

Arttu Rimpiläinen

**LEVYVALSSAUSLINJAN PÖLYNPOISTOMENETELMIEN
KEHITTÄMINEN**

LEVYVALSSAUSLINJAN PÖLYNPOISTOMENETELMIEN KEHITTÄMINEN

Arttu Rimpiläinen
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, Raahen kampus

Tekijä: Arttu Rimpiläinen

Opinnäytetyön nimi: Levyvalssauslinjan pölynpoistomenetelmien kehittäminen

Työn ohjaajat: Jussi Helkoma ja Esa Törmälä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014 Sivumäärä: 61+13 liitettä

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on toiminut Rautaruukki Oyj. Työ on tehty Raahen Rautaruukin levyvalssauslinjalle. Nykyiset pölynpoistolaitteet eivät riitä poistamaan kaikkea hilsettä, mitä eri prosessipisteissä muodostuu tai irttaa. Tästä johtuen irttopöly aiheuttaa ongelmia muun muassa hengitysilman puhtauteen, levyjen merkkauksien kiinnipysyvyyteen sekä paksuusmittarin mittatarkkuuteen.

Työssä selvitettiin, millaiset levyt aiheuttavat linjalla ongelmia ja missä kohtaa ongelmapaikat sijaitsevat. Työhön kuului myös määrittää pölyävät tuotteet ja tutkia levyjen ja hilseen ominaisuuksia. Työssä käytiin läpi nykyisiä pölynpoistolaitteita ja selvitettiin niiden toimintaperiaatteet. Yhtenä tehtävänä oli myös tutkia uusia pölynpoistomenetelmiä.

Tutkimusmenetelminä käytettiin irtohilseen keräyskoetta ja omia havainnoiteja levylinjalta. Levyistä saadut näytteet analysoitiin XRD-menetelmää käyttäen sekä näytteistä tehtiin hiukkaskoon määrittäminen. Yhtenä osana tutkimusta olivat myös työntekijöiden haastattelut.

Työn aikana havaittiin, että kulutusteräs levyt aiheuttavat suurimman osan pölyongelmista. Tutkimuksissa saatiin selville, että näiden levyjen hilse on magneettista ja sitä olisi mahdollista kerätä magneetilla talteen. Kulutusteräs levyille tehdyissä kokeissa kylmäoikaisukoneella selvisi, että kylmäoikaisukoneen pölynpoisto on tehoton eikä se kykene poistamaan kaikkea hilsettä, jota irttaa oikaisun aikana. Hilseen määrä lisääntyy huomattavasti oikaisun aikana ja siksi levy on herkkä aiheuttamaan pölyongelmaa. Harjakoneella tehdyissä kokeissa harjan pyörintänopeuden kasvattaminen paransi harjakoneen puhdistustehoa.

Asiasanat: pölynpoisto, harjakone, kylmäoikaisukone, hilse, XRD-analyysi, hiukkaskokoanalyysi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Arttu Rimpiläinen

Title of thesis: Improving dust extraction on plate mills

Supervisors: Jussi Helkoma and Esa Törmälä

Term and year of completion: Spring 2014 Number of pages 61+13 ap-
pendices

This Bachelor's thesis was commissioned by Rautaruukki Corporation, Raahe Works. The thesis was carried out at the plate mills of Raahe Works. The current dust extraction equipment cannot remove all the mill scale that forms in different parts of the process. This causes problems with air quality, the persistence of plate markings and problems with the thickness gauge accuracy.

The aim of this thesis was to find out what kinds of plates cause most of the problems and what are the main problem points of the plate mill line. The project also aimed to determine the properties of plates and mill scale including the sources of airborne particles. One of the tasks was to study new and already existing dust removal methods.

The research methods in this work were the collection of mill scale and thesis writer's own observations at the plate line. The mill scale samples of the plates were analyzed by an X-ray Diffraction method. The particle size of the samples was analyzed. One part of the research was interviewing employees too. It was discovered that the hardened plates cause the majority of the dust problems. The research found out that the hardened plates mill scale is magnetic and it would be possible to gather it using magnets.

During the tests to the hardened plates on the cold leveler it was found out that the cold leveler's dust extraction equipment is too low and it is unable to remove all the mill scale from the plate that releases during the cold leveling. The amount of mill scale increases significantly during the cold leveling and it is the reason for the plates dust problems. The tests made to the an spinning sweeper showed that increasing spinning speed improved the mill scale release and made the plates cleaner.

Keywords: dust extraction equipment, spinning sweeper, cold leveler, mill scale, x-ray diffraction, airborne particles analyze

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Ruukki Metals Oy:n toimesta syksyn 2013 ja kevään 2014 aikana. Työ on osa kone- ja tuotantotekniikan insinöörin opintoja Oulun ammattikorkeakoulun Raahen tekniikan yksikössä.

Työn valvojina ja ohjaajina toimivat Ruukilta kehitysinsinööri Jussi Helkoma ja Oulun ammattikorkeakoulusta lehtori Esa Törmälä. Heitä haluan erityisesti kiittää tämän opinnäytetyön valmistumisesta ja opastamisesta opinnäytetyön teossa.

Haluan kiittää myös lähimmäisiäni, jotka ovat kannustaneet opinnäytetyön teossa. Lisäksi haluan kiittää opiskelukavereitani, joiden kanssa työn teon aikana tulleita kokemuksia ja tunteita on voinut jakaa, sekä valssaamon kunnossapito henkilöstöä ja tehtaan muita työntekijöitä, jotka ovat auttaneet työn tekemisessä.

Raahessa 3.6.2014

Arttu Rimpiläinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	9
2 RAUTARUUKKI OYJ	10
2.1 Ruukki Suomessa	10
2.2 Raahen tehdas	11
3 LEVYVALSSAAMO	12
3.1 Tuotanto	12
3.2 Levyvalssauslinjan alkupää	12
3.3 Levyvalssauslinjan loppupää	13
3.4 Nykyiset pölynpoistomenetelmät	15
3.4.1 Paineilmapuhallus	16
3.4.2 Harjakoneet	16
3.4.3 Ongelmat nykyisissä menetelmissä	17
3.5 Levyvalssauslinjan pölyongelmat	19
3.5.1 Kulutusteräs levyt	19
3.5.2 Normalisoitavat levyt	19
4 PÖLYÄVÄT TUOTTEET JA PÖLY	21
4.1 Kulutusteräket	21
4.2 Normalisoitavat teräket	23
4.3 Nuorrutetut teräket	25
4.4 Kuumavalssatut teräket	26
4.5 Pöly	27
5 HILSEKERROS	28
5.1 Raudan oksidit	28
5.1.1 Hematiitti	28
5.1.2 Magnetiitti	28
5.1.3 Wustiitti	29
5.2 Hilsekerroksen ominaisuudet	29

5.2.1 Adheesio ja koheesio	29
5.2.2 Hilsekerroksen paksuus	30
5.2.3 Pinnanlaatuongelmat	30
6 HILSEEN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	31
6.1 Seosaineet	31
6.2 Hehkutuslämpötila ja -aika	31
6.3 Valssauksen lopetuslämpötila	31
7 UUSIA PÖLYNPOISTOMENETELMIÄ	32
7.1 Sähkömagneetti	32
7.2 Soodapuhallus	33
8 KOEMATERIAALIT	34
9 KOKEISSA KÄYTETYT MENETELMÄT	35
9.1 Irtohilseen keräyskoe	35
9.2 Röntgendiffraktio analyysi (XRD)	35
9.2.1 Kidehila	36
9.2.2 Braggin laki	37
10 KOKEIDEN TYÖN KUVAUS	38
10.1 Irtohilseen keräyskoe harjakoneella	38
10.2 Irtohilseen keräyskoe kylmäoikaisukoneella	39
10.3 10 mm:n normalisoitava levy	40
10.4 Näytteiden analysointi	40
11 KOKEIDEN TULOKSET	41
11.1 Irtohilseen keräyskoe harjakoneella	41
11.1.1 Tuote A	41
11.1.2 Normalisoitava levy	44
11.2 Irtohilseen keräyskoe kylmäoikaisukoneella	44
11.3 10 mm:n normalisoitava levy	46
11.4 XRD-analyysi	49
11.4.1 Tuote A -harjakone	49
11.4.2 Tuote B, puhallusvoimakkuus normaali	50
11.4.3 Tuote B, puhallusvoimakkuus muutettu	51
11.5 Hiukkaskokoanalyysit	52
11.5.1 Tuote A -harjakone	52

11.5.2 Tuote B -kylmäoikaisukone	54
12 POHDINTA	56
12.1 Harjakoneen pölynpoisto	56
12.2 Kylmäoikaisukoneen pölynpoisto	57
12.3 10 mm:n normalisoitava levy	58
LÄHTEET	59
LIITTEET	61

1 JOHDANTO

Insinööriössä tutkitaan erilaisia pölynpoistomenetelmiä sekä arvioidaan ja testataan menetelmiä käytännössä. Työn teoriaosan alussa käsitellään levylinjan toimintaperiaate pääpiirteittäin ja käydään läpi nykyisiä pölynpoistolaitteita sekä niissä käytettäviä menetelmiä. Teoriaosassa myös määritellään, mitkä tuotteet aiheuttavat eniten pölyä sekä tutkitaan jonkin verran hilseen ominaisuuksia. Teoriaosan loppupuolella tutkitaan mahdollisia uusia menetelmiä nykyisen pölynpoiston lisäksi.

Työn kokeellinen osa suoritetaan levyvalssauslinjalla. Tarkoituksena on tehdä koesuunnitelma teoriaan perustuen ja kokeilla miten pölyongelmaa saataisiin vähennettyä. Eniten pölyä aiheuttavat tuotteet A ja B, joiden hieno pöly leviää helposti halli-ilmaan. Normalisoitavien levyjen hilse aiheuttaa helposti prosessihäiriötä paksuus- ja tasomaisuusmittarilla sekä levyjen maalimerkkauksien kiinnipysyvyysoongelmia. Työssä yritetään löytää ratkaisuja, joilla nykyisiä pölynpoistomenetelmiä saataisiin parannettua.

2 RAUTARUUKKI OYJ

Rautaruukki Oyj eli markkinanimeltä Ruukki on kansainvälinen pörssiyhtiö, jonka työnkuvaan kuuluu toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä ja kokonaistoimituksia rakentamiseen sekä konepajateollisuudelle. Rautaruukki Oyj perustettiin vuonna 1960. Tarkoituksena oli turvata kotimaisen telakka- ja muun metalliteollisuuden raaka-ainehuolto. Ruukki on vuosikymmenen aikana muuttunut perinteisestä terästuottajasta kansainväliseksi teräs- ja konepajateollisuuden moniosaajaksi. Nykyään Ruukilla on toimintoja 30 maassa ja henkilömäärä noin 9 000. Liikevaihto vuonna 2012 oli 2,8 miljardia euroa. (1.)

2.1 Ruukki Suomessa

Ruukilla on toimipaikkoja ja tuotantoa 29 paikkakunnalla Suomessa. Suomessa Ruukilla työskentelee yli 7 000 henkilöä. Ruukin liiketoiminta jakautuu kolmeen osa-alueeseen: Ruukki Building Products, Ruukki Building System ja Ruukki Metals. (2; 3.)

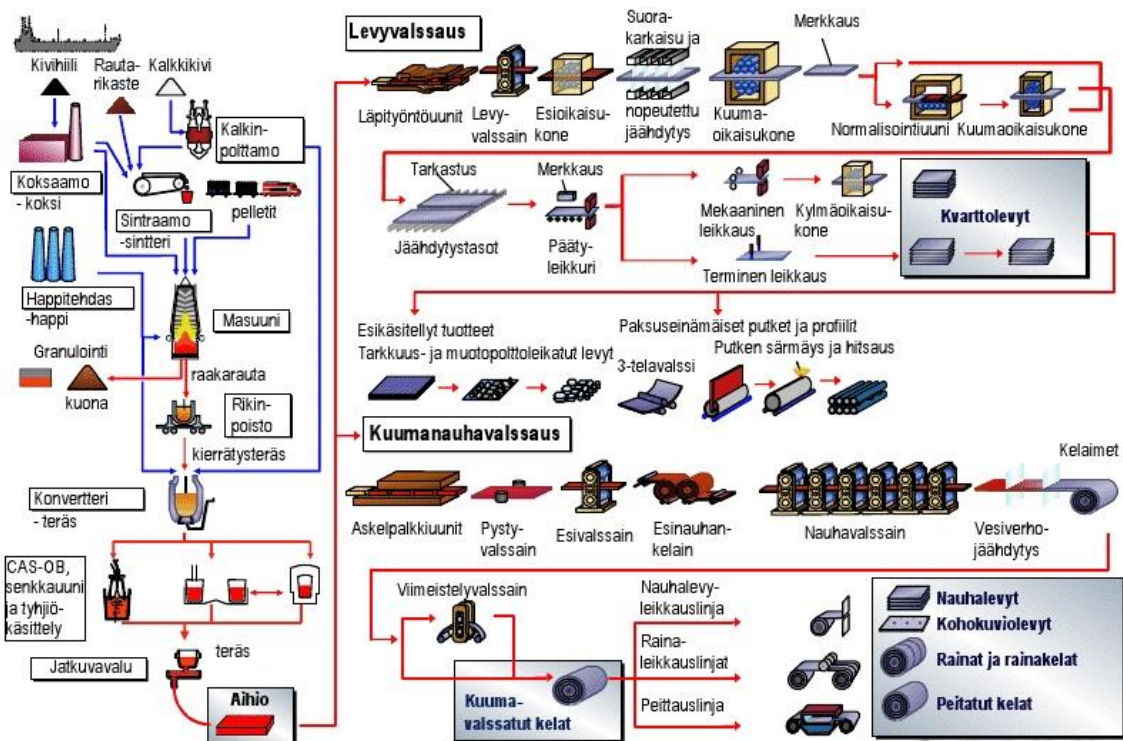
Ruukki Building Products toimittaa elinkaari- ja energiatehokkaita kuori- ja pohjarakentamisen komponentteja liike-, toimitila- ja teollisuusrakentamiseen, satama- ja väylärakentamiseen ja kattotuotteita asuinrakentamiseen. Ruukki Building Productsin osuus liikevaihdosta on noin 19 %. (2; 3.)

Ruukki Building System toimittaa perustus-, runko- ja kuorirakenteita valmiiksi suunniteltuina ja asennettuina liike-, toimitila- ja teollisuusrakentamiseen. Ruukki Building Systemsin osuus liikevaihdosta on noin 10 %.

Ruukki Metals toimittaa asiakkailleen kuuma- ja kylmävalssattua sekä metalli-että maalipinnoitettua terästä eri muodoissa: levy-, nauha-, putki- ja profiilituotteita sekä kokoonpanoon valmiina osina ja komponentteina. Sen osuus liikevaihdosta on noin 70 %. (2; 3.)

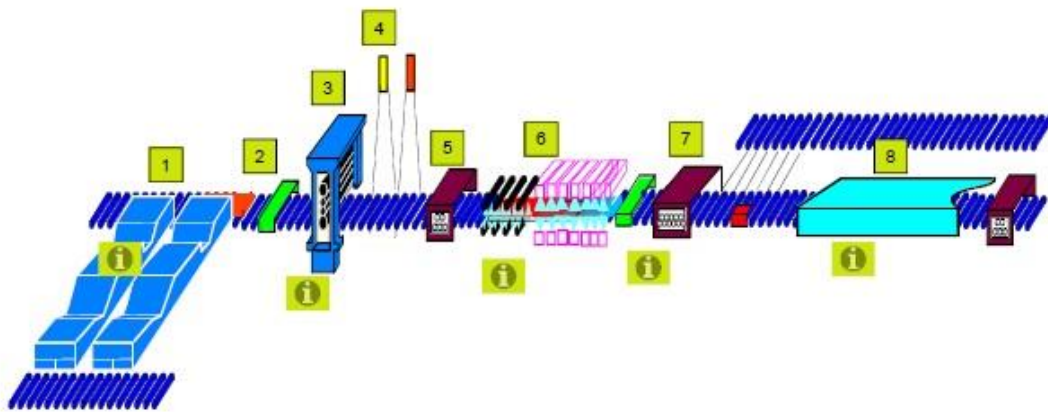
2.2 Raahen tehdas

Ruukin suurimman tuotantolaitoksen, Raahen tehtaan rakentaminen aloitettiin vuonna 1961 ja rautatuotanto aloitettiin yhdellä masuunilla vuonna 1964. Teräksen ja kuumavalssattujen levyjen tuotanto alkoi kolme vuotta myöhemmin vuonna 1967. Toinen masuuni otettiin käyttöön samana vuonna. Vuonna 2012 Raahessa tuotettiin terästä noin 2,3 miljoonaa tonnia. Raahen tehtaan tuotanto kattaa standardituotteista aina vaativimpiin erikoisteräksiin. Kuvasta 1 on havaittavissa Raahen tehtaan prosessin kulku. (4.)



KUVA 1. Raahen tehtaan prosessikaavio (5)

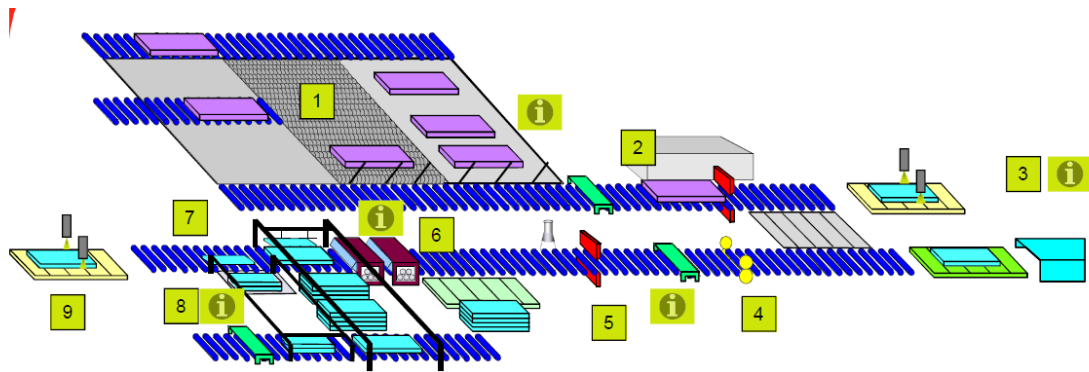
laminaarijäähdytykseen (6), jossa levy jäähdytetään nopeasti. Levyt oikaistaan kuumaoikaisukoneella (7), jossa ne samalla kuumamaalimerkataan ja tehdään reunastanssaus. Kuumaoikaisukoneella on mahdollista oikaista kulutusteräs- ja nuorrutetut -levytuotteet 15,4 mm levypaksuuteen asti. Oikaistuista levyistä osa menee suoraan jäähdytystasolle ja osa menee normalisointiuuniin (8). Normalisointiuunin jälkeen levyt kuumaoikaistaan uudelleen. Samassa yhteydessä levyt puhdistetaan irtohilseestä paineilman avulla, jotta irtohilse ei aiheuttaisi oikaisussa pintavikoja levyihin. Tämän jälkeen levyt siirtyvät jäähdytystasolle. (6; 7.)



KUVA 2. Levylinjan alkupää (12)

3.3 Levyvalssauslinjan loppupää

Kuvassa 3 on nähtävissä levyvalssauslinjan niin sanottu kylmä puoli, joka alkaa jäähdytystasosta (1). Jäähdytystasolle tulevat levyt ovat tulleet joko suoraan kuumaoikaisukoneen jälkeen erillistä rullarataa pitkin tai sitten kulkeneet normalisointiuunin kautta. Se mitä reittiä levy saapuu jäähdytystasolle, riippuu valmistettavan levyn laadusta sekä sen paksuudesta. Noin 72 % valmistettavista levyistä kulkee normalisointiuunin ohitse erillistä rullarataa pitkin. Loput 28 % menevät normalisointiuunin läpi. Rajoituksia normalisointiuunin käytölle asettaa levyn paksuus. Normalisointiuuniin menevät levyt, joiden paksuus on 80 mm tai vähemmän. Myöhemmässä vaiheessa tuotantolinjaa sijaitsee normalisointiuuni 2, jossa on mahdollista käsitellä myös yli 80 mm paksuja levytuotteita. (6; 7.)



KUVA 3. Levylinjan loppupää (12)

Levyjen saavuttua jäähdytystasolle ne alkavat jäähtyä. Kun levyjen lämpötila on laskenut sopivalle tasolle, ne siirtyvät rullarataa pitkin eteenpäin. Jäähdytystason loppupäässä sijaitsee levyn tarkistuspiste, jossa tarkastaja kävelee levyn päästä päähän ja samalla silmäilee levyn pintaa mahdollisten virheiden varalta. Tämän jälkeen levy käännetään tasolla toisin päin levyn kääntölaitteilla. Tällöin osa irtohilseestä valuu rullaradan väliin. Levyn kääntämisen jälkeen tarkastaja kävelee vielä levyn päältä uudestaan ja tarkastaa näkyvillä olevan puolen levystä. Jos levyn tarkastuksessa havaitaan levyn pinnan olevan epätasomainen, levy voidaan nostaa nosturilla suoraan kylmäoikaisukoneelle (6) oikaisua varten. Oikaisun jälkeen levy palaa takaisin jäähdytystasolla sijaitsevalla rullaradalle. (6; 7.)

Levyn pinnan tarkistuksen jälkeen seuraa kylmämaalimerkkaus ja stanssaus (2). Tämän jälkeen levy etenee rullarataa pitkin päätyromu- ja näyteleikkurille, joissa levyistä otetaan näytepala ja leikataan levyn päät. Merkkaukoneella levyn paksuus voi olla enintään 120 mm ja päätyleikkurilla 55 mm. Jos levyn paksuus ylittää 120 mm, nostetaan se suoraan tasolta merkkaukoneen ohitse polttoleikkaukseen. Osa levyistä menee tämän jälkeen plasmaleikkaukseen (3) ja sitä kautta varastoon. Osa levyistä voi vielä vaatia kylmäoikaisun tai sivu- ja päätyleikkauksen, jolloin ne lähtevät toista rullarataa pitkin takaisin tulosuuntaan päin. (6; 7.)

Päätyromuleikkurin jälkeen noin 46 % levyistä lähtee linjalta pois ja 54 % jatkaa matkaa sivu- ja paloitteluleikkurille (4). Päätyromuleikkurin jälkeen linjalta lähtevät pois yli 20 mm paksut peruslevytuotteet ja yli 32 mm paksut kulutusteräs ja nuorrutetut -levytuotteet. (6; 7.)

Kylmäoikaisukoneelle menossa olevat levyt menevät ensimmäiseksi sivuleikkurin läpi, jossa levy leikataan oikeaan leveyteen. Sivuleikkurin jälkeen levy menee harjakoneen läpi, josta se edelleen etenee linjastoa pitkin paloitteluleikkurille. Paloitteluleikkurilla levy leikataan osalevyiksi. Sivu- ja paloitteluleikkurilla on mahdollista leikata paksuudeltaan alle 20 mm peruslevytuotteita ja alle 32 mm kulutusteräs- ja nuorrutettuja -levytuotteita. (6; 7.)

Sivuleikkurin jälkeen leikattu levy tulee harjakoneelle, joka sijaitsee ennen paloitteluleikkuria. Harjakoneen tarkoituksena on levytyypistä riippuen puhdistaa hilsettä ja pölyä levyn pinnasta, jota on alkanut irtoamaan leikkauksen aikana. Noin 19 % levyistä lähtee linjalta pois edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen ennen kylmäoikaisukonetta. Loput 81 % levyistä menee kylmäoikaisukoneen läpi. Kyseiset prosenttiosuudet ovat laskettu aiemmin mainitusta 54 %.

(6; 7.)

Ennen kylmäoikaisukoneelle siirtymistä levy menee tasomaisuusmittarin läpi, jossa määritetään levyn paksuus ja tasomaisuus. Kylmäoikaisukoneella annetaan levyille lopullinen muoto. Tällöin siitä saadaan pois vähäinen jäljelle jäänyt epätasomaisuus. Kylmäoikaisukoneen jälkeen on vielä yksi harjakone, jolla pyritään poistamaan kylmäoikaisun aikana irronnut hilse levyn pinnasta. Tämän jälkeen levy menee lähetysvarastoon tai levyn jatkokäsittelyyn, joista levyt lähtevät asiakkaille. (6; 7.)

3.4 Nykyiset pölynpoistomenetelmät

Levyvalssaamalla on käytössä useita pölynpoistolaitteita. Levyvalssauslinjan nykyiset pölynpoistolaitteet eivät ole tarpeeksi tehokkaita poistamaan kaikkea prosessin aikana syntynyttä pölyä ja irtohilsettä. Hilseen ja pölyn poistaminen on haastavaa, koska sitä syntyy useassa eri prosessivaiheessa. Hilse ja pöly aiheuttavat ongelmia muun muassa työympäristön hengitysilman laatuun ja levyjen merkkauksen kiinnipysyvyyteen. Irtohilse aiheuttaa myös ongelmia paksausmittarin mittatarkkuuteen, joka puolestaan voi aiheuttaa prosessihäiriötä. (8.)

3.4.1 Paineilmapuhallus

Paineilmapuhallus on käytössä muutamassa pölynpoistolaitteessa eri prosessin vaiheessa. Ensimmäinen paineilmapuhallukseen perustuva hilseenpoistolaite sijaitsee ennen normalisointiuunia. Se on rakennettu samaan yhteyteen kuumaoikaisukoneen kanssa. Hilse pyritään puhaltamaan pois levyn pinnasta paineilmalla oikaisun aikana. (8.)

Toinen paineilmapuhallukseen perustuva hilseen ja pölyn poisto sijaitsee kylmäoikaisukoneella. Tässä pölynpoistolaitteessa toiminta perustuu siihen, hilse puhalletaan pois oikaisun aikana. Näin pyritään puhdistamaan levyn pinta epäpuhtauksista, jotka voisivat aiheuttaa levyihin pintavikoja kylmäoikaisun aikana. Puhalluksen tarkoituksena on myös, että varastoon lähtevät levyt olisivat mahdollisimman puhtaita. (8)

Rullaradan vieressä paineilmasuuttimien kohdalla sijaitsee huuva, joka on kytketty pölynpoistojärjestelmään. Huuvun tarkoituksena on imeä paineilmapuhalluksen aikana levystä irtoavaa hilsettä ja pölyä talteen. (8.)

3.4.2 Harjakoneet

Ensimmäinen harjakone, joka on nähtävissä kuvassa 4, sijaitsee sivu- ja paloitteluleikkurin välissä, mutta ennen levyn tasomaisuus- ja paksuusmittaria. Harjakoneen tarkoituksena on poistaa levyn pinnasta mekaanisesti irtohilse ja pöly, joita levystä on alkanut irtoamaan leikkaamisen seurauksena. Levyn lähestyessä harjakonetta, harja käynnistyy ja alkaa laskeutua. Harjakone puhdistaa mekaanisesti levyn pintaa. Harjakoneen yhteyteen on sijoitettu imuri, joka on kytketty pölynpoistojärjestelmään. Imurin tarkoituksena on kerätä levyistä irtoava hilse ja pöly talteen. (8.)



KUVA 4. Levyvalssauslinjan harjakone, joka sijaitsee sivu- ja paloittelijaleikkurin välissä

Linjalla on ollut myös toinen harjakone kylmäoikaisukoneen jälkeen, mutta tällä hetkellä se on poistettu käytöstä rikkoontumisen vuoksi. Rikkoontuneen harjakoneen tilalle on tarkoituksena hankkia uusi, joka olisi edeltäjänsä parempi ja toimintavarmempi. Tämän harjakoneen tarkoituksena on puhdistaa kylmäoikaisun aikana levyn pinnasta murtunut hilse tai pöly, jota kylmäoikaisukoneen pölynpoisto ei ole kyennyt poistamaan. Tällä pyritään siihen, että varastoon lähtevät levyt olisivat mahdollisimman puhtaita. (8.)

3.4.3 Ongelmat nykyisissä menetelmissä

Normalisointiunun jälkeen sijaitsevassa paineilmapuhalluksessa pientä ongelmaa aiheuttaa se, että levystä irtoavaa hilsettä ei kerätä millään tavalla talteen. Hilse leviää hallin lattialle ja rullaradalle. Hilse joudutaan poistamaan tietyn väliajoin laitteen ympäristöstä ja rullaradalta. Hilse voi myös mahdollisesti aiheuttaa laitteiden ennenaikaista kulumista esimerkiksi rullaradan rullien laakereissa ja niiden moottoreissa. (8.)

Sivu- ja paloitteluleikkurin välissä sijaitsevassa harjakoneessa ongelmana on, ettei se kykene tarpeeksi tehokkaasti poistamaan hilsettä levyn pinnasta, jos sitä on runsaasti. Hilse voi aiheuttaa myöhemmässä vaiheessa ongelmia muun muassa levyn paksuus- ja tasomaisuusmittarilla, joka sijaitsee paloitteluleikkurin ja kylmäoikaisukoneen välissä. Mittari ei välttämättä pysty määrittämään levyn paksuutta oikein, jolloin kylmäoikaisukoneella voi tulla prosessihäiriö. (8.)

Nykyisin harjakoneen harjan vaihtoväli on kohtuullisen pitkä, eikä sen kuntoa seurata kovinkaan tarkasti. Tästä johtuen harja ehtii pääsemään nykyisellä vaihtovälillä huonoon kuntoon. Siitä seuraa, että koneen puhdistusteho heikkenee entisestään. Harjakoneella on myös erikoinen ominaisuus, jos linjasto pysähtyy hetkeksi. Jos harjan alle on jäänyt levy, jatkaa harja pyörimistä siihen saakka kunnes levy on poistunut harjakoneen alta. Tästä johtuen harja kuluu turhaan. Huonoon kuntoon päässyt harja on nähtävissä kuvassa 5. Harja on kulunut epätasaisesti ja se puhdistaa levyn pintaa vain enää reunoilta. (8.)



KUVA 5. Huonokuntoinen harja, joka on kulunut epätasaisesti

Linjalla toinen suuri ongelma liittyy olemassa oleviin paineilmapuhalluksiin. Kylmäoikaisukoneella suuresta puhallustehosta ja pienestä imutehosta johtuen huuvaan muodostuu ylipaine, eikä pölynpoistojärjestelmä kykene imemään kaikkea levystä irtoavaa pölyä ja hilsettä talteen. Tämä aiheuttaa sen, että pöly leviää huuvan ohi hallin sisäilmaan ja samalla sotkee laitteen ympäristöä (8.)

3.5 Levyvalssauslinjan pölyongelmat

Nykyisin käytössä olevat pölynpoistolaitteet eivät riitä poistamaan kaikkea normalisoitavien levyjen hilsettä sekä kulutusteräs levyjen pölyä, jota muodostuu useassa eri prosessipisteessä. Irtoava hilse ja pöly aiheuttavat erilaisia ongelmia monessa eri prosessin vaiheessa.

3.5.1 Kulutusteräs levyt

Ensimmäinen ongelmakohta kulutusteräs levyjen pölyn kanssa muodostuu levyn pinnantarkistuksen kohdalla jäähdystystason loppupäässä. Erityisesti kulutusteräs levyjä käännettäessä toisinpäin pinnasta irtoaa runsaasti hienoa pölyä, joka pölisee huomattavan paljon.

Kulutusteräs levyillä pölyongelmaa ilmenee sekä kylmäoikaisun aikana että sen jälkeen. Oikaistaessa tällaista levyä pinnassa oleva hieno pöly pölisee huomattavan paljon ja siitä johtuen pölynpoisto ei kykene imemään kaikkea levyn pinnasta irronnutta pölyä pois.

Linjalta pois lähtenyt levy, jonka pinta ei ole puhdas hilseestä pölisee huomattavan paljon. Esimerkiksi kun levyjä pinotaan päällekkäin nostureilla, saa se aikaan suuria pölypilviä, jotka liikkuvat hallissa ja huonontavat sisäilman laatua.

3.5.2 Normalisoitavat levyt

Jäähdystystasolla levyjen kääntäjillä normalisoituja levyjä käännettäessä levyistä tippuu pois irtohilse, joka valuu rullaradan väliin. Rullaradan väliin tippunut irtohilse joudutaan puhdistamaan tietyin väliajoin pois. Normalisoitavien levyjen lastumainen hilse ei pölise, kuten kulutusteräksien hienompijakoinen pöly.

Toisena ongelmapaikkana voidaan pitää kylmäoikaisukoneen maalimerkkaus-konetta. Koneella merkitään levyn pintaan levyn tietoja oikaisun jälkeen. Maalimerkkaus-koneella on käytössä paineilmalla toimiva levyn puhdistus, jolla pyritään poistamaan epäpuhtaudet merkkauskohtalta.

Ne normalisoitavat levyt, jotka menevät maalimerkkaus-koneen jälkeen sivu- ja paloitteluleikkureille, alkavat hilseillä leikkauksen jälkeen. Levyt leikataan en-

simmäiseksi oikeaan leveyteen sivuleikkurilla. Tämän seurauksena levyn reuna-alueilta alkaa irrota hilsettä, joka tippuu rullaradalle tärinän vaikutuksesta. Tämän jälkeen levy kulkee harjakoneen läpi, jossa suurin osa irtohilseestä saadaan puhdistettua. Kuitenkin jos irtohilsettä on huomattavan paljon, harjakone ei välttämättä kykene poistamaan kaikkea hilsettä.

Seuraavana levy leikataan osalevyiksi paloitteluleikkurilla, jolloin levyn hilsepinta murtuu ja hilselastut nousevat pystyyn. Irtoava hilse tippuu rullaradalle aiheuttaen epäsiisteyttä ja tämän vuoksi rullaradan välit joudutaan puhdistamaan tietyin väliajoin. Hilsepinnan kiinteydestä ja hilseen määrästä riippuen, hilsettä saattaa jäädä levyn etuosaan paloitteluleikkurin jälkeen. Tästä johtuen tasomaisuus- ja paksuusmittarilla voidaan saada virheellisiä tuloksia. Tästä voi seurata mahdollinen prosessihäiriö kylmäoikaisukoneella.

Varsinkin ohuita levyjä oikaistaessa kylmäoikaisukoneella ilmenee ongelmia normalisoitavien levyjen pinnan laadussa. Ohuet levyt menevät oletuksena vanhalle oikaisukoneelle, jossa puhdistavaa puhallusta ei ole. Ohuet levyt menevät vanhalle oikaisukoneelle, koska sillä saadaan parempi oikaisutulos ohuille levyille.

4 PÖLYÄVÄT TUOTTEET JA PÖLY

Eri materiaaleille on olemassa erilaisia lämpökäsittelymenetelmiä, jotka valitaan sen mukaan, millaisia ominaisuuksia käsiteltävältä kappaleelta vaaditaan. Lämpökäsittely on yhdistelmä kuumennus- ja jäähdytysvaiheita. Tämä antaa käsiteltävälle kappaleelle tietyt ominaisuudet. Säätelemällä kuumennuslämpötilaa ja jäähdytysnopeuksia saadaan aikaan erilaisia ominaisuuksia.

Erilaiset lämpökäsittelymenetelmät vaikuttavat käsiteltävän tuotteen ominaisuuksiin ja pinnanlaatuun. Hyvin monien lämpökäsittelyiden jälkeen kappaleen pintaan alkaa muodostua hilsettä, kun kappaleen jäähtyminen alkaa. Tämä hilse aiheuttaa monessa eri prosessin vaiheessa ongelmia muun muassa pölynä. Hilse voi aiheuttaa ongelmia myöhemmässä vaiheessa maalimerkkausten pysymisessä ja levyn paksuus- ja tasomaisuusmittarilla. Se voi myös aiheuttaa prosessihäiriöitä ja pahimmillaan tuotanto saattaa pysähtyä.

4.1 Kulutusteräksset

Karkaisussa teräs kuumennetaan austeniittialueelle, jossa lämpötilat vaihtelevat 750 - 950 °C:een välillä. Kuumennuksen ja lyhyen pitoajan jälkeen teräs jäähdytetään nopeasti eli tehdään niin sanottu sammutus. Nopean sammutuksen yhteydessä teräksen mikrorakenne muuttuu martensiittiseksi. Yleisimmin sammutus tehdään veteen tai öljyyn. Levyvalssaamalla karkaisussa on käytössä vesi-jäähdytys. (9.)

Pelkällä karkaisulla teräs on kovaa, mutta sen rakenne jää hieman hauraaksi. Teräksien karkenevuutta voidaan parantaa seostuksien avulla. Eniten teräksen karkenevuutta lisäävät seosaineet vanadiini ja niobi. (9.)

Kuvassa 6 on nähtävissä kulutusteräs levy, jota ei ole oikaistu. Pinnassa on havaittavissa hienoa pölyä. Kuvassa on nähtävissä myös hilsettä, joka on valssauksessa kiinnittynyt levyn pintaan.



KUVA 6. Kulutusteräs levy, jota ei ole oikaistu

4.2 Normalisoitavat teräkset

Teräksen normalisoinnilla tarkoitetaan mikrorakenteen muuttamista siten, että teräksen ominaisuuksista saadaan sellaisia, jotka vastaavat käyttökohteen tarpeita. Usein valun ja valssauksen jälkeen kiderakenne on epätasainen. Normalisoinnin tarkoituksena on erityisesti tasata ja hienontaa raerakenteen kokoa. Liian epätasainen ja suuret raekoot vaikuttavat alentavasti teräksen sitkeyteen ja samalla tekevät siitä hauraan. Normalisoimalla teräs saadaan parannettua sen lujuus- ja sitkeysominaisuuksia. (9.)

Raerakoon pienentäminen perustuu kidemuodon muutoksen hyväksikäyttöön. Normalisointi aloitetaan kuumentamalla kappale austeniittialueelle, josta sen annetaan jäähtyä vapaasti ilmassa. Normalisoinnin tuloksena saadaan sitkeää ja hienorakenteinen teräs. (9.)

Hehkutettavat teräkset valmistetaan Ruukilla siten, että levy normalisoidaan ensin. Tämän jälkeen levy päästetään 750 °C:essa. Normalisoitavilla ja hehkutettavilla levyillä on suunnilleen samanlainen lastumainen hilsepinta. (10.)

Kuvassa 7 on havaittavissa paksu normalisoitu levy, jonka paksuus on yli 80 mm.. Levyn pinnassa oleva hilse irtoaa isoina lastuina kylmäoikaisun seurauksena. Osa hilseestä on kiinnittynyt levyn pintaan, eikä se lähde esimerkiksi harjaamalla pois. Paksussa normalisoitavassa levyssä hilseen irtoaminen on runsaampaa verrattuna ohuempaan.



KUVA 7. Normalisoitu levy, jonka paksuus on yli 80 mm

Ohuen normalisoitavan levyn pinnassa oleva hilse on pienempinä lastuina, verrattuna paksuun levyyn. Ohuen normalisoitavan levyn pinta on nähtävissä kuvassa 8.



KUVA 8. Normalisoitu levy, jonka paksuus on alle 80 mm

4.3 Nuorrutetut teräkset

Nuorrutuksella tarkoitetaan lämpökäsittelyä, jossa teräs päästetään huomattavasti korkeammissa lämpötiloissa karkaisun jälkeen, Tyypillinen lämpötila nuorrutukselle on noin 500 - 700 °C. Nuorrutuksen tarkoituksena on saada aikaan mahdollisimman hyvä lujuuden ja sitkeyden yhdistelmä. Nuorrutuksella ei pyritä saamaan maksimikovuutta, kuten yleensä karkaisulla ja päästöllä. Nuorrutettu teräs on karkaistuun teräkseen verrattuna vähemmän lujaa, mutta on sitkeydeltään karkaistua parempaa. (9.)

Nuorrutusteräksen valmistus menetelmä on samankaltainen kuin karkaistulla teräksellä. Teräslevy kuumennetaan austeniittialueelle noin 800 - 900 °C:een, jonka jälkeen sammutetaan veteen. Heti sammutuksen jälkeen kappale kuumennetaan uudestaan 500 - 700 °C:een lämpötilaan. Karkaisun jälkeen tehtävässä päästössä pitoaika on hieman pidempi kuin tavallisessa 200 °C:een päästössä. Nuorrutuksessa tehtävässä päästössä pitoaika on hieman pidempi kuin tavallisessa päästössä karkaisun jälkeen. Päästön jälkeen kappaleen an-

netaan jäähtyä rauhallisesti yleensä ilmaan. Päästölämpötilaa muuttamalla voidaan valita sopiva lujuuden ja sitkeyden yhdistelmä. (9.)

Kuvassa 9 on nähtävissä nuorrutettu ja oikaistu levy. Nuorrutetun levyn pinta on hienon pölyn peitossa, joka aiheuttaa myös herkästi pölyongelmia. Kuvassa olevassa levyssä hilsettä ei juuri ole painunut kiinni valssauksen aikana.



KUVA 9. Nuorrutettu levy, joka on oikaistu

4.4 Kuumavalssatut teräkset

Valssauksessa teräs saa muotonsa. Kuumavalssaus tapahtuu teräksen ollessa punahehkuinen, jolloin teräksen tyypillinen lämpötila 1 250 °C. Tällöin teräs on helposti muovattavissa. Valussa syntynyt karkea rakenne hienontuu ja tasoittuu kuumavalssauksen aikana. (9.)

Ennen valssausta aihiot on kuumennettu jatkuvatoimisissa läpityöntöuuneissa. Kuumennuksen tarkoituksena on lämmittää aihio valssauslämpötilaan sekä tasetaa sen rakenne- ja lämpötilaeroja. Ennen kuumavalssausta levy puhdistetaan kuumennuksen aikana syntyneestä hilseestä hilsepesurilla. Tällä varmistetaan, ettei levyn pintaan synny pintavirheitä valssauksen aikana. (9.)

4.5 Pöly

Hilsetyyppejä on erilaisia. Hilseen ominaisuuksiin vaikuttavat sekä tuotettavan teräslevyn valmistusprosessi että niissä käytettävät mikroosaineet.

Hengitysilma sisältää lukuisia erilaisia hiukkasia. Niin sanotut saastehiukkaset voidaan jakaa kolmeen ryhmään koon perusteella (11):

- karkeat hiukkaset, koko 2,5 - 10 mikrometriä
- pienhiukkaset, koko 0,1 - 2,5 mikrometriä
- ultrapienet hiukkaset, koko alle 0,1 mikrometriä.

Nykyisen tiedon mukaan vaarallisin hiukkasryhmä hengitettäväksi ovat pienhiukkaset joiden koko on 0,1 - 2,5 mikrometriä. Karkeat hengitettävät hiukkaset, joiden koko on 2,5 - 10 mikrometriä eivät leviä kovin laajalle alueelle painonsa ja kokonsa vuoksi. Ultrapieniä hiukkasia, joiden koko on alle 0,1 mikrometriä syntyy esimerkiksi polttoprosesseissa. (11.)

Hiukkasten koko ja muoto vaikuttavat siihen, miten ne kerääntyvät hengitysteiden eri alueille. Pienet hiukkaset seuraavat tarkasti ilmavirtauksia ja päätyvät mahdollisesti syvemmälle keuhkoihin kuin suuremmat hiukkaset. Muutamaa mikrometriä pienemmät hiukkaset pääsevät menemään keuhkorakkuloihin asti. Ultrapienet hiukkaset saattavat mahdollisesti päästä jopa verenkiertoon asti. (11.)

5 HILSEKERROS

Hilsekerros koostuu pääosin raudan oksideista, joita ovat wustiitti, magnetiitti ja hematiitti. Hilsekerroksessa olevat raudan oksidit omaavat erilaisia mekaanisia ominaisuuksia eri lämpötiloissa. Näiden ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, jotta pystytään ymmärtämään hilseen kiinnipysyvyyttä. (13, s. 28.)

5.1 Raudan oksidit

Teräksen kuumavalssausprosessissa esiintyy kolme eri raudan oksidia: hematiittia (Fe_2O_3), magnetiittia (Fe_3O_4) ja wustiittia (Fe_1O). Jotta hilsekerrosta voitaisiin hallita, pitää tietää eri oksidien ominaisuudet ja stabiilisuudet eri lämpötiloissa. (13, s. 28.)

5.1.1 Hematiitti

Hematiitti eli Fe_2O_3 on hilsekerroksen happirikkain rautaoksidi. Se on hyvin kova ja hauras niin kuumavalssaus- kuin huoneenlämpötilaolosuhteissakin. Tästä johtuen se on epätoivottu yhdiste. Se aiheuttaa valssauksessa muun muassa valssien kulumista sekä huonoa pinnanlaatua. (13, s. 28.)

5.1.2 Magnetiitti

Magnetiitti eli Fe_3O_4 on raudan ja hapen suhteen wustiitin ja hematiitin väliltä. Magnetiitti omaa kuumavalssausolosuhteissa kohtuullisen hyvän plastisuuden ja siksi se on hyvä kuumavalssauksessa. Huoneenlämpötilassa magnetiitti on puhtaista rautaoksideista vähiten hauras ja tämän takia toivotuin vaihtoehto. (13, s. 29.)

5.1.3 Wustiitti

Wustiitti eli Fe_1O on rautarikkain oksidi. Wustiitti on epästabiili, joten se pyrkii hajaantumaan magnetiitiksi alle $570\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötiloissa. Wustiitin hajaantuessa se siis muuttuu magnetiitiksi, jossa on erkaantuneena rautaa. Rauta voi esiintyä pallomaisena tai lamellimaisena. (13, s. 29.)

Kuumavalssauksessa wustiitti käyttäytyy plastisena, jolloin se on haluttu kuumavalssauksessa. Lämpötilan laskiessa ja wustiitin hajaantuessa, se ei kuitenkaan hajaannu täydellisesti. Hilseeseen jää hieman jäännöswustiittia. Jäännöswustiitti on huoneenlämpötilassa hyvin haurasta ja haitallista hilseen kiinnipysyvyydelle. (13, s. 29.)

5.2 Hilsekerroksen ominaisuudet

Hilsekerroksen ominaisuudet määrittävät sen käyttäytymisen muokkauksen aikana. Näistä muutamia ominaisuuksia ovat muun muassa adheesio, koheesio ja paksuus. Tuntemalla nämä ominaisuudet pystytään paremmin ymmärtämään hilsekerroksen käyttäytymistä. (13, s. 34.)

5.2.1 Adheesio ja koheesio

Adheesio tarkoittaa metallin ja hilsepinnan välistä lujuutta ja koheesio hilseen sisäistä lujuutta. Tämä tarkoittaa, että hilseen irtoamien voi tapahtua joko metalli-hilse rajapinnalta tai sitten sisäisesti hilseessä. (13, s. 34.)

Parantamalla sekundäärisen hilseen kiinnipysyvyyttä voidaan vähentää teräksen pinnanlaatuongelmia, joita irtoava hilse aiheuttaa. Jos hilsepesun voima on rajoittava tekijä, voi hyvän hilsekerroksen kiinnipysyvyyden omaavaan teräkseen jäädä hilsealueita pesun jälkeen. Epäonnistuneen hilsepesun jälkeen jääneet hilsealueet hapettuvat nopeasti hematiitiksi ja näin ollen aiheuttavat ongelmia. Punahilse on punaista hematiittia, joka aiheuttaa pinnan epätasaisuutta ja pölyhaittoja. (13, s. 34.)

5.2.2 Hilsekerroksen paksuus

Hilsekerroksen kasvaessa paksummaksi, kasvavat myös kasvujännitykset hilseessä. Mitä paksumpi hilsekerros on, sitä huonommin se pysyy kiinni teräksen pinnalla. Hilsekerroksen ollessa paksu, voi halkeamia muodostua joko pinnan suuntaisesti tai hilsekerroksen suuntaisesti. Hilsekerroksen ollessa paksu, etenee halkeama helpommin pinnan suuntaisesti jos verrataan ohueen kerrokseen. Tästä johtuen paksun hilsekerroksen koheesio on ohuempaa hilsekerrosta heikempi. (13, s. 37.)

5.2.3 Pinnanlaatuongelmat

Hilseen irtoilu terästä muokattaessa aiheuttaa pinnanlaatuongelmia. Esimerkiksi Raahen terästehtaalla kulutusteräs levyjen pinnanlaatuongelmat johtuvat hilsekerroksen irtoamisesta. Irronnut hilse aiheuttaa pintavikoja teräksen pintaan kuumaoikaisukoneen rullastoissa. (13, s. 40–41.)

Punahilse on yksi pinnanlaatuongelma. Se syntyy kuumavalssausprosessissa ja se on hyvin hienojakoista hematitiittia. Punahilse on saanut nimensä punertavasta väristään. Se aiheuttaa pinnanlaatuvikoja ja epätasaisuuksia levyn pintaan. (13, s. 40–41.)

6 HILSEEN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

6.1 Seosaineet

Terästen hilsekerros muodostuu pääosin rautaoksidoista. Jo hyvin pienet määrät eri seosaineita vaikuttavat teräksen hapettumiskäyttäytymiseen verrattuna puhtaaseen rautaan. Yleisesti ottaen hapettumisnopeus teräksillä on selvästi hitaampaa kuin puhtaalla raudalla. (13, s. 42; 14, s. 57.)

Eri seosaineet vaikuttavat eri tavalla hapettumiseen ja oksidikerrosten pysyvyyteen. Mitä seostetumpi teräs on, sitä hitaampaa on sen hapettuminen. Hilsekerroksessa voi myös olla mukana seosaineista muodostuvia oksideja, joilla on suuri merkitys rautaoksidien rakenteeseen ja sen ominaisuuksiin. Pii on merkittävin seosaine, joka vaikuttaa eniten hilsekerroksen ominaisuuksiin. (13, s. 42; 14, s. 57.)

6.2 Hehkutuslämpötila ja -aika

Kuten edellä mainittiin, hilsekerroksen paksuudella on suuri vaikutus miten hyvin hilse pysyy kiinni levyn pinnassa. Mitä paksumpi hilsekerroksesta tulee, sitä huonommin se pysyy kiinni levyn pinnassa. Hilsekerroksen kasvunopeus on riippuvainen lämpötilasta ja hapettumisajasta. (13, s. 52.)

6.3 Valssauksen lopetuslämpötila

Valssauksen lopetuslämpötilalla on suuri vaikutus hilsekerroksen paksuuteen. Alentamalla valssauksen lopetuslämpötilaa, voidaan saada aikaan huomattava hilsekerroksen paksuuden pieneneminen. Alhainen valssauksen lopetuslämpötila voi aiheuttaa punahilsettä levyn pintaan. Punahilse on yksi hilsetyyppi, joka aiheuttaa pölyongelmia levyvalssaamalla. (13, s. 57.)

7 UUSIA PÖLYNPOISTOMENETELMIÄ

Nykyisten pölynpoistolaitteiden lisäksi voitaisiin sijoittaa uusi pölynpoistojärjestelmä levyvalssauslinjalle tehostamaan hilseen ja pölyn poistoa. Vanhojen pölynpoistolaitteiden kehittämisellä sekä uuden järjestelmän lisäämisellä voitaisiin saada pölyongelmaa vähennettyä huomattava määrä. Tässä luvussa käydään läpi muutamia mahdollisia pölynpoistojärjestelmiä.

7.1 Sähkömagneetti

Sähkömagneetilla voisi olla mahdollista kerätä talteen levyn pinnassa oleva irtopöly. Esimerkiksi tuotteiden A ja B hilse on todettu olevan magneettista, joten se olisi mahdollista kerätä magneetin avulla talteen. Normalisoitavien levyjen lastumainen hilse ei ole magneettista, joten näiden levyjen puhdistamiseen magneettia ei voida hyödyntää. Valsattu levy voitaisiin puhdistaa kuljettamalla se sähkömagneetin alta, jolloin levyn pinnassa olevat epäpuhtaudet tarttuisivat magneettiin.

Magneetti on kappale, jonka ympärille on muodostunut magneettikenttä. Magneetit ovat kaksinapaisia ja navoista käytetään nimitystä S- ja N-napa. Samannimiset magneetin navat pyrkivät hylkimään toisiaan ja erinimiset pyrkivät vetämään toisiaan puoleensa. Magneetti voi olla niin sanottu kestromagneetti tai sähkömagneetti. Kestomagneetti valmistetaan teräksestä, ja se pysyy hyvin kauan magneettisena. Sähkömagneetti on rautainen kappale, jonka ympärille on kierretty sähköjohdin. Se muuttuu magneettiseksi kun johtimeen johdetaan sähkövirtaa. Johtimessa kulkevan virran määrällä voidaan säädellä magneetin voimakkuutta. (19.)

7.2 Soodapuhallus

Soodapuhallus on erittäin tehokas ja hellävarainen menetelmä pintojen epäpuhtauksien poistoon. Se soveltuu hyvin esimerkiksi metallipintojen puhdistamiseen, jossa kappaleen alkuperäinen pinta ei saa vaurioitua. (18.)

Soodapuhallus perustuu ilman ja soodan seokseen, joka ammutaan kohteeseen kohtuullisen pienellä paineella. Soodapuhalluksessa käytetyt paineet vaihtelevat 3 - 10 bar:n välillä. Soodapuhalluksen teho perustuu soodapartikkelin hajoamisesta syntyvään energiaan. Kun soodapartikkelit osuvat kovaan pintaan, se hajoaa ja siitä syntyvä energia poistaa epäpuhtauden puhdistettavan kappaleen pinnalta. Hajoaminen tapahtuu noin 50 °C lämpötilassa, josta johtuen se ei aiheuta esimerkiksi lämpölaajentumista. (18.)

Sooda on natriumvetykarbonaatti, ja se on väriltään valkoista. Se on hyvin veden liukenevaa jauhetta. Puhalluksen aikana jauheen osuessa pintaan se hajoaa natriumkarbonaatiksi, hiilidioksidiksi sekä osittain vedeksi. Tästä johtuen se on kertakäyttöistä. Puhalluksessa käytettävä sooda on käytännössä samanlaista, mitä ruokakaupoissa myydään ruokasoodan nimellä. Se on ainoastaan rae-kooltaan isompaa. Puhallussooda on ympäristöystävällinen eikä sisällä kemikaaleja. Sen pH-arvo on 8,6. Tämä tarkoittaa sitä, että se on melkein neutraali happamuudeltaan. (18.)

8 KOEMATERIAALIT

Työssä keskityttiin tutkimaan tuotteiden A ja B sekä normalisoitavien levyjen hilsepintoja. Testattavien levyjen mitoiksi valittiin 2 500 mm x 6 000 mm. Kokeissa käytettyjen tuotteiden A ja B levyjen paksuus oli 10 mm ja normalisoitavien levyn 20 mm. Päätettiin tutkia myös silmämääräisesti 10 mm paksujen normalisoitavien levyjen pintoja ja sitä, kuinka niiden hilsepinta muuttuu linjastolla eri prosessien vaiheessa.

Päätettiin ottaa kyseiset levytyypit ja paksuudet kokeisiin, koska näiden on todettu aiheuttavan eniten pöly- ja prosessiongelmia. Ohuiden kulutusteräs levyjen hieno pöly on suurin pölyongelmien aiheuttaja. Ohuet normalisoitavat levyt puolestaan saattavat aiheuttaa prosessihäiriöitä kylmäoikaisukoneella suuresta irtohilseen määrästä johtuen.

9 KOKEISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

9.1 Irtohilseen keräyskoe

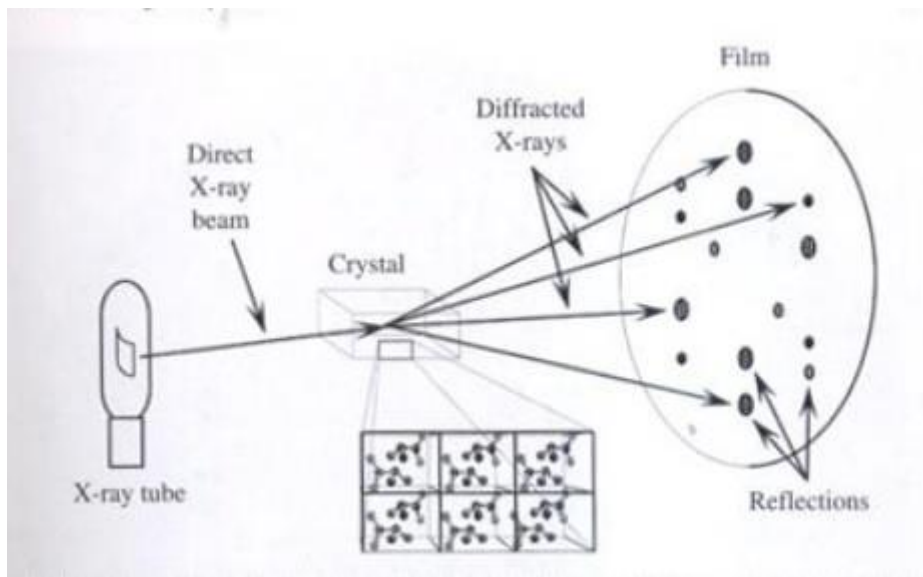
Irtohilseen keräyskokeita suoritettiin levylinjalla niin sanotussa kylmässä päässä. Kokeiden tarkoituksena oli tutkia nykyisten pölynpoistolaitteiden tehokkuutta sekä tehdä muutoksia pölynpoistoon ja selvittää muutosten vaikutusta pölynmäärään. Koesuunnitelma on nähtävissä liitteessä 13.

Kokeissa käytettiin tuotteita A ja B, sekä normalisoitavia levyjä. Levyn pinnalle jäänyt irtohilse kerättiin talteen vakioalalta 300 mm x 2 500 mm (levyn leveys). Irtohilseen keräyskokeita tehtiin harjakoneella sekä kylmäoikaisukoneella ennen käsittelyä ja sen jälkeen. Näytteet levyn pinnalta pyrittiin ottamaan pituussuunnassa aina keskeltä levyä.

Irtohilseen keräyskoe pyrittiin suorittamaan kaksi kertaa jokaisen tehdyn muutoksen jälkeen, jotta mahdolliset virheet saataisiin minimoitua.

9.2 Röntgendiffraktio analyysi (XRD)

Röntgendiffraktion avulla voidaan yksityiskohtaisesti selvittää luonnollisten ja synteettisten materiaalien kemiallinen koostumus ja kiderakenne. Tekniikka on monipuolinen, eikä tuhoa näytettä (16). Kide sijoitetaan mittauksessa röntgensäteen ja detektorin väliin. Kidettä pommitetaan röntgensäteillä, jolloin kiteestä heijastuvat säteet osuvat detektorille muodostaen diffraktiokuvan, joka on nähtävissä kuvassa 10.(15, s. 10 - 11). Kiteet voidaan jäädyttää nestemäisellä tyypellä, jotta ne eivät hajoaisi röntgensäteen vaikutuksesta. Kide täytyy kuitenkin suojata cryoprotektantilla ennen jäädytystä, jottei jääkiteitä muodostuisi. Suoja-aineena voidaan käyttää esimerkiksi mineraaliöljyä (15, s. 43.)



KUVA 10. Röntgendiffraktiokuvan muodostus (15, s. 11)

9.2.1 Kidehila

Kidehila on kolmiulotteinen malli atomien avarusrakenteesta. Hilat muodostuvat useista samansuuntaisista tasoista, jotka eroavat toisistaan etäisyydellä d . Tämä etäisyys vaihtelee materiaalin ominaisuuksien mukaan. Tasot sijaitsevat kiteissä useissa eri kulmissa. Kahden samansuuntaisen symmetriatason välinen etäisyys on d . Diffraktio muodostuu vain silloin, kun monokromaattista röntgensäteilyä suunnataan kidettä kohti aallonpituudella λ kulmassa θ ja kiteen peräkkäisistä tasoista heijastuneiden säteiden matkaero on kokonainen lukumäärä n aallonpituuksia. (16.)

9.2.2 Braggin laki

Braggin laki (kaava 1) olettaa, että saapuvien ja heijastuvien aaltojen kulmat ovat yhtä suuret. Jotta kaksi eri sädettä pysyisi yhdensuuntaisina ja niiden tulo-
kulma θ olisi sama, täytyy toisen säteistä kulkea pidempi matka (17, s. 22.)
Muuttamalla kulmaa θ saadaan diffraktoituneista röntgensäteistä koottua kokonaisuus, joka on jokaiselle materiaalille ominainen (16). Diffraktiokuvassa säteilyn intensiteetti kuvataan kulman funktiona. (17, s. 22.)

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

KAAVA 1

n = kokonaisluku

λ aallonpituus

d = hilatasojen välinen etäisyys

θ = kulma

10 KOKEIDEN TYÖN KUVAUS

Irtohilseen keräykseen käytettiin maalipensseliä, jolla pyrittiin puhdistamaan levyn pintaan rajattu alue mahdollisimman tarkkaan. Levystä irronnut hilse harjattiin rikkalapioon, josta se edelleen laitettiin pussiin talteen. Jokainen näytepussi toimitettiin laboratorioon, jossa ne punnittiin.

10.1 Irtohilseen keräyskoe harjakoneella

Työ aloitettiin määrittelemällä harjakoneen nykyinen puhdistusteho. Ennen kokeiden aloittamista harjakoneen harja vaihdettiin uuteen. Tarkoituksena oli tutkia harjakoneen vaikutusta levyn pinnan puhtauteen nykyisillä koneen asetuksilla. Levyn pinnalle jäänyt irtohilse ja pöly kerättiin talteen vakioalalta 300 mm x 2 500 mm (levyn leveys) ennen ja jälkeen harjauksen. Ensimmäiset harjauskokeet suoritettiin tuotteelle A. Lisäksi määriteltiin normalisoitavalle levyille harjakoneen puhdistusteho. Taulukosta 1 on nähtävissä harjakoneella käytetyn levyn tiedot ja koneen asetukset.

TAULUKKO 1. Harjakoneella käytetyn levyn tiedot nykytilanteella

Tuote A	Levynumero	Levyn leveys	Levyn paksuus	Harjan pyörintänopeus
Nykytilanne	8487642	2500 mm	10 mm	50 Hz

Kun harjakoneen nykytilanne oli määritelty, päätettiin muuttaa harjakoneen nykyistä pyörintänopeutta (50 Hz). Pyörintänopeutta nostettiin yhdessä sähkömiesten kanssa 80 Hz:iin. Uudet testilevyt ajettiin harjakoneen läpi muutetulla pyörintänopeudella. Myös näistä levyistä puhdistettiin samankokoinen alue ennen ja jälkeen harjakonetta. Taulukosta 2 on nähtävissä harjakoneella käytetyn levyn tiedot ja koneen asetukset.

TAULUKKO 2. Harjakoneella käytetyn levyn tiedot muutetulla tilanteella

Tuote A	Levynumero	Levyn leveys	Levyn paksuus	Harjan pyörintänopeus
Muutettu	8487614	2500 mm	10 mm	80 Hz

10.2 Irtohilseen keräyskoe kylmäoikaisukoneella

Kylmäoikaisukoneella tutkittiin puhallusta ja sen vaikutusta levyn pinnan puhtautteen oikaisun jälkeen. Testattavina levyinä käytettiin tuote B:tä. Näytteenotto levyn pinnalta suoritettiin samalla tavalla kuin harjakoneella. Taulukosta 3 on nähtävissä kylmäoikaisukoneella käytettyjen levyjen tiedot ja koneen nykyiset asetukset.

TAULUKKO 3. Levyjen tiedot kylmäoikaisukoneella tehdyssä kokeessa

Tuote B	Levynumero	Levyn leveys	Levyn paksuus	Puhallusvoimakkuus
Koelevy 1	8796122 / 1	2500 mm	10 mm	50 m ³
Koelevy 1	8796122 / 2	2500 mm	10 mm	50 m ³

Nykytilanteen määrittämisen jälkeen päätettiin kokeilla laskea puhallusvoimakkuutta. Nykyisellään yläpuolisen rullaston välistä ilmaa virtaa noin 50 m³ / min. Virtaavan ilman määrää laskettiin noin 35 m³ / min. Tämän jälkeen uudet testilevyt oikaistiin kylmäoikaisukoneella ja levyn pinnalta puhdistettiin irtopöly. Taulukossa 4 on nähtävissä kylmäoikaisukoneella käytettyjen levyjen tiedot ja koneen muutetut asetukset.

TAULUKKO 4. Levyjen tiedot kylmäoikaisukoneella tehdyssä kokeessa

Tuote B	Levynumero	Levyn leveys	Levyn paksuus	Puhallusvoimakkuus
Koelevy 1	8796137 / 1	2500 mm	10 mm	35 m ³
Koelevy 1	8796137 / 2	2500 mm	10 mm	35 m ³

10.3 10 mm:n normalisoitava levy

Lisäksi päätettiin tutkia yhden 10 mm paksun normalisoidun levyn hilsepintaa ja kuinka se muuttuu linjan läpi mentäessä. Ensimmäisenä tarkasteltiin levyn pintaa jäähdytystasolla. Tämän jälkeen tarkasteltiin sivuleikkuria, jossa katsottiin silmämääräisesti miten leikkaus vaikuttaa levyn hilsepintaan. Seuraavaksi tarkasteltiin paloittelijaleikkuria kuinka se vaikuttaa levyn hilseilyyn paloittelun jälkeen. Lopuksi tutkittiin kylmäoikaisukoneen puhalluksen vaikutusta levyn pintaan. Ensimmäiseksi levy ajettiin vanhan oikaisukoneen läpi, jossa puhdistavaa puhallusta ei ole. Tämän jälkeen levy ajettiin uudestaan uuden kylmäoikaisukoneen läpi.

10.4 Näytteiden analysointi

Levyjen pinnasta saadut näytteet toimitettiin Raahan tehtaan omaan tutkimuskeskukseen, jossa jokainen näytepusi analysoitiin. Tuotteiden A ja B hilseestä määritettiin eri rautaoksidien suhteet. Hilsenäytteistä tehtiin myös hiukkaskoon määrittäminen. Normalisoitavien levyjen hilseestä hiukkaskoon määrittäystä ei pystytty tekemään, johtuen hilseen lastumaisuudesta.

11 KOKEIDEN TULOKSET

11.1 Irtohilseen keräyskoe harjakoneella

11.1.1 Tuote A

Taulukossa 5 on havaittavissa tuote A:n hilsemääriä ennen ja jälkeen harjakonetta. Hilsemäärät eri koelevyjen välillä voivat vaihdella huomattavan paljon ja tämä on nähtävissä tuloksissa. Hilsemäärät on ilmoitettu g/m².

TAULUKKO 5. Levyjen hilsemäärät ennen ja jälkeen harjausta

Tuote A	Levynumero	Ennen harjausta (g/m ²)	Harjauksen jälkeen (g/m ²)	Muutos %
Nykytilanne (50Hz)	8487642	1.16	0.69	-40.20 %
Muutettu (80Hz)	8487614	4.09	1.69	-58.75 %

Harjakoneen nykytilanteella (50 Hz) ennen harjausta levyn pinnasta irtosi noin 1,16 g/m². Harjakoneen jälkeen levyn pintaan oli jäänyt noin 0,69 g/m². Tästä voidaan laskea, että hilsemäärä on vähentynyt noin 40,2 %. Kuvassa 10 on nähtävissä tuote A, josta on kerätty hilse talteen ennen harjakonetta.



KUVA 11. Hilse on kerätty talteen ennen harjausta

Harjakoneen läpi mennyt levy on nähtävissä kuvassa 11. Uusi näyte otettiin edellisen näytealueen vierestä. Kuten kuvasta on nähtävistä, levyn pinta on hieman kirkkaamman näköinen harjakoneen jälkeen.



KUVA 12. Hilse on kerätty talteen harjauksen jälkeen

Kun harjakoneen pyörintänopeutta kasvatettiin alkuperäisestä nopeudesta 80 Hz:iin, levyn pinnasta irtosi ennen harjausta $4,09 \text{ g/m}^2$ kuten taulukosta 1 käy ilmi. Harjauksen jälkeen levyn pintaan oli jäänyt $1,69 \text{ g/m}^2$. Tästä voidaan laskea, että hilsemäärä on vähentynyt noin 58,75 %.

Koska hilsemäärät vaihtelevat levyittäin huomattavan paljon, on tulosten vertaileminen haastavaa. Tästä johtuen ei välttämättä saada täysin luotettavaa tulosta harjakoneen pyörintänopeuden vaikutuksesta levyn pinnan puhtauteen. Jälkimmäisessä koelevyssä oli melkein nelinkertainen hilsemäärä ensimmäiseen koelevyyn verrattuna.

11.1.2 Normalisoitava levy

Taulukossa 6 on nähtävissä normalisoitavan levyn hilsemäärät ennen ja jälkeen harjakonetta. Ennen harjakonetta otetussa näytteessä levyn pinnassa oli 4,24 g/m². Harjakoneen jälkeen levyn pinnasta oli poistunut noin 74,75 % hilseestä ja jäljelle oli jäänyt 1,07 g/m².

TAULUKKO 6. Normalisoitavan levyn hilsemäärä ennen ja jälkeen harjakonetta

Normalisoitava	Levynumero	Ennen harjausta (g/m ²)	Harjauksen jälkeen (g/m ²)	Muutos %
Nykytilanne	8501811	4,24	1,07	-74,75 %

11.2 Irtohilseen keräyskoe kylmäoikaisukoneella

Taulukossa 7 on havaittavissa tuotteiden B hilsemäärät ennen ja jälkeen kylmäoikaisukonetta. Hilsemäärät eri koelevyjen välillä voivat vaihdella huomattavan paljon, joka näkyy tuloksissakin. Taulukossa näkyvät ilmamäärät ovat kylmäoikaisukoneen ylärullaston suuttimista tuleva ilman määrä. Testit toistettiin kahdella levyllä, jotta saataisiin luotettavampia tuloksia. Hilsemäärät on ilmoitettu g/m². Kaikki koelevyt oikaistiin yhdellä pistolla ja plastisointiaste oli 60 %.

TAULUKKO 7. Koneen asetukset ja koelevyjen pölymäärät

Tuote B	Levynumero	Pistojen määrä	Plastisointiaste	Puhallusvoimakkuus	Ennen oikaisua (g/m ²)	Oikaisun jälkeen (g/m ²)	Muutos %
Koelevy 1	8796122 / 1	1	60 %	50 m ³	4.33	8.28	(+)91 %
Koelevy 2	8796122 / 2	1	60 %	50 m ³	7.03	8.03	(+)14 %

Ensimmäisellä koelevyllä pinnassa oli hilsettä ennen oikaisua 4,33 g/m² ja toisella levyllä 7,02 g/m². Oikaisun jälkeen ensimmäisen levyn pintaan oli jäänyt 8,28 g/m² ja toisen 8.03 g/m². Ensimmäisen levyn hilsemäärä oli kasvanut 91 % ja toisen levyn 14 %.

Puhallusvoimakkuuden pienentämisen jälkeen tehdyt testit on nähtävissä taulukossa 8. Puhallusvoimakkuuden pienentämisen jälkeen ensimmäisen koelevyn pinnassa hilsettä oli 0,77 g/m² ja toisen levyn pinnassa 4,09 g/m². Oikaisun jälkeen ensimmäisen levyn pintaan oli jäänyt 9,56 g/m² ja toisen 9,36 g/m². Ensimmäisen levyn pölymäärä oli kasvanut 1241 % ja toisen levyn 129 %.

TAULUKKO 8. Koneen asetukset ja koelevyjen pölymäärät

Tuote B	Levynumero	Pistojen määrä	Plastisointiaste	Puhallusvoimakkuus	Ennen oikaisua (g/m ²)	Oikaisun jälkeen (g/m ²)	Muutos %
Koelevy 1	8796137/1	1	60%	35 m ³	0.77	9.56	(+)1241%
Koelevy 2	8796137/2	1	60%	35 m ³	4.09	9.36	(+)129%

Muutetun tilanteen ensimmäisen koelevyn hilsemäärä oli huomattavasti pienempi kuin muiden koelevyjen. Myös oikaisun jälkeen levyn pinnassa oli eniten hilsettä. Hilsemäärään oikaisun jälkeen vaikuttaa esimerkiksi se, kuinka monella pistolla levy oikaistaan. Kaikki koelevyt oikaistiin yhdellä pistolla ja plastisointiaste oli 60 %. Mitä aaltoilevampi levy on, sitä enemmän sitä oikaistaan. Mitä enemmän levyä muotoillaan, sitä enemmän sen pinnasta irtoaa hilsettä.

11.3 10 mm:n normalisoitava levy

Kuten kuvassa 13 on nähtävissä, levyn reunoilta hilse murtuu leikkauksen seurauksena. Levyn hilsepinta on muuten kiinteä, eikä se lähde esimerkiksi harjaamalla pois. Tällaisen levypinnan päälle tehtävät maalimerkkaukset eivät ole pitkäikäisiä, koska hilsepinta murtuu kylmäoikaisukoneen läpi mentäessä.



KUVA 13. Hilsepinta murtuu reuna-alueilta sivuleikkauksen seurauksena

Levyn kuljettua harjakoneen alta, reunoilla oleva irtohilse on poistunut levyn pinnalta. Kuvassa 14 on nähtävissä harjakoneen alta tullut levy, jossa reuna-alueiden irtohilse on lähtenyt pois.



KUVA 14. Normalisoitu levy harjauksen jälkeen

Kuvassa 15 näkyvä levy on oikaistu vanhalla kylmäoikaisukoneella, jossa puhdistavaa puhallusta ei ole. Tämän vuoksi levyn pintaan jää huomattavan suuri määrä irtohilsettä, joka on irronnut oikaisun aikana. Kuten kuvassa 15 on havaittavissa, osa levyn pintaan tehdystä maalimerkkauksista on hävinnyt hilsepinnan rikkoontumisen seurauksena.



KUVA 15. Levyn pinta oikaisun jälkeen vanhalla oikaisukoneella

Levyn pinnasta on poistunut kaikki irtonainen hilse, jota levyn pintaan oli jäänyt vanhan oikaisukoneen jäljiltä. Uuden oikaisukoneen läpi ajettaessa levyn pinta puhdistetaan paineilmalla. Kuten kuvassa 16 on nähtävissä, levyn pinta on puhdas, mutta osa hilsekerroksen päälle tehdyistä maalimerkkauksista on lähtenyt hilseen mukana pois.



KUVA 16. Levy on oikaistu uudestaan uudella oikaisukoneella

Ohuet normalisoitavat levyt menevät oletuksena vanhalle oikaisukoneelle. Vanha oikaisukone on parempi ohuille levyille ja sillä saadaan parempi oikaisutulos.

Tällainen levy joudutaan ajamaan toisen kerran uuden oikaisukoneen läpi, jolloin aiemmin levyn pinnasta irronnut hilse saadaan poistettua puhalluksen avulla. Pääsääntöisesti linjalta eteenpäin lähtevien normalisoitavien levyjen pinta on hyvä, jos ne on ajettua toiseen kertaan uuden oikaisukoneen läpi.

11.4 XRD-analyysi

XRD-menetelmää käyttäen määritettiin rautaoksidien keskinäiset suhteet. Tuloksista voidaan nähdä, kuinka eri rautaoksidien määrät muuttuvat tutkittavan levyn hilseessä.

11.4.1 Tuote A -harjakone

Tuote A:n hilseen eri rautaoksidien määrät ovat nähtävissä taulukossa 9. Tuloksista on havaittavissa, että magnetiitin osuus on 38,4 %, hematiitin 27,3 % ja wustiitin 36,4 %. Nämä eri rautaoksidien määrät ovat ennen levyn harjausta harjakoneella.

TAULUKKO 9. Rautaoksidien määrät nykyisellä pyörintänopeudella

Nykyisillä asetuksilla (50Hz)			
Tuote A	Magnetiitti	Hematiitti	Wustiitti
Ennen harjausta	38.40 %	27.30 %	36.40 %
Harjauksen jälkeen	36.60 %	24.80 %	38.60 %

Levyn harjauksen jälkeen levyn pinnalta otetusta näytteestä on huomattavissa, että eri rautaoksidien määrät eivät juuri muuttuneet. Rautaoksidien määrät harjauksen jälkeen ovat nähtävissä taulukossa 9.

Tulokset saatiin ajamalla koelevyt harjakoneen läpi koneen alkuperäisillä asetuksilla. Koneen alkuperäisissä asetuksissa harjan pyörintänopeus on 50 Hz.

Tuotteen A toiset näytteet otettiin harjakoneen harjan pyörintänopeuden muuttamisen jälkeen. Pyörintänopeutta kasvatettiin aiemmasta 50 Hz:stä 80 Hz:iin. Tulokset on nähtävissä taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Rautaoksidien määrät muutetulla harjan pyörintänopeudella

Muutetulla asetuksella (80Hz)			
Tuote A	Magnetiitti	Hematiitti	Wustiitti
Ennen harjausta	29 %	25 %	48 %
Harjauksen jälkeen	37 %	24 %	39 %

Magnetiitin määrä ennen harjausta oli 29 % ja harjauksen jälkeen 37 %. Hematiitin määrä on vähentynyt 25 %:sta 24 %:iin. Wustiitin määrä ennen harjausta oli 48 %. Harjauksen jälkeen wustiittia oli enää 39 %.

11.4.2 Tuote B, puhallusvoimakkuus normaali

Ensimmäisen tuote B levyn hilseen eri rautaoksidien määrät ovat nähtävissä taulukossa 11. Tuloksista on havaittavissa, että magnetiitin osuus on 34 %, hematiitin 32 % ja wustiitin 34 %. Nämä rautaoksidien määrät ovat ennen levyn oikaisemista kylmäoikaisukoneella.

TAULUKKO 11. Koelevy 1 tulokset kylmäoikaisukoneella

Puhallus normaali (50m3)			
Tuote B (1)	Magnetiitti	Hematiitti	Wustiitti
Ennen oikaisua	34 %	32 %	34 %
Oikaisun jälkeen	43 %	32 %	25 %

Taulukossa on nähtävissä levyn oikaisemisen jälkeen pinnalta otettujen näytteiden tuloksia. Niistä on havaittavissa, että eri rautaoksidien määrät ovat muuttuneet. Varsinkin magnetiitin osuus on lisääntynyt oikaisun aikana. Aikaisemmin magnetiitin osuus oli 34 % ja oikaisun jälkeen 43 %. Hematiitin määrä on pysynyt samana, mutta wustiitin määrä on vähentynyt aikaisemmasta 34 %:sta 25 %:iin.

Toisen tuote B levyn eri rautaoksidien määrät ovat nähtävissä taulukossa 12. Tuloksista on nähtävissä, että magnetiitin osuus on 42 %, hematiitin 39 % ja wustiitin 19 %. Aikaisempaan levyyn verrattaessa magnetiitin osuus on lähes sama kuin toisella levyllä oli oikaisun jälkeen. Wustiitin osuus on 19 %, joka on 15 % vähemmän kuin toisella levyllä.

TAULUKKO 12. Koelevy 2 tulokset kylmäoikaisukoneella

Puhallus normaali (50m3)			
Tuote B (2)	Magnetiitti	Hematiitti	Wustiitti
Ennen oikaisua	42 %	39 %	19 %
Oikaisun jälkeen	42 %	37 %	21 %

Taulukossa on nähtävissä levyn rautaoksidien määrät kylmäoikaisemisen jälkeen. Oikaisun jälkeen magnetiitin määrä ei kasvanut, kuten aiemmin. Hematiitin määrä väheni 2 %:lla ja wustiitin määrä lisääntyi 2 %:lla.

11.4.3 Tuote B, puhallusvoimakkuus muutettu

Ensimmäisen tuote B levyn hilseen eri rautaoksidien määrät ovat nähtävissä taulukossa 13. Tuloksista on havaittavissa, että magnetiitin osuus on 30,3 %, hematiitin 26,3 % ja wustiitin 44,4 %. Nämä rautaoksidien määrät ovat ennen levyn oikaisemista kylmäoikaisukoneella.

TAULUKKO 13. Koelevy 1 tulokset kylmäoikaisukoneella

Puhallus muutettu (35m3)			
Tuote B (1)	Magnetiitti	Hematiitti	Wustiitti
Ennen oikaisua	30.30 %	26.30 %	44.40 %
Oikaisun jälkeen	38 %	26 %	38 %

Taulukossa on nähtävissä levyn oikaisemisen jälkeen pinnalta otettujen näytteiden tuloksia. Niistä on havaittavissa, että eri rautaoksidien määrät ovat muuttuneet. Varsinkin magnetiitin määrä on lisääntynyt oikaisun aikana. Aikaisemmin magnetiitin osuus oli 30,3 % ja nyt oikaisun jälkeen 38 %. Hematiitin määrä on pysynyt lähes samana, mutta wustiitin määrä on vähentynyt aikaisemmasta 44,4 %:sta 38 %:iin.

Toisen tuote B levyn eri rautaoksidien määrät ovat nähtävissä taulukossa 14. Tuloksista on nähtävissä, että magnetiitin osuus on 34 %, hematiitin 38 % ja wustiitin 28 %. Oikaisun jälkeen magnetiitin määrä on lisääntynyt 34 %:sta 7,4 %:lla. Hematiitin määrä on vähentynyt 38 %:sta 33,3 %:iin. Wustiitin määrä on vähentynyt 2,7 %:lla alkuperäisestä 28 %:sta.

TAULUKKO 14. Koelevy 2 tulokset kylmäoikaisukoneella

Puhallus muutettu (35m3)			
Tuote B (2)	Magnetiitti	Hematiitti	Wustiitti
Ennen oikaisua	34 %	38 %	28 %
Oikaisun jälkeen	41.40 %	33.30 %	25.30 %

Kylmäoikaisun jälkeen magnetiitin määrä lisääntyy muita raudanoksiedeja enemmän. Wustiitti on epästabiili ja se pyrkii hajaantumaan magnetiitiksi. Tämä on huomattavissa XRD-analyyysien tuloksissa. Oikaisun jälkeen magnetiitin määrä on lisääntynyt suurin piirtein saman verran, mitä wustiitin määrä on vähentynyt. Suuresta magnetiitin määrästä johtuen tuotteen B hilse on magneettista.

11.5 Hiukkaskokoanalyysit

Hiukkaskoon määrittäminen tehtiin kulutusteräs levyille. Analyysia ei ollut mahdollista tehdä normalisoitaville levyille johtuen sen lastumaisuudesta. Hiukkaskoon määrittämisellä pyrittiin selvittämään pienten pölypartikkelien määrää koko näytteen tilavuudesta. Kaikki alle 10 mikrometrin kokoiset hiukkaset ovat helposti pölyviä ja aiheuttavat herkästi pölyongelmia. Haitallisimpia ovat kuitenkin 2,5 mikrometriä tai sitä pienemmät hiukkaset, jotka kulkeutuvat helposti ilmajärjestelmien mukana ja ovat vaarallisia hengitettäväksi.

11.5.1 Tuote A -harjakone

Liitteessä 1 ja 2 nähtävät tulokset saatiin harjakoneen pyörintänopeuden ollessa 50 Hz. Liitteistä 1 ja 2 löytyvät tiedot on nähtävissä yhteenvetona taulukosta 15.

TAULUKKO 15. Tuote A:n hiukkaskokoanalyysi harjakoneella (50 Hz)

Tuote A (50 Hz)	Ennen harjausta	Harjauksen jälkeen	Muutos %
10 µm	1,81 %	0,68 %	(-)62,4 %
25 µm	6,71 %	3,16 %	(-)53 %

Ennen harjausta levyn pinnassa oli pieniä alle 10 mikrometrin kokoisia partikkeleita 1,81 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 25 mikrometriä tai pienempiä oli 6,71 %.

Harjauksen jälkeen levyn pinnassa oli pieniä alle 10 mikrometrin kokoisia partikkeleita 0,68 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 25 mikrometriä tai pienempiä oli 3,16 %.

Liitteessä 3 ja 4 nähtävät tulokset saatiin harjakoneen pyörintänopeuden ollessa 80 Hz. Liitteistä 3 ja 4 löytyvät tiedot on nähtävissä yhteenvetona taulukosta 16.

TAULUKKO 16. Tuote A:n hiukkaskokoanalyysi harjakoneella (80 Hz)

Tuote A (80 Hz)	Ennen harjausta	Harjauksen jälkeen	Muutos %
10 µm	8,83 %	5,30 %	(-)40 %
25 µm	32,9 %	26,70 %	(-)18,9 %

Ennen harjausta levyn pinnassa oli pieniä alle 10 mikrometrin kokoisia partikkeleja 8,83 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleja, joiden koko on 25 mikrometriä tai pienempiä oli 32,9 %.

Harjauksen jälkeen levyn pinnassa oli pieniä alle 10 mikrometrin partikkeleja 5,3 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleja, joiden koko on 25 mikrometriä tai pienempiä oli 26,7 %.

Yhteenvetona voidaan todeta, että alle 10 mikrometrin partikkelien määrä ennen harjakoneen pyörintänopeuden muuttamista väheni 62,4 %:lla. 25 mikrometrin tai sitä pienempien partikkelien määrä väheni 53 %:lla. Harjakoneen pyörintänopeuden kasvattamisen jälkeen alle 10 mikrometrin partikkelit vähenivät noin 40 %:lla. 25 mikrometrin tai sitä pienempien määrä väheni 18,9 %:lla. Kannattaa muistaa, että tulosten vertaileminen on vaikeaa johtuen eri levyjen vaihtelevista hilsemääristä. Kokeita täytyisi suorittaa suurempi määrä, jotta tulokset olisivat paremmin vertailukelpoisia.

11.5.2 Tuote B -kylmäoikaisukone

Liitteissä 5 - 8 on nähtävissä tulokset, jotka saatiin kylmäoikaisukoneen puhalluksen ilmamäärän ollessa normaali eli 50 m³/min. Liitteistä löytyvät tiedot ovat nähtävissä yhteenvetona taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Tuote B:n hiukkaskokoanalyysi kylmäoikaisukoneella (50 m³)

Tuote B (50 m3)	Ennen oikaisua	Oikaisun jälkeen	Muutos %
Koelevy 1			
2,5 µm	2 %	3 %	(+)50 %
10 µm	6,32 %	8,93 %	(+)41 %
Koelevy 2			
2,5 µm	3 %	4 %	(+)33 %
10 µm	8,96 %	10,80 %	(+)20 %

Ensimmäisessä koelevyssä ennen oikaisua levyn pinnassa oli pieniä alle 2,5 µm mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 2 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä, oli 6,32 %. Oikaisun jälkeen levyn pinnassa oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 3 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 8,93 %.

Toisessa koelevyssä ennen oikaisua oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 3 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 8,96 %. Oikaisun jälkeen levyn pinnassa oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 4 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 10,8 %.

Yhteenvetona voidaan todeta, että alle 2,5 mikrometrin partikkelien määrä ennen kylmäoikaisukoneen puhalluksen muuttamista lisääntyi ensimmäisellä levyllä noin 50 %:lla. ja toisella noin 33 %:lla. 10 mikrometrin tai sitä pienempien partikkelien määrä lisääntyi ensimmäisellä levyllä 41 % ja toisella 20 %.

Liitteissä 9 - 12 on nähtävissä tulokset, jotka saatiin kylmäoikaisukoneen puhallusvoimakkuuden laskemisen jälkeen. Puhallusvoimakkuus oli 35 m³/min. Liitteistä löytyvät tiedot ovat nähtävissä yhteenvetona taulukossa 18.

TAULUKKO 18. Tuote B:n hiukkaskokoanalyysi kylmäoikaisukoneella (35 m³)

Tuote B (35 m³)	Ennen oikaisua	Oikaisun jälkeen	Muutos %
Koelevy 1			
2,5 µm	1 %	3 %	(+)200 %
10 µm	2,25 %	8,07%	(+)258 %
Koelevy 2			
2,5 µm	2 %	1 %	(-)33 %
10 µm	4,94%	5,94%	(+)20 %

Ensimmäisessä levyssä ennen oikaisua koelevyn pinnassa oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 1 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 2,25 %. Oikaisun jälkeen, levyn pinnassa oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 3 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 8,07 %.

Toisessa koelevyssä oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 2 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 4,94 %. Oikaisun jälkeen levyn pinnassa oli pieniä alle 2,5 mikrometrin kokoisia partikkeleita noin 1 % koko näytteen tilavuudesta. Partikkeleita, joiden koko on 10 mikrometriä tai pienempiä oli 5,94 %.

Yhteenvetona voidaan todeta, että alle 2,5 mikrometrin partikkelien määrä ennen kylmäoikaisukoneen puhalluksen muuttamista lisääntyi ensimmäisellä levyllä noin 200 %:lla. ja toisella väheni 33 %:lla. 10 mikrometrin tai sitä pienempien partikkelien määrä lisääntyi ensimmäisellä levyllä 258 % ja toisella 20 %.

12 POHDINTA

12.1 Harjakoneen pölynpoisto

Ennen kokeiden aloittamista harjakoneen harja vaihdettiin uuteen. Harja oli päästetty todella huonoon kuntoon. Harjan vaihtovälin pituuteen olisi syytä kiinnittää huomiota, jotta koneen puhdistusteho säilyisi.

Harjakoneella kokeissa käytetyissä tuotteen A levyissä oli suuri ero hilseen määrissä. Tuloksista voidaan päätellä, että harjakoneen pyörintänopeuden kasvattamisella oli merkitystä levyn pinnalle jäävään hilseen määrään harjauksen jälkeen. Hilseen määrä saatiin vähenemään noin 20 %:lla kun pyörintänopeutta oli kasvatettu 80 Hz:iin.

Tuotteille A tehdyissä hiukkaskokoanalyysissä oli havaittavissa, että alle 10 mikrometrin kokoiset partikkelit eivät poistuneet levyn pinnasta niin tehokkaasti silloin kun harjan pyörintänopeutta oli kasvatettu. Täytyy kuitenkin huomata, että ensimmäisellä koelevyllä oli huomattavasti vähemmän hilsettä sekä pieniä alle 10 mikrometrin kokoisia partikkeleja.

Normalisoitavalle levyille tehtiin vain yksi harjauksoe. Koe suoritettiin harjakoneen normaalilla pyörintänopeudella. Normalisoitavan levyn pinnasta hilsettä poistui melkein 75 %. Kokeessa käytetyn levyn hilsepinta oli melkein kauttaaltaan irti. Kokeita olisi suoritettu enemmän, mutta yleensä levyn hilsepinta oli kiinteä, eikä irtohilseen keräyskoetta voinut suorittaa. Normalisoitaville levyille ei voinut tehdä hiukkaskoon määrittämistä hilseen lastumaisuuden vuoksi. Tulosten perusteella irtonainen hilse saadaan poistettua harjakoneella hyvin. Jos levyssä on kiinteä hilsepinta, saattaa hilsepinta murtua levyn päädyistä harjakoneen jälkeen paloittelijaleikkurilla. Tällöin on mahdollista, että levyn etuosaan kerääntyy paksumpi kerros hilsettä, ja tästä voi seurata mahdollinen prosessihäiriö kylmäoikaisukoneella.

Harjakoneen sijainti herätti ajatuksia, miksi levy puhdistetaan sivu- ja paloitteluleikkurin välissä. Mahdollinen prosessihäiriö normalisoitavalla levyllä kylmäoikaisukoneella voitaisiin välttää, jos levy puhdistettaisiin paloitteluleikkurin jälkeen. Levyn paloittelun seurauksena levyn etuosaan mahdollisesti kerääntyvä hilse saataisiin puhdistettua, jos harjakone sijaitsisi paloittelijan jälkeen.

Yksi harjakoneen toimintaan liittyvä kehitysehdotus olisi määrittää harjaukselle automaattinen lopetus tietyn ajan jälkeen harjauksen aloittamisesta. Nykyisin jos linjasto pysähtyy ja harjan alle on jäänyt levy, jatkaa harja pyörimistä kunnes levy poistuu harjan alta. Harjakoneelle voitaisiin määrittää harjauksen aloittamisesta esimerkiksi minuutin viive, jonka jälkeen harja lopettaa automaattisesti pyörimisen. Tällä tavalla saataisiin vähennettyä harjan turhaa kulumista.

12.2 Kylmäoikaisukoneen pölynpoisto

Kylmäoikaisukoneella käytetyissä tuotteen B levyissä oli suuria eroja hilseen määrissä. Määrät vaihtelivat enemmän kuin harjakoneella käytetyissä tuotteen A levyissä. Tuloksista voidaan todeta, että kylmäoikaisun aikana levyn hilse määrä lisääntyy jokaisella kerralla. Hilseen määrä lisääntyi kuitenkin suhteessa enemmän silloin, kun puhallusvoimakkuutta oli muutettu pienemmäksi. Tästä voidaan todeta, että puhallusvoimakkuutta ei kannata ainakaan vähentää.

Tuotteille B tehdyissä hiukkaskoko analyysin tuloksista voidaan päätellä, että puhallusvoimakkuuden laskemisella oli huonontava vaikutus levyn puhtauteen oikaisun jälkeen. Pienten alle 2,5 mikrometrin partikkelien määrä lisääntyi huomattavasti pienemmällä puhallusvoimakkuudella kuin alkuperäisellä. Nykyisen tiedon mukaan tämän kokoiset partikkelit ovat vaarallisia hengitettäväksi. Myös alle 10 mikrometrin kokoisten partikkelien määrä kasvoi suhteessa enemmän kuin alkuperäisellä puhallusvoimakkuudella.

Levyssä oleva kiinteä hilsepinta murtuu oikaisussa, eikä puhallus yksinään riitä puhdistamaan levyn pintaa tarpeeksi hyvin. Tällä hetkellä uudemman kylmäoikaisukoneen nykyiset pölynpoistoputket ja imurin imuteho ovat alimitoitettu suhteessa puhallettavan ilman määrään. Tästä johtuen oikaisun aikana hilse pöli-

see ja leviää halli-ilmaan. Myös linjalta eteenpäin lähtevissä levyissä on hilsettä, joka pölisee, kun niitä siirretään nostureilla.

Tuotteiden A ja B hilse on voimakkaasti magneettiin tarttuvaa. Tästä johtuen magneetti voisi olla yksi hyvä puhdistuskeino, jolla näiden levyjen hilsemäärää voitaisiin saada vähennettyä. Sijoituspaikka magneetille voisi olla esimerkiksi kylmäoikaisukoneen jälkeen, jolloin levyn pintaa saataisiin puhdistettua, ennen kuin se lähtee linjalta eteenpäin. Levyjen siirtelystä johtuvaa pölyä varastointiyksikössä voitaisiin saada vähennettyä.

12.3 10 mm:n normalisoitava levy

Toisinaan normalisoitavien levyjen kiinteän hilsepinnan päälle tehdyt maalimerkkaukset häviävät myöhemmässä vaiheessa hilsepinnan murtuessa kylmäoikaisukoneella. Levyssä, jota seurattiin linjan läpi, oli kiinteä hilsepinta. Tällaisen levyn hilse pinta pitäisi saada murrettua jo aikaisemmin, jottei hilseen päälle tarvitsisi tehdä maalimerkkauksia.

Yhtenä jatkotutkimuskohteena voisi olla selvittää, pystyisikö normalisoitavia levyjä oikaistamaan enemmän normalisointiunin jälkeisessä kuumaoikaisukoneessa, jotta hilsepinta saataisiin rikottua. Tällä tavalla rikottu hilsepinta varisisi pois levyn kääntöpaikalla jäähdystystasolla. Tämän jälkeen levyn päälle tehtävät maalimerkkaukset pysyisivät paremmin levyn pinnassa.

Ohuet normalisoitavat levyt oikaistaan automaattisesti vanhalla oikaisukoneella. Vanhalla oikaisukoneella ei ole puhdistavaa puhallusta, kuten uudella oikaisukoneella. Sen seurauksena kiinteän hilsepinnan omaava normalisoitu levy on täysin irtohilseen peitossa oikaisun jälkeen. Tällainen levy joudutaan ajamaan uuden oikaisukoneen läpi, jotta irtonainen hilse saadaan puhdistettua levyn pinnasta. Yhtenä selvittämisen aiheena voisi olla, että olisiko levyt mahdollista oikaista suoraan uudella kylmäoikaisukoneella. Tällä tavalla säästettäisiin aikaa, koska levyjä ei tarvitsisi ajaa edestakaisin linjalla.

LÄHTEET

1. Ruukki lyhyesti. 2013. Ruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>. Hakupäivä 11.11.2013.
2. Ruukki Suomessa. 2013. Ruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Ota-yhteytta/Ruukin-toimipisteet>. Hakupäivä. 11.11.2013.
3. Ruukki Suomessa. 2013. Ruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsernirakenne>. Hakupäivä 11.11.2013.
4. Raahen tehdas. 2013. Ruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Usein-kysytyja-kysymyksiä>. Hakupäivä 17.11.2013.
5. Raahen tehtaan prosessikaaviot. 2013. Sisäinen dokumentti. Ruukki Oyj.
6. PowerPoint -esitelmä levyvalssaamosta. 2013. Sisäinen dokumentti. Ruukki Oyj.
7. Karjalainen, Heikki 2013. Kehitysinsinööri, Ruukki Oyj. Linjaston toimintaperiaatekeskustelut. 2.10.2013.
8. Tanskala, Mikko 2013. Kunnossapito, Ruukki Oyj. Pölynpoistolaitteiston toimintaperiaate keskustelut. 10.12.2013.
9. Teräskirja. 2009. Kahdeksas painos. Metallinjalostajat ry. Saatavissa: <http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/teraskirja.html>. Hakupäivä 22.1.2014.
10. Helkoma, Jussi 2014. kehitysinsinööri, Ruukki Oyj. Keskustelu: hehkutettavat levyt. 27.5.2014.
11. Salonen, Raimo O. - Pennanen Arto 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Saatavissa: http://www.tekes.fi/Julkaisut/fine_terveys.pdf. Hakupäivä 20.5.2014.
12. Levyvalssaamon esittely. 2013. Sisäinen dokumentti. Ruukki Oyj.

13. Saastamoinen, Ari 2011. Suorasammutettujen teräslevyjen hilsekerroksen kiinnipysyvyys. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto.
14. Haapakangas, Juho 2009. Kuumavalssattujen ultralujien nauhaterästen hilseen kiinnipysyvyys. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto.
15. Rhodes, Gale. 2000. Crystallography Made Crystal Clear: A Guide for Users of Macromolecular Models. 2. painos. San Diego: Academic Press.
16. Moeck, Peter 2014. X-ray Diffraction. Saatavissa:
<http://web.pdx.edu/~pmoeck/phy381/Topic5a-XRD.pdf>.
Hakupäivä 20.4.2014.
17. Rauhala, Samuli 2005. Röntgensäteilyn opetuksesta lukiossa sekä sen käytöstä tutkimuksessa ja lääketieteessä. Pro Gradu - tutkielma. Oulu: Oulun yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos.
18. Soodapuhallus. 2014. Nordblast. Saatavissa:
<http://nordblast.com/fi/soodapuhallus>. Hakupäivä 22.2.2014.
19. Geno, Jezek 2014. How magnets work. Saatavissa:
<http://www.howmagnetwork.com>. Hakupäivä 22.2.2014.

LIITTEET

Liite 1. Hiukkaskokoanalyysi tuote A, ennen harjakonetta (50 Hz)

Liite 2. Hiukkaskokoanalyysi tuote A, harjakoneen jälkeen (50 Hz)

Liite 3. Hiukkaskokoanalyysi tuote A, ennen harjakonetta (80 Hz)

Liite 4. Hiukkaskokoanalyysi tuote A, harjakoneen jälkeen (80 Hz)

Liite 5. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, ennen kylmäoikaisua (50 m³)

Liite 6. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, ennen kylmäoikaisua (50 m³)

Liite 7. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, kylmäoikaisun jälkeen (50 m³)

Liite 8. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, kylmäoikaisun jälkeen (50 m³)

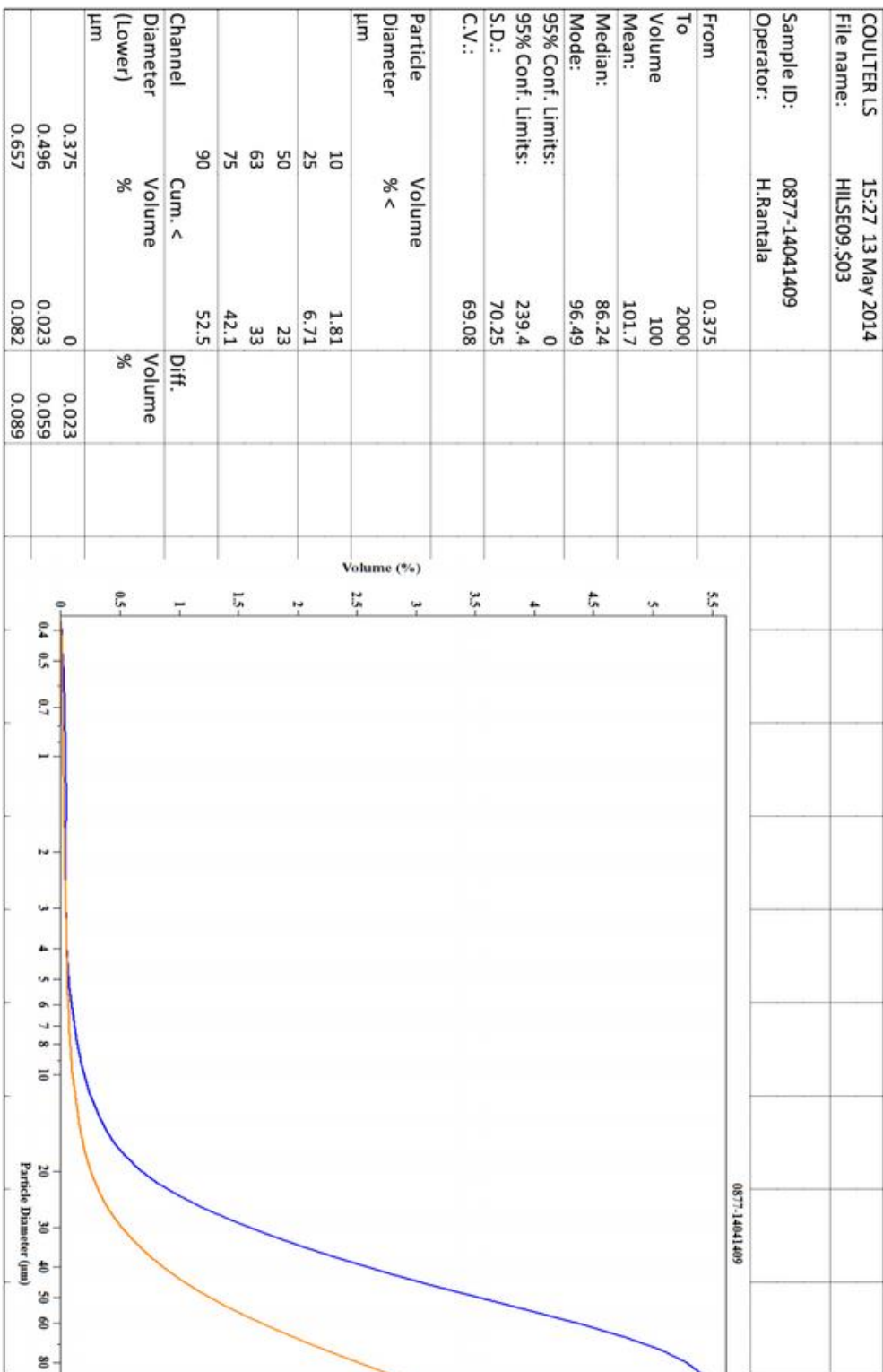
Liite 9. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, ennen kylmäoikaisua (35 m³)

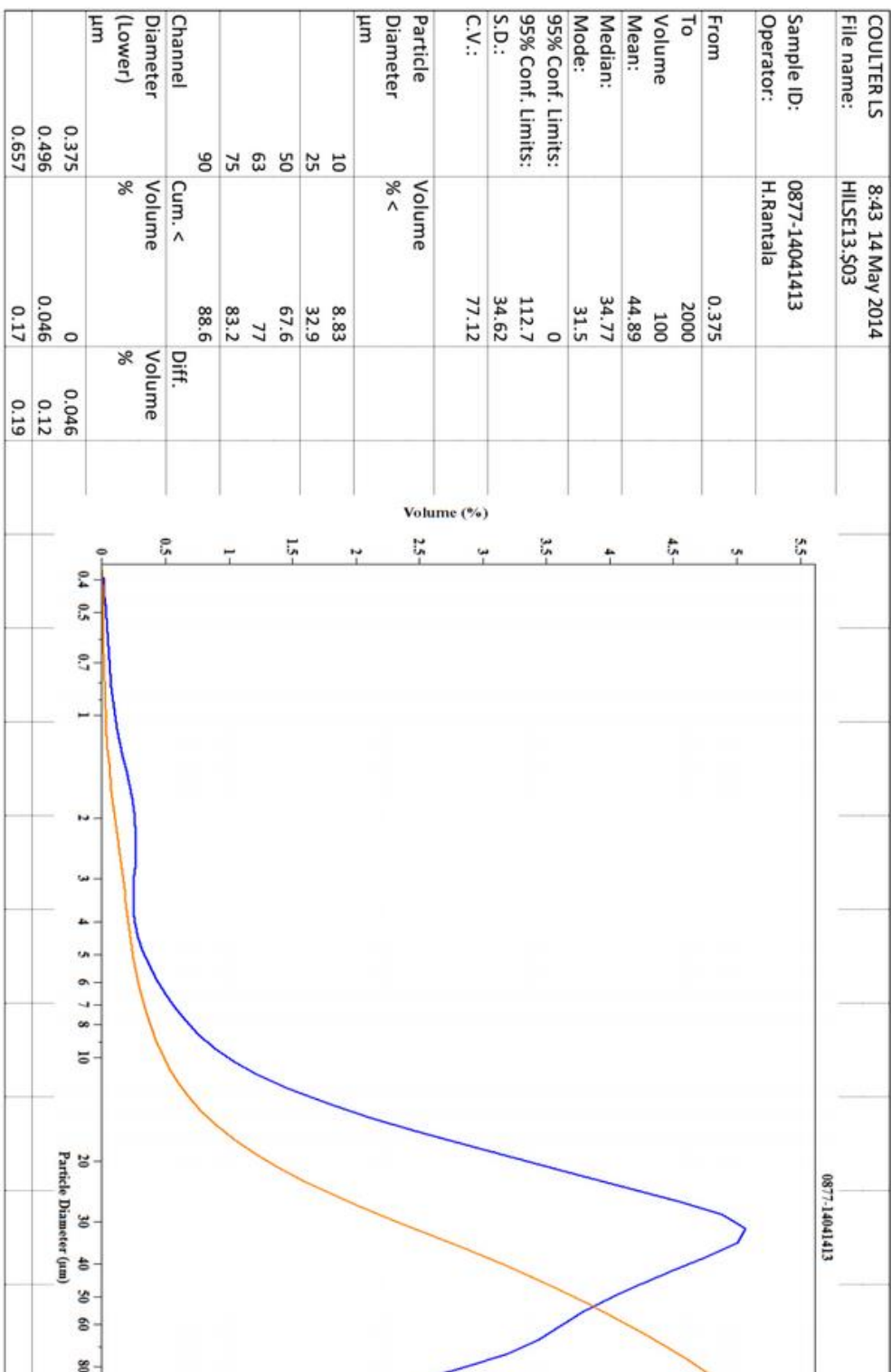
Liite 10. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, ennen kylmäoikaisua (35 m³)

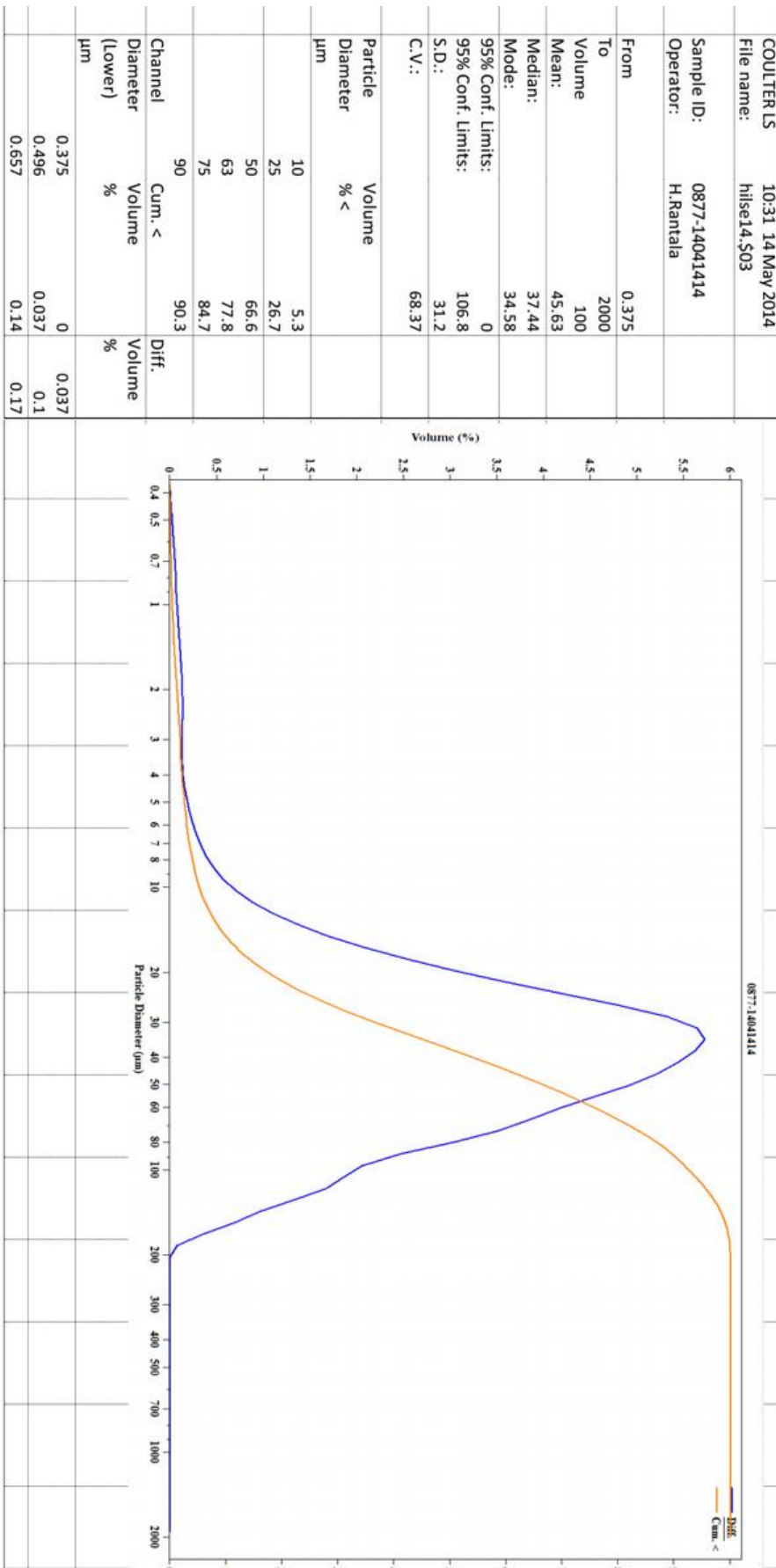
Liite 11. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, kylmäoikaisun jälkeen (35 m³)

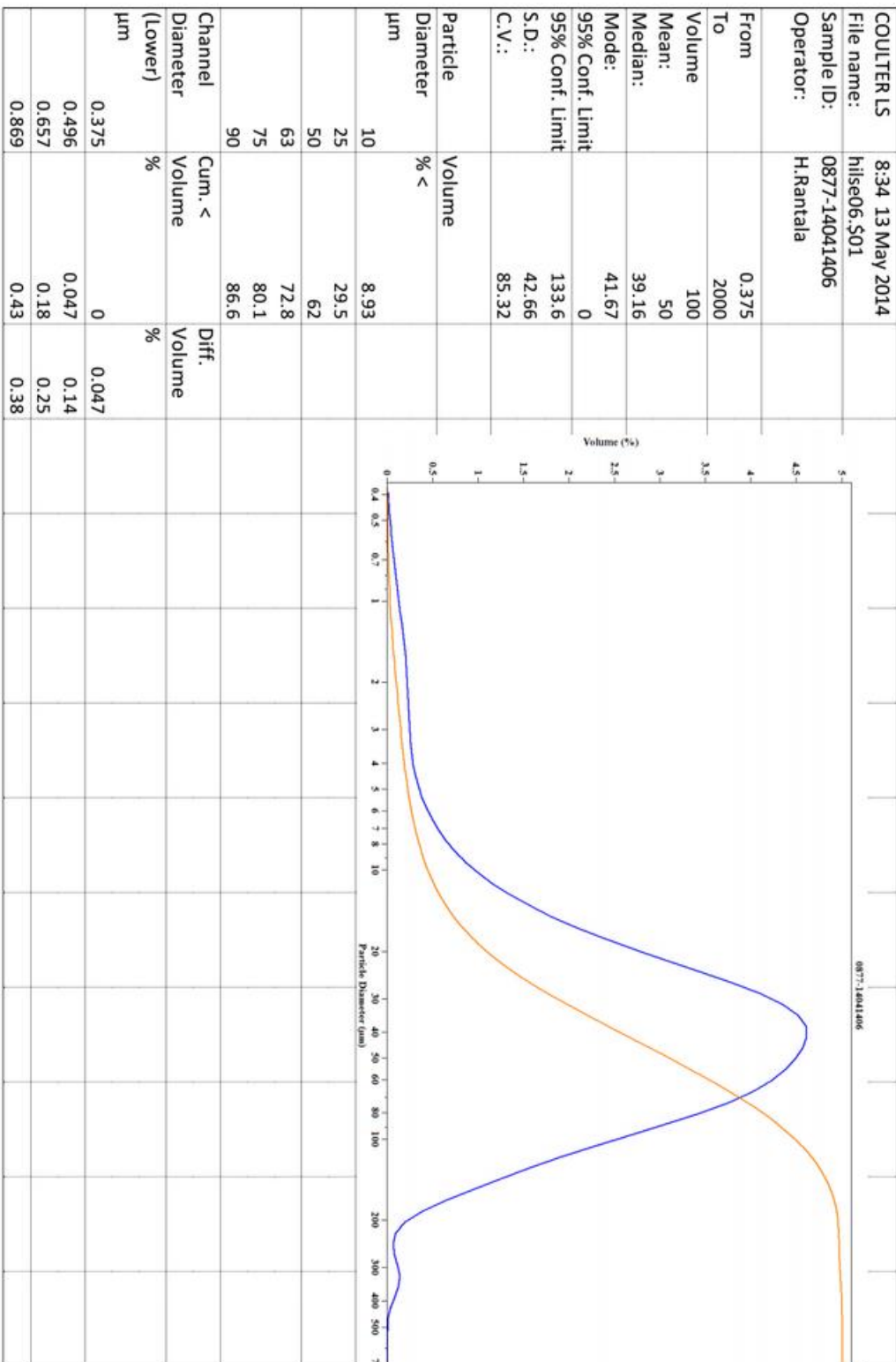
Liite 12. Hiukkaskokoanalyysi tuote B, kylmäoikaisun jälkeen (35 m³)

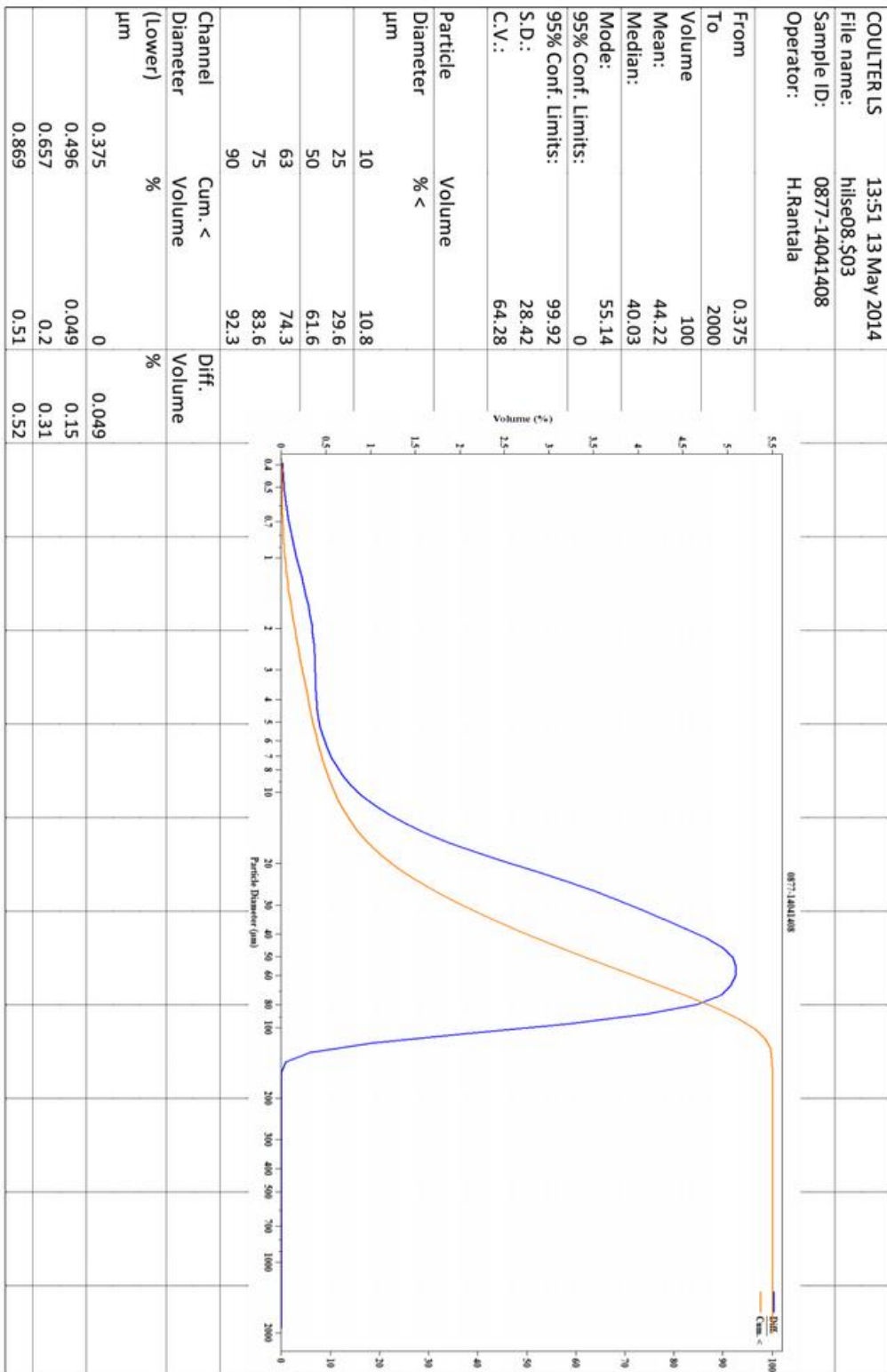
Liite 13. Koesuunnitelma

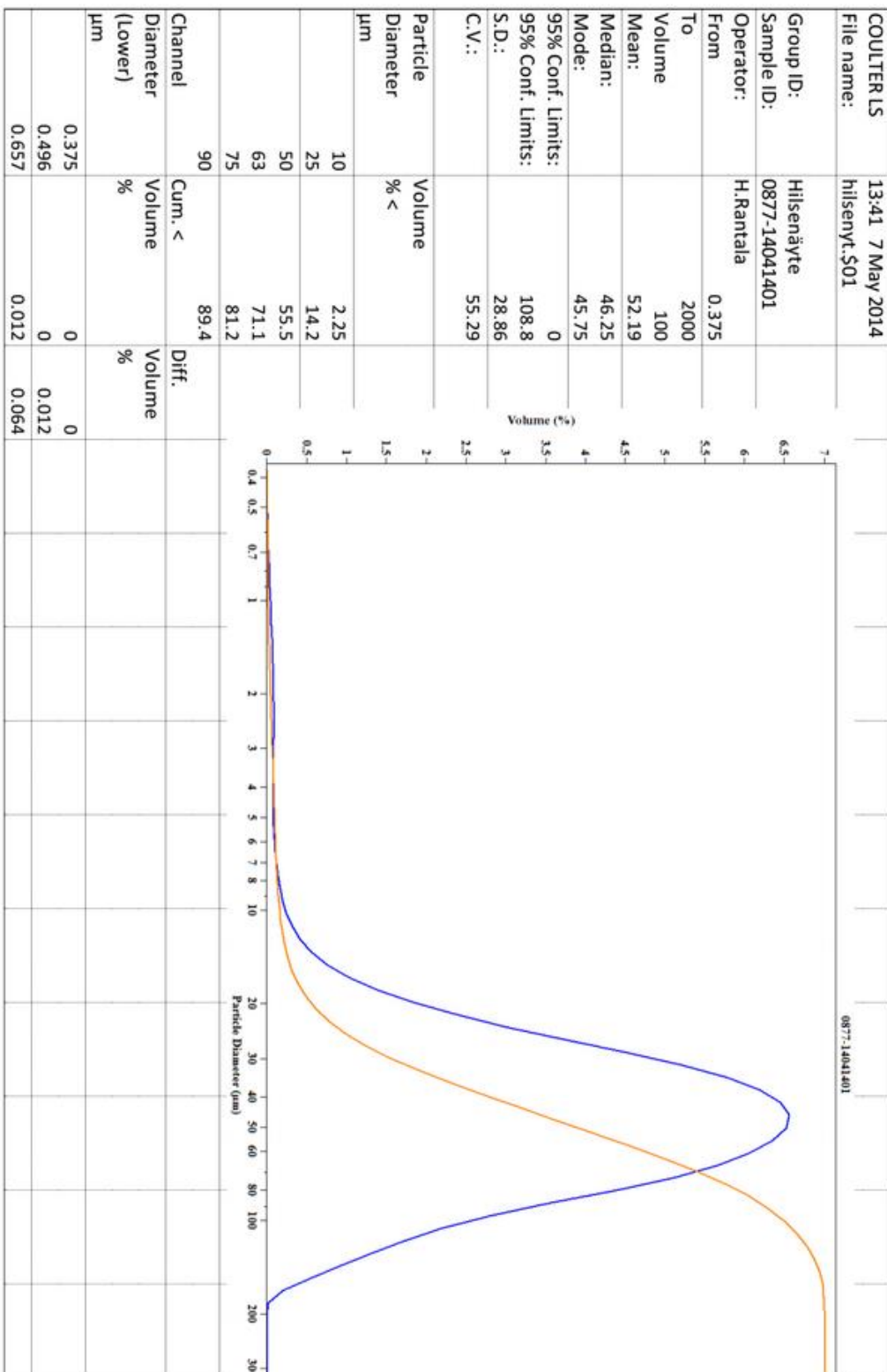












Koesuunnitelma

Testattaviksi tuotteeksi valittiin ohuet karkaistavat levyt (n. 10mm) ja normalisoitavat levyt (n. 20mm). Nämä levytuotteet aiheuttavat eniten pölynongelmia levyvalssauslinjalla. Karkaistavissa levyissä esiintyy hienoa pölyä ja normalisoitavissa levyissä isoa lastumaista hilsettä.

Harjakone

Nykytilanteen kartoitus

Testaan nykyisillä harjakoneen asetuksilla molemmat levytuotteet vertailukohteen saamiseksi. Puhdistetaan levyn pinta, esimerkiksi levyn leveys x 30 cm alueelta puhtaaksi ennen ja jälkeen harjakonetta. Kerätään irtopöly ja hilse talteen pusseihin, jotta pölyn määrä voidaan punnita ja saadaa vertailukohte.

Harjakoneen muutokset:

1. Vähennetään harjakoneen pyörintänopeutta ja samalla lisätään harjan painatusta levyn pintaan vasten
 - Puhdistetaan levyn pinnasta levyn leveys x 30 cm alueelta ennen ja jälkeen harjauksen
 - Näyte ennen harjausta, koska pölymäärät vaihtelevat levyittäin
 - Kerätään harjatut näytteet pusseihin punnitusta varten ja verrataan lähtötilanteeseen
2. Lisätään harjakoneen pyörintänopeutta, mutta vähennetään harjan painatusta levyn pintaa vasten
 - Puhdistetaan levyn pinnasta levyn leveys x 30 cm alueelta ennen ja jälkeen harjauksen
 - Näyte ennen harjausta, koska pölymäärät vaihtelevat levyittäin
 - Kerätään harjatut näytteet pusseihin punnitusta varten ja verrataan lähtötilanteeseen

Ajetaan molemmat levytyypit yhteensä 6 kertaa harjakoneen läpi. Tällöin puhdistettavia näyteenottoalueita on yhteensä 12. Harja olisi hyvä vaihtaa uuteen ennen kokeita, jotta saataisiin luotettavampaa tietoa muutoksien vaikutuksista.

Kylmäoikaisukone

Nykytilanteen kartoitus

Testataan nykyisillä koneen parametreilla molemmat levytuotteet vertailukohteen saamiseksi. Puhdistetaan näytealue levyn pinnasta ennen puhallusta ja oikaisua. Toinen näytealueen puhdistus suoritetaan puhalluksen ja oikaisun jälkeen. Näytealueen koko voisi olla sama kuin harjakoneella käytetty.

Kylmäoikaisukoneen puhalluksen muutokset:

1. Vähennetään puhallusvoimakkuutta
 - Puhdistetaan näytealue ennen puhallusta ja oikaisun jälkeen
 - Testataan molemmat levytuotteet (näytealueita yhteensä 8)

2. Pidetään puhallusvoimakkuus alkuperäisellä tasolla, mutta kokeillaan katkonaista puhallusta
 - Puhdistetaan näytealue ennen puhallusta ja oikaisun jälkeen
 - Testataan molemmat levytuotteet (näytealueita yhteensä 8)

Jokaisen kokeilun aikana merkitään ylös koneen asetukset, esimerkiksi puhallusteho, levyn nopeus, suuttimien etäisyys levystä. Kylmäoikaisukoneesta voitaisiin merkitä ylös esimerkiksi plastisointiaste.

Magneetti

Uusi menetelmä, jota voitaisiin kokeilla levyn puhdistukseen. Otetaan testattavat levyt hallin lattialle, jossa ajetaan nosturin magneetit levyn päälle. Toinen mahdollinen testauspaikka voisi olla kuumaoikaisukone 3 jälkeen jäähdytystasolla. Asetetaan magneetit sellaiselle korkeudelle, jossa ne eivät vielä jaksa nostaa levyä ylös. Ajetaan nosturin magneetit levyn päältä yksi tai kaksi kertaa.

Kokeilun jälkeen nosturin magneetit voitaisiin ajaa esimerkiksi ison paperin alle, jolloin magneeteista voitaisiin katkaista virta ja puhdistaa magneetit epäpuhtauksista. Kerätään hilse / pöly talteen. Lopuksi tarkastellaan kuinka paljon hilsettä / pölyä on kerääntynyt nosturin magneetteihin.