. Sammutus tapahtuu märkäsammutuksena vedellä tai kuivasammutuksena typpikaasulla. Kummallakin menetelmällä sammutettua koksia käytetään ferrokromitehtaalla.

Ferrokromin valmistuksessa koksia käytetään eri oksidien pelkistimenä. Pelkistyessään koxsin sisältämä hiili siirtää metallioksidien sisältämän hapen itseensä, hapettuen hiilimonoksidiksi eli häkäksi. Samalla se pelkistää oksidit metalleiksi. Koksilta vaadittavat ominaisuudet ovat:

- korkea hiilipitoisuus
- riittävä mekaaninen lujuus iskuja ja hankausta vastaan
- alhainen tuhka-, rikki- ja fosforipitoisuus
- haihtuvien aineiden pitoisuus oltava alle 1%
- hyvä kuumalujuus. (8.)

### 3.2.2 Kvartsi

Kvartsia ( $\text{SiO}_2$ ) käytetään ferrokromin valmistuksessa fluksaavana aineena. Se tekee sulan primäärikuonasta juoksevampaa eli auttaa kuonan muodostumisessa. Lisäksi kvartsi laskee uunissa kuonan sulamispistettä. Kvartsi myös mahdollistaa pelkistysasteen saavuttamisen matalammissa lämpötiloissa kuin ilman sitä. Kvartsilta vaaditaan prosessissa seuraavia ominaisuuksia:

- tavoiteräekoko 15-80 mm
- $\text{SiO}_2$ -pitoisuus vähintään 91 %
- matalat fosfori- ja rikki-pitoisuudet. (8.)

### 3.2.3 Hienorikaste

Malmin murskauksessa syntynyt hienoaines ja palarikastuksen yhteydessä syntyneet välituotteet rikastetaan hienorikasteeksi. Materiaalit jauhetaan ja malmista erotetaan hienorikaste. Rikastusmenetelmä perustuu mineraalien ominaispainoeroihin. Laatutavoitteena hienorikasteelle on annettu 44,5 %:n  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -pitoisuus. Hienorikasteen tuotannossa käytetään alhaisemman laadun malmia kuin palarikasteessa, mutta rikastamisella saadaan sen kromipitoisuus korkeaksi. Hienorikasteen vuosituotanto on noin 700 000 tonnia. Hienorikaste ei sellaisenaan sovellu ferrokromin valmistukseen, vaan se on saatava suurempaan raekokoon. Sen vuoksi hienorikaste pelletoidaan ja sintrataan sintraamalla. Hienorikastepelletit ovat keskimäärin noin 12–13 mm kokoisia, ja ne ovat erittäin lujia sekä huokoisia. Pelletillä on seuraavat edut palarikasteeseen verrattuna:

- tasaisempi laatu ja suurempi kromikonsentraatio
- suurempi reaktiopinta-ala
- huokoinen rakenne estää prosessin aikana pellettien sähkönjohtavuuden nousun

- kestävyys kuumuutta ja mekaanista kulutusta vastaan
- kaasujen sujuva kulkeutuminen sulatusuunin syötepatjan läpi. (8.)

### 3.2.4 Bentoniitti

Pelletoinnin sidosaineena käytetään bentoniittia, joka on epäorgaanista luonnonsavea. Sen pääkomponenttina on vesipitoinen montmorilliitti, joka sisältää alumiinisilikaattia. Bentoniitilla on kyky viedä vedeltä tilaa pelletin sisimmässä kerroksissa, mahdollistaen pelletin partikkelien yhtenäisyyden ja pelletoinnin onnistumisen. Sideaineen käyttämisellä mahdollistetaan pelletoinnissa korkeakosteuksisen rikasteen käyttö. Lisäksi se parantaa märkä- ja kuivapellettien lujuutta, mahdollistaa matalampien lämpötilojen käytön sintrauksessa ja parantaa sintrattujen pellettien ominaisuuksia. (8.)

## 3.3 Käsittelylaitteisto

Opinnäytetyössä tarkasteltiin VKU1:n palarikasteen käsittelyketjua. Niiden laitteisto on pääosin samanlaista kuin VKU2:n ja VKU3:n käsittelyketjuissa, joskin niissä on joitain erilaisia ratkaisuja. Alla on esitelty teoriaa käsittelylaitteista, eritelty sulaton käsittelylaitteistot sekä kuvailtu käsittelyketjua.

### 3.3.1 Hihnakuuljettimet

Hihnakuuljettimet ovat hyvin yleisiä palarikasteen käsittelyketjussa. Hihnakuuljettimen rakenne koostuu pääasiassa hihnasta, kannatin- ja paluurullastosta, veto- ja taittorummuista, syöttösupilosta ja kiristyslaitteesta. Lisäksi hihnakuuljettiin voidaan asentaa puhdistuslaitteita vähentämään karisteen ja pölyn leviämistä ympäristöön. Näitä ovat esimerkiksi kaapivat



puhdistimet eli kaavarit, pyörivät hihnaharjat, ravistavat tai koputtavat pyörivät puhdistimet ja hihnan pesulaitteet. Palarikasteen käsittelyketjussa käytetään yleisimmin kaavareita hihnan puhdistukseen. (9.)

Pölyn leviämistä voidaan rajata eri menetelmillä. Edellä mainituilla kaavareilla puhdistetaan hihnassa kiinni oleva pöly purkusuppiloon. Tällöin pöly ei pääse varisemaan paluupuolelta lattialle niin paljoa kuin ilman kaavareita. Purkusuppilon koteloimisella saadaan rajattua materiaalin pölyämistä ennestään. Sijoittamalla suppiloon pölynpoistojärjestelmän imuaukko saadaan pöly myös kerättyä talteen. Koko hihnakuljettimen koteloimisella saadaan vähennettyä materiaalin pölyämistä. Asentamalla tiivisteet syöttösuppilon ja hihnan väliin saadaan vähennettyä sekä pölyämistä että karisteen leviämistä.

### 3.3.2 Tärysyöttimet

Tärysyöttimessä käytetään hyväksi gravitaatiota ja tärinää materiaalin siirtämisessä. Tärinä saa syöttimellä olevan materiaalin liikkeelle, jolloin se siirtyy siihen suuntaan, johon syötin on kallellaan. Ne soveltuvat parhaiten materiaalille, jolla on suurehko raekoko. Niitä käytetään yleisimmin syöttämään materiaalia kuljettimelle siilosta tai muusta varastosta. Pölyntorjunnan parantamiseksi ne voivat olla koteloituja. (10.)

### 3.3.3 Koirakuljetin

Koira- tai kippokuljetin on materiaalin vertikaaliseen siirtoon tarkoitettu kuljetin. Siinä materiaali lastataan kippoon, joka vaijereiden avulla nostetaan ylös. Yläpäässä materiaali tyhjennetään kiposta kippaamalla. Kuljettimessa on käytössä vain yksi nostokippo. Koirakuljettimen nousu on noin 45 astetta, joka mahdollistaa materiaalin kuljettamisen korkealle lyhyemmällä matkalla kuin perinteinen hihnakuljetin. Kyseessä on siis eräänlainen elevaattori.

### 3.3.4 Siilot

Siilo on massatavaran varastointiin käytetty rakennus. Se soveltuu muun muassa viljan, hiilen, puuhakkeen, ja teollisuuden raaka-aineiden varastointiin. Siilot täytetään ylhäältä päin ja tyhjennetään alaosasta. Valmistusmateriaalina voidaan käyttää erilaisia metalleja tai betonia, riippuen varastoitavan materiaalin määrästä ja ominaisuuksista. Siilo voi olla muodoltaan pyöreä tai neliskulmainen. Siiloa suunniteltaessa on ensimmäisenä otettava huomioon käsiteltävä materiaali, materiaalin määrä ja sen virtausominaisuudet. Virtausominaisuuksien avulla voidaan suunnitella siilo sellaiseksi, että siiloa tyhjennettäessä materiaali virtaa mahdollisimman jouhevasti eikä jää jumiin. Siilon alaosan muotoilulla pystytään vaikuttamaan virtauksen sujuvuuteen. (11.), (12.)

Siilon tyhjentämiseen käytetään erilaisia laitteita käsiteltävästä materiaalista riippuen. Esimerkiksi viljasiilon tyhjentämiseen voidaan käyttää ruuvikuljetinta, ja malmin tyhjentämiseen tärykuljetinta. Muunkinlaisia tyhjennysmenetelmiä on olemassa, kuten lautassyöttimiä ja apronkuljettimia. Siiloon voidaan myös yhdistää pölynpoistojärjestelmä, jotta saadaan vähennettyä materiaalin pölyämistä. (11.), (12.)

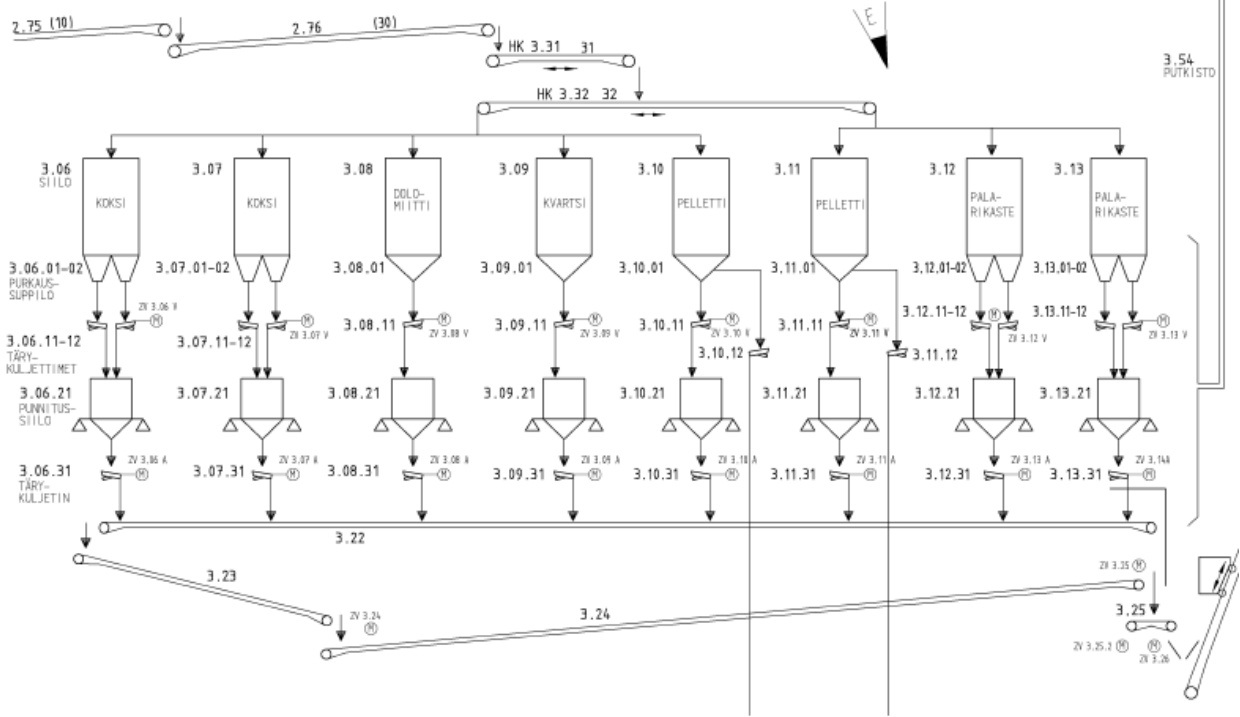
### 3.3.5 VKU1:n laitteisto

VKU1:n palarikasteet toimitetaan sen omalle erilliselle purkuasemalle (kutsutaan alaritulämontuksi), josta tärysyötin syöttää rikasteen hihnakuljettimelle. Palarikaste siirretään VKU1:n annosteluaseman yläkertaan, josta se siirretään annostelusiiloihin säilöön. Siirto tapahtuu neljällä peräkkäisellä hihnakuljettimella, joista kaikilla käsitellään palarikasteen lisäksi myös kvartsia sekä kolmella viimeisellä pellettiä. Tarvittaessa niillä saatetaan käsitellä myös muita raaka-aineita.

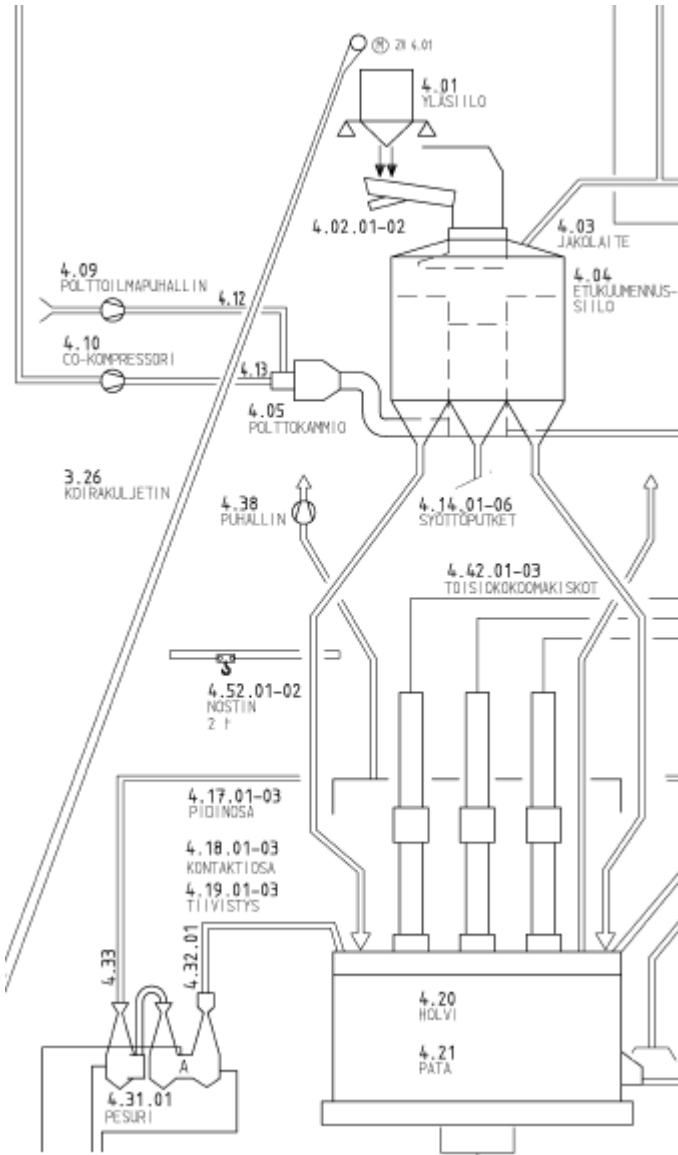
Annosteluasemalla pararikastetta syötetään tärysyöttimellä vaa'alle, jonka tärysyötin tyhjentää hihnakuljettimelle. Tämän hihnakuljettimen jälkeen on vielä kolme hihnakuljetinta, jotka siirtävät raaka-aineet kippokuljettimelle (kutsutaan tehtaalla koirakuljettimeksi), joka tyhjentyy EKU:n yläsiilolle. Yläsiilolta raaka-aineet päätyvät jakolaitteelle ja sieltä etukuumennussiilolle. Taulukossa 1 on jaoteltuna käytetty laitteisto, niiden positiot ja ovatko ne jaettuja muiden raaka-aineiden kanssa. Kuvassa 2 näkyy annosteluaseman laitekaavio ja kuvassa 3 sulaton laitekaavio, joiden avulla voidaan paremmin hahmottaa käsittelyketju.

Taulukko 1. VKU1:n pararikasteen käsittelyn laitteisto

Positio	Laite	Jaettu
2.75	Hihnakuljetin	x
2.76	Hihnakuljetin	x
3.31	Hihnakuljetin	x
3.32	Liikkuva Hihnakuljetin	x
3.12	Annostelusiilo	
3.13	Annostelusiilo	
3.12.11-12	Tärysyötin (2kpl)	
3.13.11-12	Tärysyötin (2kpl)	
3.12.21	Punnitussiilo	
3.13.21	Punnitussiilo	
3.12.31	Tärysyötin	
3.13.31	Tärysyötin	
3.22	Hihnakuljetin	x
3.23	Hihnakuljetin	x
3.24	Hihnakuljetin	x
3.25	Hihnakuljetin	x
3.26	Koirakuljetin	x
4.01	Yläsiilo	x
4.02.01-02	Tärysyötin	x
4.03	Jakolaitte	x
4.04	EKU-siilo	x



Kuva 2. VKU1:n annosteluaseman laitekaavio (6.)



Kuva 3. Sulaton laitekaavio (6.)

## 4 PÖLYNPOISTO

Teollisuusprosesseissa pölyä syntyy lähes aina. Pölystä aiheutuu terveydellisiä haittoja, joista yleisimpiä ovat hengityselinten sairaudet. Epäorgaanisista pölyistä vaarallisimpia ovat asbesti, kvartsi ja tietyt metallit. Asbesti muun muassa voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa keuhkosityövän. Metallipölyjen haitallisuus taasen vaihtelee. Jotkin metallipölyt aiheuttavat keuhkosairauksia, kun taas toiset allergista ihottumaa.

Vaikka pölystä ei olisikaan suoranaisesti terveydellistä haittaa, se vaikuttaa työpaikan yleiseen viihtyvyyteen. Pöly muun muassa likaa sekä työalueita että työvaatteita, vähentäen työviihtyvyyttä. Kunnossapidolliselta kannalta pöly voi haitata ennakoivaa laitteiden kunnan tarkastelua, kun pölykerros estää kunnollisen visuaalisen tarkastelun. Pölyn pääseminen laitteisiin voi haitata niiden kunnollista toimintaa tai kunnossapitoa. Esimerkiksi niinkin yksinkertainen asia kuin pultin avaaminen voi olla hyvin työlästä, jos sen kierteisiin on päässyt pölyä. Materiaalin käsittelyssä pöly aiheuttaa hävikkiä, sillä se voi olla hyödynnettävissä. Jos pölyä ei saada talteen, niin se on kaikki pois yrityksen tuotannosta ja tuotosta. Pölyn siivoaminen vie myös työtunteja ja maksaa rahaa. Pölynpoistolla on siis tärkeä merkitys teollisessa tuotannossa. (13.)

### 4.1 Pöly

Määritykseltään pölyksi luetaan ilmassa olevat kiinteät hiukkasepäpuhtaudet, joiden hiukkaskoko on väliltä 1–100 µm. Pölyn lisäksi on muitakin hiukkasepäpuhtauksia, jotka on hiukkaskoon ja muodostumistavan mukaan jaoteltu seuraavasti:

- pöly 1–100  $\mu\text{m}$
- savut 0,5–2  $\mu\text{m}$
- haurut 0,5–2  $\mu\text{m}$
- sumut 0,5–25  $\mu\text{m}$
- ultrapienet hiukkaset  $<0,1 \mu\text{m}$ .

Hiukkasten koko on tärkein tekijä niiden käyttäytymisessä ilmassa. Käyttäytymisen perusteella ne jaetaan kahteen kokoluokkaan: yli 2-5  $\mu\text{m}$  hiukkaset ja alle 2-5  $\mu\text{m}$  hienopölyt. Suuremmat hiukkaset laskeutuvat nopeammin maan vetovoiman vaikutuksesta, kun taas hienopöly laskeutuu hitaasti. Hienopölyä hengitettäessä ne pääsevät alveoleihin asti, kun suuret hiukkaset jäävät vain hengityselinten yläosiin. Hiukkasten muoto vaikuttaa sen terveyteen vaikuttaviin ominaisuuksiin, pölynpoiston kannalta muodolla ei ole juurikaan merkitystä. Muodoltaan partikkelit voivat olla kiteisiä, kuitumaisia tai sitten ilman minkäänlaista määrämuotoa.

Ilmassa leijuvat hiukkaset syntyvät tavanomaisesti mekaanisissa prosesseissa tai sekoituksissa. Työympäristöissä esiintyy esimerkiksi seuraavanlaisia pölyjä:

- mineraalipölyt
- metallipölyt
- kemikaalipölyt
- orgaaniset ja kasviperäiset pölyt
- home- ja siitepölyt

Pölyä muodostuu, kun kiinteä aine hajoaa, esimerkiksi murskauksessa, sahauksessa ja jauhatuksessa. Näissä mekaanisissa jauhaantumisissa pölyn muodostumiseen vaikuttaa materiaalin koostumus. Esimerkiksi mineraalit rikkoutuvat eri tavoin. Tietyntyyppisissä prosesseissa voi myös kondensoitumalla muodostua hauruja sekä kemiallisissa reaktioissa ja lämmön vaikutuksesta voi syntyä hauruja.

Toinen merkittävä pölyn lähde on materiaalin käsittely, jossa tapahtuu helposti mekaanista jauhautumista. Tätä on esimerkiksi kuorman lastaus ja purku, siirto

kuljettimella ja materiaalin annostelu. Pölyä syntyy varsinkin, kun käsittelyyn kuuluu materiaalin vapaa putoaminen. Tällöin materiaalin seassa oleva pöly leviää helpommin ympäristöön. Koostumuksesta riippuen materiaali voi pudotuksen seurauksena rikkoutua entistä pienempään partikkelikokoon, muodostaen lisää pölyä. Pudotusmatkat ovat merkittävä tekijä sekä pölyn syntymisessä että leviämässä. Materiaali pääsee yleisimmin putoamaan vapaasti materiaalia purettaessa, hihnakuljettimien risteyksissä ja purkupäissä, silloja täytettäessä sekä tyhjennettäessä. Pölyn leviämistä voidaan rajoittaa esimerkiksi koteloinnilla ja kohdepölynpoistolla. Silloissa pölynpoiston lisäksi täyttöasteen pitäminen mahdollisimman korkealla vähentää pudotusmatkaa ja täten pölyämistä. (13.), (14.)

#### 4.2 Pölynpoistolaitteet

Yleisin ilmassa olevien pölyjen poistamismenetelmä on tavallinen ilmanvaihtojärjestelmä. Teollisuusympäristössä yleisilmanvaihto ei kuitenkaan ole tarpeeksi tehokas, joten joudutaan turvautumaan kohdeilmanvaihtoon. Kohdeilmanvaihdolla perinteisesti tarkoitetaan kohdepoistoa, jossa pyritään poistamaan ilman epäpuhtaudet suoraan niiden muodostumispaikalta. Kohdepoiston imuaukko eli huuva sijoitetaan lähelle pölyämiskohdetta, jolloin pölyt lähtevät imevän ilmavirtauksen mukana pölyputkistoa pitkin. Huuva voi myös peittää eli koteloida koko kohteen, jolloin pölyn leviämistä saadaan entisestään vähennettyä. Epäpuhtaudet päätyvät puhdistuslaitteelle, joka suodattaa ilman puhtaaksi. Puhdas ilma puhalletaan ulos. Järjestelmään on kytketty puhallin, joka kehittää tarvittavan ilmavirran. (14.)

Pölynpoistojärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää tietää kohteena olevan pölyn ominaisuudet. Materiaali voi olla palo- tai räjähdysarkaa, se voi olla syövyttävää tai se voi painosta riippuen tarvita tietyn tehoisen poistoilman. Pölyn raekoko on olennainen tieto kohdepoiston imukohtia suunniteltaessa sekä työhygienian



kannalta, sillä raekoko vaikuttaa pölyn käyttäytymiseen ilmassa ja hengityselimissä.

#### 4.2.1 Syklonit

Syklonit ovat mekaanisia pölynerottimia, jotka perustuvat keskipakoisvoimaan. Pölyisen ilman pyörivä liike syklonissa saa aikaan hiukkasten ajautumisen syklonin seinämälle. Pölyhiukkaset ajautuvat syklonin pohjalle ja puhdas ilma imetään pois. Syklonin hyviä puolia on sen yksinkertaisuus, sillä siinä ei ole liikkuvia osia, pöly saadaan kuivana talteen ja sillä voidaan erottaa kaasuista nestepisaroita. Syklonilla ei kuitenkaan pystytä erottamaan tehokkaasti alle 5 µm kokoisia hiukkasia. (14.)

#### 4.2.2 Kuitusuodattimet

Kuitusuodattimissa pölyinen ilma johdetaan suodattimen läpi, jolloin pöly jää kiinni suodatinmateriaaliin. Materiaaleina voidaan käyttää kankaita, huopia tai muita ilmaa läpäiseviä materiaaleja, mahdollistaen korkean erotuskyvyn pienillekin hiukkasille. Kuitusuodattimet soveltuvat useimmille kuiville pölyille, ei kuitenkaan kuumalle pölylle tai tahmeille, kiinnitarttuville pölyille. Suodatinmateriaalista yleensä valmistetaan toisesta päästään suljettuja letkuja tai taskuja, joita sijoitetaan useita kappaleita suodatusyksikköön. Pintasuotimia täytyy ajoittain puhdistaa, jota varten on kehitelty erilaisia menetelmiä. Puhdistus voidaan suorittaa kääntämällä suodattimen ilmavirta päinvastaiseksi, mekaanisesti ravistamalla, antamalla paineilmaisku tai näiden yhdistelmillä. (14.)

#### 4.2.3 Sähkösuodattimet

Sähkösuodattimissa pölyhiukkaset varataan sähköisesti ja kerätään sähkökentän avulla. Hiukkasten varautuminen saadaan aikaan koronapurkauksella. Se syntyy korkeajännitteisen elektrodilangan ja maadoitetun levyn tai putken välille. Kaasu elektrodien välissä ionisoituu ja kaasussa olevat hiukkaset varautuvat, kun kaasuionit törmäävät niiden pintaan. Pölyhiukkasten kerääminen tapahtuu joko koronapurkaus kentässä tai sitten sähkökentän vaikutuksesta erillisessä keräysosassa, riippuen sähkösuodattimen tyypistä. Pöly voidaan irrottaa keräyslevyistä joko ravistelemalla tai pesemällä. Sähkösuodattimet ovat hyvin tehokkaita, niillä voidaan erottaa jopa yli 99 % pölystä. Sähkösuodattimet vaativat, että eroteltavat hiukkaset johtavat sähköä ainakin jonkin verran. Muutoin vaarana on suodattimen erotuskyvyn heikkeneminen. (14.)

#### 4.2.4 Märkäerottimet

Märkäerottimet perustuvat nesteen käyttämiseen pölyhiukkasten erottamiseksi kaasuvirrasta. Tavallisimmin niissä käytetään vettä, ja tärkein märkäerotintyyppi pölynpoistossa on venturipesuri. Pesurin puhdistusteho perustuu nestepisaroiden ja pölyhiukkasten väliseen nopeuseroon. Venturipesurissa matalapaineista nestettä johdetaan venturin kurkkuun. Kurkussa kaasun nopeus kasvaa hyvin suureksi, jolloin se saa nesteen pisaroitumaan hyvin pieniksi pisaroiksi. Seurauksena syntyy tehokas törmäysvaikutus nesteen ja kaasun välillä, jolloin nestepisarat sitovat itseensä pölyhiukkaset. Lopullisesti pöly poistetaan pisaranerottimessa, johon tavallisesti käytetään sykklonia. Venturipesurilla voidaan suodattaa samaan aikaan sekä kaasumaisia että hiukkasmaisia epäpuhtauksia, jonka lisäksi se soveltuu korkealämpöisten, syttyvien ja räjähdysherkkien kaasujen ja pölyjen käsittelyyn. Samalla sillä voidaan jäähdyttää kuumia poistokaasuja. Ongelmia märkäerottimissa on muodostuvan jäteveden käsittely, mahdollinen korroosio laitteessa, jäätymisvaara talvella ja kerättyjen hiukkasten vaikea kierrätys. (14.)

#### 4.2.5 Puhaltimet

Puhaltimilla saadaan aikaan pölynpoistojärjestelmän ilmavirtaus, ja puhallin on järjestelmän viimeinen osa suodattimen jälkeen. Sijainti suojaa puhallinta korroosiolta ja kulumiselta, joita pöly voi aiheuttaa. Samalla järjestelmä pysyy alipaineisena, jolloin pölyinen ilma ei pääse vuotamaan työtiloihin mahdollisesta vuotokohdasta. Yleisin käytetyin puhallin on keskipakoispuhallin. Käytettävissä on myös korkeapainepuhaltimia, jos tarvitaan pieni ilmavirta (alle 0,3 m<sup>3</sup>/s) ja korkea alipaine (yli 15 kPa).

Puhaltimen valinnassa tulee ottaa huomioon poistettavan pölyn ominaisuudet sekä muun järjestelmän laajuus, kuten putkisto ja huuvien määrä. Jos ulospuhallettava poistoilma sisältää esimerkiksi syövyttäviä epäpuhtauksia, puhaltimen siivet voi valmistaa muovista. Kipinöimättömästä materiaalista valmistetut siivet taas soveltuvat räjähdys- ja palovaaran aiheuttavan materiaalin pölynpoistojärjestelmään. (14.)

#### 4.2.6 Putkisto

Epäpuhtauksien kuljettamiseen pölyvästä kohteesta suodattimelle tarvitaan putkistoa. Putkistoa suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon kuljetettavan materiaalin ominaisuudet. Tärkeintä on estää materiaalin laskeutuminen putkien pohjalle, etenkin jos käytetään pitkiä vaakatasossa olevia putkia. Pölyn keräytyminen putkien pohjalle heikentää imutehoa ja voi pölystä riippuen aiheuttaa palovaarankin. Erityyppiset pölyt tarvitsevat erilaisia kuljetusnopeuksia, joita käytettäessä pöly ei pääse laskeutumaan putkistoon. Mitä raskaampaa pölyä, sitä suurempi täytyy kuljetusnopeuden olla.

Pyöreiden putkistojen käyttäminen on suositeltavaa, sillä tällöin nopeusjakaumat pysyvät tasaisina. Pyöreät putket myös kestävät alipainetta suorakaiteisia putkia paremmin. Putkiston materiaalin täytyy olla tarpeeksi vahvaa, jotta se kestää

kulumista jota pölyn kulkeminen aiheuttaa. Muita tärkeitä huomioita ovat pölyn epäpuhtauksien aiheuttama korroosio sekä poistoilman lämpötila. Ruostumaton teräs käy useimmille materiaaleille, kun taas syövyttävillä aineilla voidaan käyttää muovista tai lasikuidusta valmistettua putkistoa. Putkien seinämän paksuus määräytyy käsiteltävän materiaalin mukaan. Elintarvike-, lääke- ja puuteollisuuden käyttöön soveltuvat ohutseinäiset putket, kun taas kivi-, malmi-, hiekka- ja metallipölylle tarvitaan paksut seinämät. Paksuilla seinämillä putket kestävät paremmin kuluttavien materiaalien käsittelyä, vähentäen puhkikuluminen riskiä. Puhkeamat heikentävät imuvirran voimakkuutta ja tehokkuutta, kun rei'istä pääsee virtaamaan ilmaa sisälle. (14.)

#### 4.2.7 Huuvat ja koteloinnit

Huuva on kohdeilmanvaihdon imuaukko, joka on sijoitettu pölynlähteen läheisyyteen. Se nappaa ilmassa olevat epäpuhtaudet, jotka sitten kulkevat putkistoa pitkin suodattimelle. Huuva voi olla laipallinen tai laipaton, riippuen pölylähteestä. Laipallisella huuvalla saadaan tehokkaammin kohdennettua imua halutulle alueelle. Myös huuvan etäisyys epäpuhtauslähteestä on merkittävä tekijä, sillä kohteen ja huuvan etäisyyden kaksinkertaistuessa tarvitaan nelinkertainen poistoilmavirta. Siksi huuva tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle pölyämiskohdetta.

Koteloinnilla voidaan peittää runsaasti epäpuhtauksia aiheuttava kohde tai tila kokonaan. Menetelmällä saadaan estettyä epäpuhtauksien leviämistä ja kerättyä ne paremmin talteen kohdepoistolla. Kotelointia käytetään teollisuudessa varsinkin hihnakuuljettimien purkupään pölyämisen hallintaan. (14.)

#### 4.2.8 Korvausilma

Poistoilmavirta aiheuttaa työtiloissa vetoa ja vähentää mukavuutta, jolloin poistetun ilman tilalle on tuotettava sama määrä korvausilmaa. Korvausilma voidaan lämmittää, mutta kustannusten laskemiseksi voidaan käyttää puhdistettua poistoilmaa eli kiertoilmaa. Tällöin poistoilma, käytyään suodattimen läpi, ohjataan takaisin työtilaan. Kiertoilmaa käytettäessä on huolehdittava, että puhdistus on riittävän tehokas ja ilman laatua on tarkkailtava vaaratilanteiden varalta, joita voi aiheutua esimerkiksi suodattimen vikaantuessa. (14.)

## 5 PÖLYÄMISKOHTEIDEN SELVITYS

Opinnäytetyössä keskityttiin selvittämään VKU1:n annosteluasemalla syntyvän pölyn ominaisuuksia, määriä ja sen syntyyn vaikuttavia tekijöitä. Tietoja kerätessä käytettiin hyväksi Outokummulla aiemmin tehtyjä tutkimuksia, Outokummun laboratorion palveluja ja muita palveluntarjoajia.

Pölyämisessä on kaksi eri näkökulmaa, joita voidaan tarkastella: Ilmassa leijuva pöly ja työtiloihin kerääntyvä pöly. Vaikka pölynpoisto olisi kuinka tehokas, niin osa pölyistä jää ottamatta talteen. Pölyt pääsevät joko leijumaan ilmaan ja laskeutuvat pian lattialle tai sitten varisevat jostain kohtaa prosessia lattialle. Haitat ovat myös erilaatuisia. Maassa oleva pöly aiheuttaa vähemmän terveydellistä haittaa, sillä se nousee ilmaan ainoastaan ilmavirtausten tai käsittelyn seurauksena. Se aiheuttaakin enemmän haittaa työympäristön viihtyisyydelle, jonka lisäksi se vaatii erillistä siivoamista. Teoriaosuudessa kuvatuilla laitteilla ei enää pystytä vaikuttamaan lattialle päätyneisiin pölyihin, vaan niihin täytyy soveltaa erilaisia ratkaisuja. Nämä voivat olla siivouksen käytäntöihin tai helpottamiseen liittyviä ratkaisuja. Opinnäytetyön käytännön osuuden tulosten avulla pääteltiin, kumpaan näkökulmaan kannattaa etsiä ratkaisua.

### 5.1 Pölyämiseen vaikuttavat tekijät

Pölyn aiheuttajien selvittämisessä keskityttiin laitteista johtuviin tekijöihin; materiaalin ominaisuuksista johtuvat jätettiin huomiotta. Palarikasteesta tiedettiin jo valmiiksi, että se kestää huonosti mekaanista kulutusta. Käsittelyketjusta kirjattiin ylös pudotusmatkat sekä raaka-aineiden käsittelymäärät. Lisäksi selvitettiin jo käytössä olevat pölynpoistolaitteistot ja niiden toiminta.

### 5.1.1 Käytössä oleva laitteisto

Palarikasteen käsittelyketjussa syntyvää pölyä poistamaan on asennettu imureita joihinkin pahimmin pölyäviin kohteisiin. Kuitenkin kaikissa paikoissa ei edes ole pölynpoistoa. Alla olevassa taulukossa 2 on eroteltu palarikasteen kannalta olennaiset pölynpoistojärjestelmät.

Taulukko 2. VKU1:n pölynpoistolaitteet

Positio	Laite	Tyyppi	Alue
3.48	Letkusuodin	ELS3312/4,9	Annostelu
3.49	Keskipakopuhallin		Annostelu
3.26 (koirakuljetin)	Kasettisuodin		Koirakuljettimen yläpää

Annostelun pölynpoistojärjestelmässä oli periaatteena, että raaka-ainesiltoa täytettäessä pölynpoisto imee ainoastaan kyseisestä siilosta pölyä. Ongelmaksi tuli, että putkiston venttiilit eivät toimineet suunnitellusti, jolloin imu kohdistui kaikkiin silloihin yhtä aikaa. Tällöin imuteho heikkeni huomattavasti, jolloin pölyä ei saatu riittävän hyvin otettua talteen. Henkilökunnalla oli ongelma jo tiedossa, ja uutta putkistoa varten on jo piirustukset valmiina.

### 5.1.2 Putoamismatkat

Outokumpu Chromella oli vuonna 2010 projekti, jossa tutkittiin palarikasteen hienontumista käsittelyketjun aikana aina kaivoksen palarikastamoilta ferrokromitehtaan EKV-uuneille asti. Projektissa selvitettiin palarikasteen hienontuminen pudotettaessa sitä eri korkeuksilta. Siihen kuului myös palarikasteen eri putoamiskorkeuksien selvittäminen käsittelyketjun aikana. Projektissa saadut tulokset on esitetty taulukossa 3. Kemin kaivoksella olevat pudotuskorkeudet jätettiin pois, sillä ne eivät ole olennaisia opinnäytetyön aiheen kannalta.

Taulukko 3. Palarikasteen putoamiskorkeudet

<b>Pudotuskohta</b>	<b>Pudotuskorkeus (m)</b>
Purku autosta alaritulämönttuun	4,3
Alaritulämönttu -> HK2.75	1
HK 2.75 -> HK 2.76	1
HK 2.76 -> HK 3.31	1
HK 3.31 -> HK 3.32	1
HK 3.32 -> PR siilo (65% täyttöaste)	3,4
PR siilo -> vaaka	1,8
Vaaka -> HK 3.22	1
HK 3.22 -> HK 3.23	1
HK 3.23 -> HK 3.24	1
HK 3.24 -> HK 3.25	1
HK 3.25 -> Koirakuljetin 3.26	1
Koirakuljetin 3.26 -> Yläsiilo 4.01	2,5
Yläsiilo 4.01 -> Jakolaite 4.03	3,1
Jakolaite 4.03 -> EKU-siilo	2

Projektiryhmä huomasi tutkimuksissaan, että kumioimalla pudotusalusta palarikasteen hienontuminen vähenee jopa 50 %. Ryhmä suosittelikin kaikkien pudotusalustojen kumioimista yhdeksi tekijäksi hienontumisen vähentämiseksi.



### 5.1.3 Käsittelymäärät

Opinnäytetyötä varten selvitettiin annosteluasemalla käsiteltävien raaka-aineiden määrät. Ne saatiin selville ferrokromitehtaan raporteista, joista löytyy tarkat käsittelymäärät joka vuorokaudelta. Tiedot kerättiin ajanjaksolta 3.1.–3.2.2016. Käsittelymääristä laskettiin kunkin raaka-ainemäärän keskiarvo vuorokaudessa sekä yhteensä kaikkien materiaalien keskiarvo vuorokaudessa. Samalla saatiin keskiarvo panosten lukumäärästä sekä tuntikohtaisesta syötöstä uunille. Alla olevissa taulukoissa 4 ja 5 ovat tulokset eriteltyinä.

Käsittelymäärien avulla pystytään suhteuttamaan, kuinka paljon pölyn aiheuttamaa hävikkiä kokonaisuudessaan syntyy. Lisäksi tiedoista on hyötyä pölynpoistoratkaisuja suunniteltaessa. Huomioitavaa on, että materiaalia ei kulje jatkuvasti tasaisena virtana hihnakuljettimilla, vaan annosteltujen panosten mukaan sykleissä. Tämä seikka on syytä ottaa huomioon pölynpoistoa mitoitettaessa.

Taulukko 4. Käsittelymäärät vuorokaudessa keskimääräisesti

Palarikaste	127,8 t
Pelletti	406,7 t
Koksi	130,6 t
Kvartsi	83,4 t
Yhteensä	748,5 t

Taulukko 5. Panosten ja syötön määrä vuorokaudessa keskimääräisesti

Panosten lukumäärä	169 kpl
Syöttö	31,2 t/h

## 5.2 Pölyn koostumus

Opinnäytetyötä varten selvitettiin VKU1:n annosteluaseman ylä- ja alakerrassa ja purkuasemalla syntyvästä pölystä raekokojakauma, sen koostumus ja massa. Kaikissa näytteenottopisteissä käsitellään palarikasteen ohella muitakin raaka-aineita, joten pelkästä palarikasteesta koostuvaa pölynäytettä ei saatu talteen. Otetut näytteet ovat kuitenkin realistinen otos palarikasteen käsittelyketjusta syntyvistä pölyistä ja tarjoavat olennaista tietoa pölynpoistoratkaisujen suunnittelijoille. Näytteet kerättiin lattialle ja tasoille kerääntyneistä pölykasoista eri puolilta aluetta. Kuvissa 4, 5 ja 6 on esitelty näytteenottoalueita.



Kuva 4. Annosteluaseman alakerta



Kuva 5. Annosteluaseman yläkerta



Kuva 6. Purkuaseman alakerta

### 5.2.1 Raekokojakauma

Pölynäytteistä suoritettiin raekokojakauman mittaus ferrokromitehtaan näytteenvalmistuksessa, jossa menetelmänä käytettiin seulontaa. Näytteenvalmistuksen kautta näytteet toimitettiin laboratoriolle koostumusanalyysiin. Näytteenvalmistuksen seulonnassa pienin selvitettävissä oleva raekoko oli  $63\ \mu\text{m}$ , joka on pölyn tapauksessa vielä melko suurta. Tästä syystä lähetettiin vielä varmuudeksi erilliset näytteet Oulun yliopistoon. Oulun yliopisto käyttää raekokojakauman mittausmenetelmänä laserdiffraktiota, jolla päästään paljon tarkempiin tuloksiin kuin seulonnalla. Pölynäytteet toimitettiin näytteenvalmistukseen 20.1. ja Oulun yliopistoon 22.1. Näytteenottoalueet ja -menetelmät olivat samat kuin koostumusanalyysin näytteissä.

### 5.2.2 Koostumusanalyysi

Annosteluaseman ja purkuaseman pölynäytteistä suoritettiin koostumusanalyysi Outokummun laboratoriossa. Pölynäytteet toimitettiin analysoitaviksi 20.1. Analyysistä selviää, mistä raaka-aineista pöly koostuu ja niiden osuudet pölyssä. Pölynpoistoa suunniteltaessa raaka-aineet täytyy ottaa huomioon muun muassa putkiston mitoituksessa, jotta putkien kuluminen saadaan mahdollisimman alhaiseksi. Tietämys raaka-aineista on myös työhygieniallisesti tärkeää, jotta tiedetään haitallisten aineiden määrä pölyssä. Pölyn FeCr-pitoisuuksien ja pölymäärien perusteella voidaan selvittää pölyn rahallinen arvo.

### 5.3 Pölymäärien selvittäminen

Opinnäytetyön yhtenä osa-alueena oli tarkoitus selvittää VKU1:n annosteluaseman alakerran lattialle päätyvän pölyn määrä. Tämä toteutettiin keräämällä annosteluasemalta lattialle ja muille tasoille päätynyt pöly ja punnitsemalla se. Käytännön työn ja punnituksen hoiti tehdasalueen puhtaanapidosta vastaava ulkopuolinen palveluntarjoaja Lassila & Tikanoja, joka muutenkin siivoaa säännöllisesti kyseistä aluetta ja punnitsee aina siivottujen materiaalien painon. Työntekijät suorittivat työn imuroimalla pölyn säiliöautoon, jonka jälkeen suoritettiin punnitus. L & T:n edustajilta saatiin siivousoperaation jälkeen punnitustulokset. Siivotut pölyt viedään kaatopaikalle.

Työn alussa harkittiin myös VKU1:n annosteluaseman yläkertaan ja purkuasemalle kerääntyvän pölymäärän selvittämistä. Yläkerrassa ei kuitenkaan ollut samanlaista säännöllistä siivousta käytössä, eikä edellisen siivouskerran ajankohdasta ollut tarkkaa tietoa. Purkuasemalle taasen kertyy siivottavaksi asti hyvin vähän pölyjä, sillä palarikasteen purku tapahtuu ulkoilmassa olevan katoksen alla, jolloin suurin osa pölyistä lähtee tuulen mukana. Ne vähäiset pölyt, jotka eivät päädy ulkoilmaan, jäävät tärysyöttimien alapuoliselle alueelle. Pölyn

määrästä ei olisi tällöin saatu realistista arviota. Näiden syiden takia kyseisillä alueilla ei suoritettu pölymäärän mittauksia.

#### 5.4 Tulosten tarkastelu

Raekokomittausten tulokset saapuivat näytteenvalmistuksesta 26.1. ja Oulun yliopistosta 29.1., ja ne on esitelty liitteissä 1 ja 2. Annosteluaseman yläkerran näytettä analysoitaessa Oulun yliopistolla laitteeseen tuli häiriö, ja sitä koskeva sähköpostiviesti on referoituna alla.

*Tässä näytteistäsi partikkelikokojakaumat. Näyte **1:n annostelun yläkerta** piti seuloa 1,68mm seulalla suurimpien partikkeleiden poistamiseksi (aiheuttivat tukoksen laitteeseen). Yli 1,68mm partikkeleiden osuus oli 6,82 m-%. Näytteen **1:n annostelun yläkerta** graafinen esitys on erilainen kuin kahdessa muussa näytteessä, laite on jostain syystä vaihtanut laskentatapaa. Käyrän tulisi olla muodoltaan samantapainen kuin **1:n annostelun yläkerta\_seulomaton.pdf** tulosteessa (tukokseen keskeytyneen analyysin tulos). (15.)*

Koostumusanalyysin tulokset valmistuivat 8.2. ja ovat esiteltynä liitteessä 3.

##### 5.4.1 Raekokojakauman tulokset

Pölynäytteiden raekoon mittauksessa käytetyn seulasarjan reikäkoot olivat 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,075 mm ja 0,063 mm. Kuten Outokummun tuloksista nähdään, niin suurin osa pölystä on kooltaan alle 63 µm. Täten erillisten näytteiden lähettäminen Oulun yliopistolle oli perusteltua. Tuloksia verrattaessa huomataan, että eri mittausmenetelmillä on saatu hieman eroavaisuuksia tuloksissa. Parhaiten sen huomaa vertaamalla alle 63 µm partikkelien osuutta. Eroa oli alueesta riippuen 5–20 prosenttiyksikköä. Vähiten eroa oli purkuaseman tuloksissa, vain noin 5 prosenttiyksikköä. Mahdollisia syitä

eroihin voi olla esimerkiksi eri näytteenottopisteet alueilla. Annosteluaseman yläkerran tuloksista ei valitettavasti voida tehdä kovin luotettavia päätelmiä, johtuen juuri aiemmin mainituista ongelmista.

Näytteenvalmistuksen tuloksista selviää pölyjen irtotiheydet, jotka ovat alla olevassa taulukossa 6. Irtotiheys on olennainen tieto pölynpoiston poistoilmaa mitoitettaessa.

Taulukko 6. Pölyjen irtotiheydet

<b>Alue</b>	<b>Irtotiheys (t/m<sup>3</sup>)</b>
Purkuasema	1,63
Annostelun yläkerta	1,31
Annostelun alakerta	1,59

Purkuaseman tuloksista huomataan, että purkuaseman pöly sisältää eniten alle 2–5 µm hienopölyä ja on yleisestikin paljon hienompaa kuin muilla alueilla. Purkuaseman keskimääräinen partikkelikoko oli 30,04 µm. Annosteluaseman alakerran keskimääräinen partikkelikoko oli 63,77 µm ja annostelun yläkerran noin 56 µm.

Purkuaseman näyte sisältää myös kaikista eniten pölyn kokomäärityksen täyttäviä partikkeleita. Alle 100 µm partikkeleita purkuaseman näytteestä oli 95,2 %. Vastaavat lukemat olivat annostelun yläkerrassa 80 % ja annostelun alakerrassa 79,6 %. Annosteluaseman suuremmat partikkelit ovat todennäköisesti pientä ripotetta, joka on jossain prosessin vaiheessa tullut kuljettimelta yli.

Täten purkuasema olisi kolmen alueen pölyistä kaikkein haitallisinta hengityselimille. Tämä seikka on hyvä ottaa huomioon, kun valitaan pölynpoiston kehittämisen kohdetta.

#### 5.4.2 Koostumusanalyysin tulokset

Analyysituloksia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että pölynäytteet sisälsivät kaikkia ferrokromin valmistuksessa käytettyjä raaka-aineita. Raaka-aineilla on toisistaan poikkeavat alkuainepitoisuudet, jolloin niitä vertaamalla koostumusanalyysin tuloksiin voidaan päätellä, paljonko pölynäyte sisältää kunkin raaka-aineen pölyä. Esimerkiksi koksien C-pitoisuus on hyvin korkea, kun taas muilla raaka-aineilla se on hyvin pieni, jolloin voidaan olettaa, että analyysin C fix -määrä on peräisin koksipölystä. Tällöin esimerkiksi annostelun alakerran pölystä yli 4 prosenttia on koksista lähtöisin. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- ja Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-pitoisuudet ovat käytännössä pararikasteesta ja pelletistä peräisin; muissa raaka-aineissa niiden pitoisuudet ovat hyvin vähäisiä tai olemattomia. SiO<sub>2</sub>-pitoisuudet ovat peräisin kvartsista, joka sisältää sitä noin 91 %, sekä pararikasteesta ja pelletistä, jotka sisältävät piitä 3–10 %.

Annostelun yläkerran analyysistä selviää, että C-pitoisuus on melko korkea, 26,47 %. Lukema on paljon suurempi kuin muilla alueilla, mikä viittaisi siihen, että koksipölyä muodostuisi alueella runsaammin kuin muualla. Eroon voi myös vaikuttaa näytteenottotapa, mutta se pelkästään tuskin voi selittää kyseisiä lukuja.

Purkuaseman pölyn muita suuremmasta SiO<sub>2</sub>-pitoisuudesta huomaa selvästi, että alueella syntyvä pöly on pääsääntöisesti pararikasteesta ja kvartsista peräisin. Näillä raaka-aineilla on muita huomattavasti korkeammat SiO<sub>2</sub>-pitoisuudet.

#### 5.4.3 Pölymäärät

Annosteluaseman alakerran pölymäärän mittauksista saadut lukemat ovat esiteltynä taulukossa 7. Toisen ja kolmannen mittauskerran välillä ollutta siivousta ei huomioitu, sillä kyseisellä siivouskerralla alue siivottiin normaalia



laajemmin korkean asbestipitoisuuden takia. Tulokset olisivat tällöin antaneet normaalitilanteesta poikkeavan lukeman.

Taulukko 7. Annosteluaseman alakerran pölymäärät

Ajanjakso	Pölyn määrä (kg)	Vuorokaudessa ka (kg)
14.12. - 4.1.	3560	169.5
5.1. - 27.1.	4340	197.3
22.2. - 7.3.	3900	260

Viimeisellä siivouskerralla saadut tulokset jostain syystä poikkeavat huomattavasti aikaisemmista tuloksista. Syynä voi olla eroavaisuudet käsitellyn materiaalin määrässä, jolloin pölyäkin syntyy enemmän. Silti yli 60 kg korotus päivää kohden vaikuttaa liiankin suurelta. Todennäköisempi selitys löytyy siivousmenetelmistä, esimerkiksi voi olla siivottu jotain ylimääräistä.

Määrien perusteella pystytään laskemaan hävikin arvo, käyttäen hyväksi koostumusanalyysin tuloksia. Hävikki laskettiin kromin arvon perusteella, sillä sen pitoisuudet ovat suurimmat ja se on tuotannon kannalta olennaisin raaka-aine. Annosteluaseman alakerran pölyn FeCr-pitoisuus on 55 % ja ferrokromin maailmanmarkkinahintana on tällä hetkellä 1,63 €/kg. Näiden perusteella keskimääräisesti vuorokaudessa syntyvän pölyn arvo on noin 187 euroa ja kuukauden aikana pölystä aiheutuu noin 5600 euron edestä hävikkiä pelkästään annosteluaseman alakerrassa. Vuositasolla annosteluaseman pölyjä siivotaan yhteensä noin 76 000 tonnia. Pölyn vähentämisellä ja mahdollisella hyötykäytöllä saataisiin siis säästöjä pitkällä tähtäimellä.

## 6 PARANNETTAVAN KOHTEEN VALINTA

Valinnan vaihtoehtoiksi valittiin kolme aluetta palarikasteen käsittelyketjusta: Palarikasteen purkuasema, annosteluaseman yläkerta ja annosteluaseman alakerta. Näistä yksi valittiin tarkempaan tarkasteluun, johon ideoitiin mahdollisia pölynpoistoratkaisuja. Valinnassa otettiin huomioon mahdolliset ennestään käytössä olevat pölynpoistolaitteet, kuinka paljon alueelle muodostuu pölyä ja kuinka se leviää ympäristöön ja että soveltuuko ratkaisut käytettäväksi muilla tehtaalla samankaltaisilla alueilla.

Tarkan pohdinnan jälkeen parannettavaksi kohteeksi valittiin purkuasema. Valintaa perustelee se, että alueella ei ole käytössä minkäänlaista pölynpoistojärjestelmää. Lisäksi annosteluaseman pölynpoiston ongelmiin on jo ratkaisu kehitteillä, joten on järkevämpää ensin seurata, kuinka se toimii ennen lisäparannuksia. Tällä hetkellä purkuasemalla syntyvät pölyt leviävät tuulen mukana tehdasalueelle. Valinnassa painottuivat myös työhygieeniset seikat, jotka nousivat tehtaalla pinnalle helmikuussa. Tammikuun aikaisissa asbesti- ja kuitumittauksissa saatiin hälyttävän korkeita arvoja VKU3:n purkuasemalla, jonka seurauksena aiotaan suorittaa tiettyjä toimenpiteitä haittojen vähentämiseksi. Koska täysin samoja raaka-aineita käsitellään VKU1:n ja VKU2:n purkuasemilla, niin sama ongelma on hyvin varmasti niilläkin. Kaikilla purkuasemilla pöly pääsee leviämään tuulen vaikutuksesta ympäristöön, jolloin asbesti ja kuitu aiheuttavat työhygieenisen vaaran laajalle alueelle. Siksi purkuasema valittiin tarkasteluun, sillä sen kehittämällä olisi suurimmat työhygieeniset vaikutukset. Samalla mahdollisesti saataisiin vähennettyä pölyn määrää purkuaseman jälkeisestä käsittelyketjusta. Ratkaisuissa pohdittiin myös, kuinka ne soveltuvat käytettäväksi muilla purkuasemilla.

## 6.1 Purkuasema

Purkuasemalla käsitellään pääsääntöisesti palarikastetta että kvartssia, satunnaisesti myös muita raaka-aineita. Rakennus on päistään avoin, jotta ajoneuvot pystyvät ajamaan siitä lävitse. Raaka-aineet kaadetaan lattialla olevien rutilöiden kautta tärysyöttimille, jotka sijaitsevat purkuaseman alakerrassa. Täryt syöttävät raaka-aineet hihnakuljettimelle, jotka kuljettavat ne annosteluasemalle. Alueella ei ole pölynpoistolaitteita. Purkuaseman alakertaan kerääntyy verrattain vähän pölyä, jotka ajoittain siivotaan. Suurin osa purkuaseman pölyistä syntyy kun raaka-aineita puretaan rutilälle. VKU1:n purkuasema, kuten muutkin purkuasemat, kuuluu ferrokromitehtaan koksiaseman vastuualueeseen. Kuvassa 7 näkyy VKU1:n purkuaseman rutilät.



Kuva 7. Purkuaseman rutilät

VKU2:n ja VKU3:n purkuasemat ovat samantyyppisiä kuin VKU1:n purkuasema, mutta suuremmassa mittakaavassa. Niillä myös käsitellään palarikasteen ja kvartsin lisäksi muitakin raaka-aineita.

## 6.2 Ratkaisuehdotukset

Koska purkuasemalla ei ole ennestään pölynpoistojärjestelmää, niin opinnäytetyössä keskityttiin selvittämään pölynpoistomenetelmiä, jotka voitaisiin ottaa käyttöön. Samalla kerättiin mahdollisia tekijöitä, jotka rajoittavat tiettyjen menetelmien käyttöä. Näkemyksiä kysyttiin myös koksiaseman työntekijöiltä, joiden työalueeseen purkuasema kuuluu.

### 6.2.1 Rajoitukset

Työntekijöiden näkemyksen mukaan yksi mahdollinen rajoite olisi palarikasteen kosteus. Kostealla säällä palarikaste kerää kuljetuksen ja varastoinnin aikana itseensä ilmankosteutta ennen tuloaan ferrokromitehtaalle. Materiaali ei kosteana pölyä yhtä pahasti kuin kuivana, mutta pölynpoistojärjestelmä kerää märkää pölyä, joka on yleisimmin käytetyille pussi- ja kasettisuodattimille ongelmallista. Kosteaa pölyä haittaa suodattimen toimintaa ja talvella voi aiheuttaa jäätymisongelmia suodattimissa. Työntekijät kertoivat koksipölyn suodattamisessa olleen kyseisen tyyppisiä ongelmia, joiden seurauksena pölynpoiston toiminta on heikentynyt. Kosteusongelma rajaa pölynpoistojärjestelmän suodatintalintoja. Lisäksi pölyn hienojakoisuus asettaa suodattimelle vaatimuksia, sillä sen on kyettävä erottelemaan tehokkaasti pienimmätkin hiukkaset. Käytännöllisyyden takia pölynpoistojärjestelmän olisi hyvä soveltua kaikille raaka-ainepölyille, ei pelkästään palarikastepölylle. Tämä lisää suunnittelun haasteita.

VKU1:n purkuaseman tapauksessa myös koko aiheuttaa rajoituksia. Se on kolmesta purkuasemasta kaikkein pienin ja ahtain, joka tuo omat haasteensa pölynpoistojärjestelmän suunnitteluun. VKU2:n ja VKU3:n purkuasemat ovat sen sijaan suuria ja tilavia, jolloin niiden kohdalla ei tätä rajoitetta ole.

### 6.2.2 Purkuaseman sulkeminen

Purkuasemat ovat kulkusuunnastaan avoimia, jolloin tuuli pääsee puhaltamaan niiden läpi ja levittämään pölyä. VKU2:n ja VKU3:n purkuasemilla on nosto-ovet käytössä, mutta ne ovat suurimman osan ajasta auki. Työntekijöiden mukaan varsinkin talvisin lumisade haittaa ovet aukaisevia tunnistimia, jonka takia ratkaisuna on ollut pitää niitä jatkuvasti auki. Ovet myös pidetään normaalisti auki, kun rikastekuormaa puretaan. Ratkaisuna olisi suojata ovien tunnistimet niin, että ne toimivat joka säällä. Myös ovien sulkeminen rikasteen purun ajaksi olisi otettava normaaliksi työtavaksi, jotta saadaan vähennettyä hajapäästöjä. Ongelmaksi silti jää ilmassa oleva pöly, joka ei ole ehtinyt laskeutua maahan ennen ovien aukaisemista. Pölyn leviämistä voidaan estää asentamalla pölynpoistojärjestelmän imuaukot tilaan. Kuitenkin purkuasemien ovien toiminnan ja käytön parantaminen olisi suhteellisen edullinen ja yksinkertainen ratkaisu rajata pölyn leviämistä, ennen kuin pölynpoistojärjestelmää aloitetaan suunnittelemaan. VKU1:n purkuasemalla ovien käyttäminen rikastekuorman purkamisen aikana ei onnistu, johtuen sen pienuudesta.

### 6.2.3 Märkäerottimet

Märkäerottimet voisivat hyvin soveltua käytettäväksi purkuasemien pölynpoistossa. Niiden hyviä puolia on niiden tehokas erottelukyky ja että ne soveltuvat erittäin pienien hiukkasten suodattamiseen. Kynnyskysymykseksi niiden käytössä muodostuu korkeat kustannukset. Lisäongelmia aiheuttaa niistä syntyvän jäteveden käsittely sekä mahdolliset jäätymisongelmat talvisin.

#### 6.2.4 Sähkösuodattimet

Sähkösuodattimien soveltuvuutta purkuasemien pölynpoistoon on hyvä selvittää. Olennainen kysymys on, että ovatko poistettavan pölyn sähkönjohtokyvyt soveltuvia sähköiseen erotukseen. Mahdollisesti sähkösuodatin täytyisi keskittää vain tietyn raaka-aineen pölyn suodattamiseen, jos sähkönjohto-ominaisuudet poikkeavat paljon toisistaan. Sähkösuodattimen etuna on, että sillä saadaan erotettua hienotkin pölyt tehokkaasti.

#### 6.2.5 Pölynsidonta

Pölynsidonnalla voidaan estää pölyäminen sitomalla pöly käsiteltävään materiaaliin. Pölynsidonta voidaan toteuttaa nesteillä, kuten vedellä, tai sähköisesti. Nesteen käyttäminen on näistä yksinkertaisempi. Neste lisätään materiaalivirtaan esimerkiksi sumuna tai pisaroina suihkuttamalla. Neste sitoo pölyn materiaaliin ja saa ilmassa olevat pölyt laskeutumaan maahan ennen niiden leviämistä laajemmin. Nestemäisen pölynsidonnan käyttäminen purkuasemilla ei kuitenkaan ole ongelmallista. Purkuasemat, annosteluasemat ja raaka-ainesiihot tarvitsivat lämmityksen, jotteivät materiaali ja työtilat talvisin jäätyisi. Lattioille kerääntyvä vesi täytyisi myös poistaa, mikä vaatisi laiteinvestointeja ja muita järjestelyjä. (16.)

Sähköisessä pölynsidonnassa käytetään ionisuihkuja varaamaan pölyhiukkaset, jolloin ne eivät irtoa materiaalista. Myös ilmassa olevat pölyt palaavat materiaalivirtaan. Sähköisen pölynpoiston etuna on, että se soveltuu kaikille materiaalilaaduille ja kaiken kokoisille pölyille. Lisäksi sillä saadaan sidottua lähes kaikki pölyt ja sen voisi asentaa koko käsittelyketjun pituudelle, jos niin halutaan. Kynnyskysymykseksi nousee kustannukset ja sähköisen pölynsidonnan toimivuus ulkoilmassa ja talviolosuhteissa. (16.)

## 7 YHTEENVETO

Pölynpoisto on materiaalihävikin ja työhygienian kannalta olennainen osa teollisuuden prosesseja. Pöly vähentää työympäristön viihtyisyyttä, sotkee työvälineitä ja -vaatteita ja voi aiheuttaa hengityselinten sairauksia. Ferrokromitehtaalla käytetyistä raaka-aineista syntyy paljon pölyä, varsinkin pala- ja hienorikasteesta, joita pyritään ottamaan talteen pölynpoistolaitteilla. Laitteiden toiminnassa on kuitenkin puutteita ja joissain kohteissa ei ole pölynpoistoa ollenkaan. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ferrokromitehtaan VKU1:n palarikasteen käsittelyketjun pölynpoistojärjestelmien tila ja kerätä tarvittavat lähtökohdat pölynpoistojärjestelmien suunnittelemiseen. Pölynpoiston suunnittelussa tarvittavia tietoja ovat pölyn paino, koostumus, määrä ja raekoko. Kerättyjen tietojen avulla valittiin eniten parannustava vaativa kohde ja ideoitiin teorian ratkaisuja siihen.

Annosteluaseman ala- ja yläkerran ja purkuaseman pölyistä suoritettiin koostumusanalyysi ja raekokojakauman mittaus Outokummun laboratorioissa ja lisäksi tarkempi raekoon mittaus Oulun yliopistossa. Pölyjen määrä annosteluaseman alakerrassa selvitettiin siivoamalla alue ja punnitsemalla siivottu pöly. Raekokojakauman tuloksista selvisi, että purkuaseman pöly sisältää kaikkein hienojakoisinta eli haitallisinta pölyä. Koostumusanalyysin tuloksista pääteltiin, että purkuaseman pöly myös sisältää eniten palarikasteperäistä pölyä. Koska rikasteet sisältävät pieniä määriä asbestia ja haitallisia kuitumaisia aineita, on purkuaseman pöly siis haitallisinta.

Purkuasema valittiin eniten kehitystä vaativaksi kohteeksi, koska siellä ei ole tällä hetkellä minkäänlaista pölynpoistojärjestelmää tai mitenkään rajoiteta pölyn leviämistä. Lisäksi sen pöly on kaikkein haitallisinta, mikä painottui tammikuun aikana, kun työhygieniamittauksista saatiin asbestin määrästä hälyttäviä tuloksia. Työntekijöiltä kysyttiin näkemyksiä alueen parantamiseen. Suurimpina rajoituksina työntekijät näkivät mahdolliset jäätymisongelmat kosteaa materiaalia käsiteltäessä.

Ratkaisuissa mietittiin niiden soveltuvuutta kaikille purkuasemille, sillä pölyongelmat ovat niillä kaikilla samankaltaiset. Alustavana ratkaisuna suositeltiin purkuasemien sulkemista ovilla kuorman purun ajaksi. Koska purkuasemilla on jo ovet, niin tarvitaan vain työkäytäntöjen muutos ja ovien toiminnan varmistaminen. Käytännöllä saataisiin enimmät hajapäästöt rajattua. Alueille täytyisi myös suunnitella pölynpoistojärjestelmä. Kosteusongelmien vuoksi pussi- ja kasettisuodattimia ei suositella, vaan märkäerottimia ja sähkösuodattimia, joiden soveltuvuutta voi vielä tarkemmin selvittää. Pölynsidontamenetelmiä on myös syytä selvittää tarkemmin, varsinkin sähköistä pölynsidontaa. Toisin kuin nestemäisessä pölynsidonnassa, niin siinä ei esiinny nesteen käytöstä johtuvia ongelmia, kuten jäätymistä.

Opinnäytetyöstä on hyötyä, kun aiotaan kehittää VKU1:n palarikasteen käsittelyketjun pölynpoiston toimintaa. Se tarjoaa valmiita lähtötietoja suunnittelijoille ja sitä on tarvittaessa helppo soveltaa muihin käsittelyketjuihin, varsinkin ratkaisujen osalta. Opinnäytetyö oli kaiken kaikkiaan mielenkiintoinen ja sitä tehdessä oppi hyvin paljon pölynpoistomenetelmistä yleisesti. Aihe oli melko laaja ja työtä tehdessä joutuikin ajoittain malttamaan mielensä, ettei työ lähtenyt turhaan rönsyilemään. Aiheessa oli ainesta paljon laajempaankin työhön, esimerkiksi ottamalla selvitykseen mukaan VKU2:n ja VKU3:n palarikasteen käsittelyt. Työ olisi tosin venynyt paljon pitemmäksi kuin ammattikorkeakoulun opinnäytetyölle on suositeltavaa. Opinnäytetyön pohjalta voi saada lisää opinnäytetyön aiheita, esimerkiksi suodattimiin tai pölynsidontamenetelmiin liittyviä suunnitteluita tai selvityksiä.



## LÄHTEET

(1) Kehittyneiden materiaalien markkinajohtaja. Outokumpu Oyj:n yrityskuvaus. <http://www.outokumpu.com/fi/yritys/Sivut/default.aspx>. Viitattu 11.12.2015

(2) 100 vuoden perintö. Outokumpu Oyj:n historia. <http://www.outokumpu.com/fi/yritys/historia/Sivut/default.aspx>. Viitattu 17.12.2015

(3) 50 vuotta Kemin kaivoksen perustamispäätöksestä. Kemin kaivoksen historia. <http://onet.outokumpu.com/fi/News/Local%20News/Sivut/50-vuotta-Kemin-kaivoksen-perustamispäätöksestä-.aspx>. Viitattu 11.12.2015

(4) Riekkola-Vanhanen M. Finnish expert report on best available techniques in ferrochromium production. Finnish Environment Institute, Helsinki 1999. Sivut 8-9, 11-21

(5) Mitä on ruostumaton teräs? Euro-inox. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/What\\_is\\_Stainless\\_Steel\\_FI.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_FI.pdf). Viitattu 12.12.2015

(6) Outokumpu. Sisäiset arkistot.

(7) Ferrokromitehtaan tuotteet. Outokummun sisäiset verkkosivut. <http://onet.outokumpu.com/fi/Work/Content/EMEA/Sivut/Ferrochrome/Ferrokromitehtaan-tuotteet.aspx>. Viitattu 5.1.2016

(8) Ferrokromitehtaan raaka-aineet. Outokummun sisäiset verkkosivut. <http://onet.outokumpu.com/fi/Work/Content/Tuotantoprosessi/Sivut/Ferrochrome/Ferrokromitehtaan-raaka-aineet.aspx?slid=2eae2e81-dcb5-4b54-b7cd-dd853a2d0312&ListingTitle=Kaikki%20-%20Coil%20EMEA&FilterTerm=2eae2e81-dcb5-4b54-b7cd-dd853a2d0312>. Viitattu 15.12.2015

- (9) Parikka R, Mäkelä K, Sarsama J, Virolainen K. Hihnakuiljettimien käytön turvallisuuden ja luotettavuuden parantaminen. Espoo 2000. Sivut 10-16.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2036.pdf>. Viitattu 15.1.2016
- (10) Carson w, Petro G. How to design efficient and reliable feeders for bulk solids. Sivut 1-8. <http://www.web-tech.com.au/wp-content/uploads/Design-efficient-feeders.pdf>. Viitattu 12.1.2015
- (11) Maynard E. Ten steps to an effective bin design. American Institute of Chemical Engineers 2013.  
[https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20131125\\_1.pdf](https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20131125_1.pdf). Viitattu 18.2.2016
- (12) Roberts A, Scott O. Bulk materials handling in the mining industry. 1993. Sivu 10. [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5a0f1963430da06\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5a0f1963430da06_ek.pdf). Viitattu 18.2.2016
- (13) Rantanen S, Pääkkönen R. Työhygieniä, kemialliset ja fysikaaliset tekijät. Työsuojeluhallinto, Tampere 2008. Sivut 13-20.  
[http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2009/09/TSJ\\_86.pdf](http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2009/09/TSJ_86.pdf). Viitattu 15.12.2015
- (14) Säämänen A, Riipinen H, Kulmala I, Welling I. Pölyntorjunta. Tampere, 2004. Sivut 22-25, 93, 102-109, 116-121.  
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>. Viitattu 11.1.2015
- (15) Karvonen J. 2016. PSD-analyysit. Sähköpostiviesti 29.1.2016.  
Vastaanottaja Santtu Härkönen
- (16) Kalenius J. 2002. Hajapäästöjen vähentäminen ferrokromin tuotekäsittelyssä. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, konetekniikan ala, kone- ja metallitekniikan koulutusohjelma. Sivut 7-9.

## LIITTEET

Liite 1. Raekokojakauma, Outokummun näytteenvalmistus (salattu)

Liite 2. Raekokojakauma, Oulun yliopisto (salattu)

Liite 3. Koostumusanalyysit (salattu)