

**Petri Tuominiemi**

**JAUHEMAALAUKSEN OPTIMOINTI**

**Pystymaalaamo**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU**

**Kone- ja tuotantotekniikka**

**Toukokuu 2015**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Aika</b> Toukokuu 2015	<b>Tekijä/tekijät</b> Petri Tuominiemi
<b>Koulutusohjelma</b> Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
<b>Työn nimi</b> JAUHEMAALAUKSEN OPTIMOINTI		
<b>Työn ohjaaja</b> Mika Kumara	<b>Sivumäärä</b> [38 + 3]	
<b>Työelämäohjaaja</b> Pasi Kari		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli saada tietoa jauhemaalauksessa väri­vaihdossa syntyvän jätemaalin osuudesta ja jauhemaal­in kustannuksesta yksittäisissä tapauksissa että vuosit­asolla. Jauhemaalauksessa ei ollut aikaisemmin tehty näin tarkkaa hyötysuhteen mittausta eri ripustustavoilla tai tutkittu kuinka ripustustapa vaikuttaa jauhemaal­in kulutukseen. Maalikalvon paksuudella on olennainen osa jauhemaal­in kulutukseen. Hyvän maalikalvon paksuus on noin 70 µm.</p> <p>Pistooleista tulevan jauhemäärän ja hyötysuhteen avulla laskettiin väri­vaihdossa jätemaa­liksi menevää osuutta ennen kuin jauhemaal­in talteenotto voitiin kytkeä päälle.</p>		

**Asiasanat**

hyötysuhde, jauhemaalau­us, jätemaali, kustannukset, laitteisto

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Date</b> May 2015	<b>Author/s</b> Petri Tuominiemi
<b>Degree programme</b> Mechanical Engineering and Produktion Technology		
<b>Name of thesis</b> OPTIMISATION OF POWDER COATING		
<b>Instructor</b> Mika Kumara		<b>Pages</b> [38 + 3]
<b>Supervisor</b> Pasi Kari		
<p>The purpose of this thesis was to gather information about how much overspray is formed while when switching the colour in powder coating. The other purpose was to learn about the expenses of powder coating in singular cases as well on as annual level. In powder coating the efficiency measurements between horizontally coated surfaces and vertically coated surfaces hasn't been performed before. There were no documents available which would show the influence of different methods on the consumption of the powder. The thickness of the paint cover is an essential part of evaluating how much powder is needed. The paint cover should be approximately 70 µm thick.</p> <p>The amount of overspray that is formed in switching the colour was calculated with the help of the amount of the powder that comes out of the powder coat gun and with the efficiency measurements before the recycling system of the powder is turned on.</p>		
<b>Key words</b> efficiency measurement, powder coating, overspray, expenses, equipment		

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 MÄKELÄ ALU OY</b>	<b>2</b>
<b>3 JAUHEMAALAUUS</b>	<b>6</b>
3.1 Jauhemaalauksen edut	6
3.2 Jauhemaalauksen heikkoudet	8
<b>4 JAUHEMAALAUSSLAITTEISTO</b>	<b>9</b>
4.1 Ohjausyksikkö	10
4.2 Jauhekeskus	11
4.3 Jauhesäiliö	12
4.4 Injektori	12
4.5 Jauhepistooli	14
4.6 Maalauskaappi	15
4.7 Sykloni	16
4.8 Kuljetinrata	17
4.9 Hyötysuhde	19
<b>5 KALVONPAKSUUS</b>	<b>20</b>
<b>6 TYÖNSUORITUS</b>	<b>22</b>
6.1 Hyötysuhteen mittaaminen	22
6.2 Jauhemäärän mittaaminen pistooleista	27
<b>7 TULOKSET</b>	<b>31</b>
7.1 Hyötysuhde	31
7.2 Jauhemäärän mittaaminen pistooleista	32
7.3 Eri tapoja kustannustehokkaaseen jauhemaalaukseen	34
<b>8 POHDINTA</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>38</b>
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Jauhemaalauslaitteisto	9
KUVIO 2. Ohjausyksikkö	10
KUVIO 3. Jauhekeskus	11
KUVIO 4. Jauhesäiliö	12
KUVIO 5. Injektori	13
KUVIO 6. Automaattijauhepistooli	14
KUVIO 7. Korkeajännitteen muodostus pistoolissa	15
KUVIO 8. Viuhkasuutin, huuhdeltu keskielektrodi	15
KUVIO 9. Jauhemaalauskaappi	16
KUVIO 10. Sykloni	17
KUVIO 11. Kuljetinrata	18

KUVIO 12. Ripustinkoukku	18
KUVIO 13. Kalvonpaksuusmittari	20
KUVIO 14. Kalvonpaksuus mittaukset	20
KUVIO 15. Vaaka	22
KUVIO 16. Testissä käytetty profiili	23
KUVIO 17. Ripustustiheys joka toiseen koukkuun	23
KUVIO 18. Ripustustiheys jokaiseen koukkuun	24
KUVIO 19. Jauheen talteenotto päällä	24
KUVIO 20. Profiilien punnitseminen	25
KUVIO 21. Jauhemaalain punnitseminen	25
KUVIO 22. Jauheenkierron ilmoitusvalo	26
KUVIO 23. Lataus- ja pakkaus piste	27
KUVIO 24. Uusi ja vanha holkki	28
KUVIO 25. Ohjausyksikkö. Virta (kV) ja jännite $\mu$ A nolla arvo	28
KUVIO 26. Pistooli 1-18	29
KUVIO 27. Jauhemäärän mittaus	29
KUVIO 28. Holkinvaihto	30
KUVIO 29. Pistooli jako	35
KUVIO 30. Havainnollistettu jätemaalain osuus voisi vähentyä	36

## **TAULUKOT**

TAULUKKO1. Pistooleista tuleva jauhemaali ohjearvo	14
TAULUKKO 2. Ohjausyksikköön säädetyt asetukset	26
TAULUKKO 3. Hyötysuhteen mittaus tulokset	31
TAULUKKO 4. Pistooleista tuleva jauhemaali minuutissa	33
TAULUKKO 5. Yksittäiset kustannukset maalauksen aloituksessa a	34
TAULUKKO 6. Yksittäiset kustannukset maalauksen aloituksessa b	34
TAULUKKO 7. Jauhemaalain kulutus aloituksessa pistoolit 10-18	35
TAULUKKO 8. Jättemaalain osuus minuutissa ilman kiertoa	36

## **LIITTEET**

LIITE 1 Raaka profiilien painot	
LIITE 2 Maalattujen profiilien painot	
LIITE 3 Maalaus asetukset ja kulutettu jauhemaali	

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Mäkelä Alu Oy:lle jauhemaalamaan. Jauhemaalamo on nykyaikainen pintakäsittelylaitos, jossa profiilit kulkevat kuljetinradalla pystyasennossa. Profiililla tarkoitetaan kappaleen muotoa, joita Mäkelä Alu Oy:llä on satoja erilaisia. Jauhemaalamossa ei ole aikaisemmin tutkittu näin tarkasti jauhemaalain kulutusta värienvaihtojen yhteydessä tai jätemaaliksi menevää osuutta eikä ollut olemassa tietoa jauhemaalauksen hyötysuhteista erilaisilla ripustustavoilla. Hyötysuhteen mittaamisella haettiin tietoa siitä, kuinka suuri osuus jauhemaalista päätyy jätemaaliksi jauhemaalauksen aikana.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi jauhemaalauslaitteisto ja sen toimintaperiaate ja pyritään löytämään mahdollisia ratkaisuja jätemaalain pienentämiseksi maalauksessa ja maalauksen aloituksessa. Useat jauhemaalit ovat kalliita ja monet erikoisvärit voivat maksaa useita kymmeniä euroja kilolta. Siksi onkin erittäin tärkeää, että jauhemaalain kulutukseen ja sen seurantaan perehdytään riittävän hyvin säästöjen saamiseksi. Jauhemaalauksessa ohi ruiskutettu jauhemaal saadaan otettua talteen laitteiston kierrätyksen ansiosta ja se voidaan käyttää uudelleen. Jauhemaalauksen hyötysuhdetta saadaan nostettua merkittävästi jauheen talteenottojärjestelmän ansiosta.

Hyötysuhteen mittaamisessa oli ongelmana oikean profiilin valinta mittausta varten. Erilaisia maalattavia profiileita on useita satoja. Hyötysuhde selvitettiin erilaisilla ripustustavoilla ja niiden vaikutuksella jauhemaalain kulutukseen. Myös jauhemaalauksen aloituskustannuksiin kuuluvaa jätemaalain syntymisen osuutta pyrittiin alentamaan löytämällä joitakin ratkaisuja sen pienentämiseksi. Jauhepistooleista minuutissa tuleva massavirta mitattiin, minkä avulla voitiin laskea jätemaalikustannuksia maalauksen aloituksessa.

## 2 MÄKELÄ ALU OY

Mäkelä Alu Oy:n syntyminen alkoi jo 1937, kun Fredrik Mäkelä perusti 20-vuotiaana oman yrityksen. Jo lapsena Fredrik Mäkelä oli kiinnostunut tekniikasta. Hän tutki kaikkea, mikä liittyi tekniikkaan kirjoista aina kellon purkamiseen ja uudelleen kasaamiseen. Fredrik Mäkelä olisi halunnut opiskelemaan Tampereelle teknilliseen kouluun, mutta hänellä ei ollut rahaa lähteä opiskelemaan. Kunnalta oli anottu avustusta, mutta sitä ei myönnetty, vaikka kunta olisi saanut avustuksen valtiolta takaisin. Kunta hylkäsi hakemuksen, koska Fredrik Mäkelä oli sotaorpo ja kouluun olisi vaadittu vuoden harjoittelu. (Kivipelto 2000, 13.)

Fredrik Mäkelä kävi Vähässäkyrössä, Viljo Pajusen peltisepäntoiminnassa, puolitoista vuotta opettelemassa peltisepän töitä ennen oman yrityksen perustamista. Idean harjoitteluun hän sai kauppias Antti Luoma-aholta postinhakureissulla, joka sai puhuttua Fredrik Mäkelän ympäri ja lähtemään harjoitteluun. (Kivipelto 2000, 14-15.)

Fredrik Mäkelä aloitti yritystoiminnan valmistamalla muurinkuoria kotonaan Luoma-aholla, pihalla, Helsingistä ostamallaan työkalulla. Rahoituksen työkaluihin hän sai kauppias Antti Luoma-aholta. Tilat yritykselleen Fredrik Mäkelä sai Luoma-ahon Haukanpäästä, jossa oli hänen enon omistama, tyhjillään oleva Syrjälän talo. Tammikuussa 1938 Fredrik Mäkelä ilmoitti paikallislehdessä valmistavansa uudenaikaisilla koneilla ja välineillä erilaisia läkkitöitä. (Kivipelto 2000, 16-17.)

Kauppias Antti Luoma-aho oli mukana uuden yrityksen markkinoinnissa ja huomasi, kuinka hyvin läkkiastiat menivät kaupaksi ja halusi mukaan yritykseen. Uutena yrittäjä Fredrik Mäkelä suostui ottamaan Antti Luoma-ahon yrityskumppaniksi ja 1938 alkuvuodesta yritys tunnettiin nimellä Luoma-aho ja Mäkelä, läkkiastiatehdas. (Kivipelto 2000, 17.)

Antti Luoma-ahon ja Fredrik Mäkelän yhteinen yritys kesti kaksi vuotta, ja 1940 alussa Antti Luoma-aho hankki omat yritystilat läkkiastiatuotannolleen Iivari Korkea-aholta. Syitä yrityksen jakaantumiseen oli useita, mutta yhtenä syynä oli työntekijöiden sotkeminen Antti Luoma-ahon omaan liiketoimintaan, jossa hän valmisti lapualaiselle lakkitehtailija

Ulviselle pahvilaatikoita. Myöskään markkinoinnin osalta yhteistyö ei enää jatkunut, vaikka välit pysyivät miesten kesken hyvinä. (Kivipelto 2000, 18-19.)

Fredrik Mäkelä löysi vaimon Hilma Pokelan samalta kylältä ja häitä juhlittiin 1940 huhtikuussa. Heille syntyi kolme lasta Esko 1941 & Heikki 1947, joka menehtyi lapsena ja Elisa 1951. Esko oli isänsä rinnalla yritystoiminnassa ja myöhemmin yrityksen toimitusjohtajana. Yrityksessä mukana toiminnassa ja omistaja oli myös Elisa. 1941 Fredrik Mäkelä osti vanhan riihirakennuksen josta hän rakennutti tuotantotilat ja myöhemmin yläkertaan asunnon perheelleen. (Kivipelto 2000, 20-21.)

1940-luvulla Fredrik Mäkelän läkkiastiatehtaalla valmistettiin monia erilaisia tuotteita puusta ja pellistä. 1950-luvun alkupuolella Fredrik Mäkelä oli sitä mieltä, että peltiastioiden kysyntä heikkenee. 1950-luvun alussa kokeiltiin ensimmäisen kerran alumiiniastioiden valmistusta painosorvaamalla. 1950-luvun loppupuolella Fredrik Mäkelä osti Vaasalaisen Tamar oy alumiinitehtaan koneet ja raaka-aineet. Se oli kannattava ostos, koska kilpailijoita ei suomessa ollut kuin yksi. Alumiinista valmistettiin erilaisia astioita ja einesvuokia. Tämä oli ensimmäinen kerta Mäkelä Alun historiassa kosketus alumiiniin. (Kivipelto 2000, 22-25.)

Rakennusteollisuuden tuotteiden valmistamista Fredrik Mäkelä alkoi suunnitella jo 1950-luvun lopussa. Fredrik Mäkelä valmisti rakennusteollisuuden monenlaisia tuotteita saunankiukaita, ilmastointijärjestelmiä, palo-ovia, heloja, vesirännejä ja syöksytorvia. 1950-luvun loppu oli merkittävä muutos yritykselle, kun Fredrik Mäkelä loi katseen tulevaisuuteen ja kasvavalle rakennusteollisuudelle. (Kivipelto 2000, 27-29.)

1960-luvun alussa oli aika miettiä uudestaan yrityksen nimeä ja yritysmuotoa. Niinpä 1962 alussa läkkiastiatehtaasta tuli Mäkelän Peltituote Ky ja äänivaltaisiksi jäseniksi Fredrik ja Hilma Mäkelä ja äänettömiksi lapset Esko ja Elisa. Fredrik Mäkelä toimi yrityksen toimitusjohtaja, mutta hän ei viihtynyt konttoritöissä, vaan halusi olla mukana tuotannossa, kuten oli toiminut tuohonkin asti. (Kivipelto 2000, 37.)

1965 tuotantosuunta muuttui, kun Mäkelän Peltituote hankki konesaumakoneen ja alkoi valmistaa sinkittyä konesaumakattopeltiä. Muovipinnoitettuun peltiin siirryttiin 1970-luvun alkupuolella. Aluksi muovipinnoitettu pelti tuotiin englannista, mutta Rautaruukki



aloitti 1977 muovipinnoitetun pellin tuotannon, jolloin pellit haettiin Rautaruukilta Hämeenlinnasta. (Kivipelto 2000, 41 - 44.)

Tuotantosuunnan muutos osoittautui vuosien mittaan hyväksi ratkaisuksi. Töitä oli valtavasti ja tuotantotiloja jouduttiin rakentamaan kovalla vauhdilla lisää. Vuonna 1963 oli rakennettu 300 neliöinen puuhalli, jota laajennettiin vuonna 1969 450 neliömetrillä. Konttoritilaa rakennettiin vuonna 1971 hallin päätyyn 100 neliötä. Vuonna 1973 rakennettiin 1000 neliön halli ja vielä vuonna 1976 rakennettiin 600 neliön halli. (Kivipelto 2000, 74 - 75.)

Mäkelän Peltituotteesta oltiin kiinnostuneita ja he saivat ostotarjouksia yrityksestään. Syksyllä 1988 Patron Group Oy teki Mäkelän peltituotteelle ostotarjouksen, ja kauppasopimus allekirjoitettiin 12.12.1988. Kaupassa Patron Group Oy sai Mäkelän peltituotteen osakkeista 60 % ja sai määräämisvallan Mäkelän Peltituotteesta. Vuonna 1990 yrityksen nimi muutettiin, ja näin Mäkelän Peltituotteesta tuli Mäkelä Metals Oy ja Mekelä Metals Ltd ulkomailla. (Kivipelto 2000, 79 - 80.)

Esko Mäkelä oli nähnyt 1982 Norjassa vieraillessa alumiinin puristuslaitoksen ja oli pyörityteltä ajatusta rakentaa puristuslaitos myös Luoma-aholle. Suunnitelmat, jotka olivat olleet jo valmiina ennen myyntiä Patron Group Oy:lle, esiteltiin konsernihallinnolle. Uuden alumiinin puristuslinjan rakentaminen alkoi vuonna 1989. 16.12.1990 puristettiin ensimmäiset alumiiniprofiilit ja viralliset vihkiäiset pidettiin 11.3.1991. (Kivipelto 2000, 80-82.)

Vuonna 1990 Rautaruukki osti Patron Groupin koko osakekannan ja näin Mäkelä Metals oli Rautaruukin omistuksessa. 1993 keväällä Esko Mäkelä ja Ari Mastokangas ilmoittivat olevansa valmiita ostamaan Mäkelä Metalsin alumiinituotannon ja Rautaruukki Oy oli valmis myymään nopeiden neuvottelujen jälkeen. 1993 huhtikuussa kauppa allekirjoitettiin ja ensimmäinen toukokuuta alumiinituotanto siirtyi Esko Mäkelä ja Ari Mastokankaan omistamalle Peltiili Oy:lle. (Kivipelto 2000, 87-88.) Peltiili oli perustettu vuonna 1983, joka teki hetken aikaa tiilikuvioista muotokatetta Mäkelän Peltituotteen nimiin (Kivipelto 2000, 75 - 76). Mastokankaan perhe myi omistuksensa Mäkelä Alu Oy:stä Mäkelän perheelle vuonna 2011 joulukuussa ja näin ollen Mäkelän perhe omistaa täällä hetkellä koko yrityksen. (Mäkelä 2015.)

Peltiili Oy nimi vaihtui nopeasti Mäkelä Alu Oy:ksi (Kivipelto 2000, 90). Mäkelä Alun toiminta jatkui tuotantotiloissa, jotka Peltiili oli jättänyt omistukseensa vuonna 1989 ja vuonna 1994 rakennettiin vielä lisää tuotantotilaa 840 neliötä ja näin Mäkelä Alu aloitti tuotannon syntysijoillaan Luoma-aholla. (Kivipelto 2000, 92.)

Mäkelä Alun katseet alkoivat suuntautua Vimpeli – Hoisko - tien toiselle puolelle vuonna 1996, jolloin se rakensi uudelle kaava-alueelle valimon, joka sulattaa alumiiniromun ja valaa siitä aihioita puristimelle. Vuonna 1997 valmistuivat uudet konttoritilat Vimpeli - Hoisko - tien varteen. Vuonna 1998 rakennettiin uudelle kaava-alueelle uusi pulverimaalaamo valimon viereen. Tähän asti alumiiniprofiilit oli maalattu Karkkilassa RS-tuotemaalaus Oy:ssä, josta Mäkelä Alu oli ostanut 90 % osakekannasta 1995. (Kivipelto 2000, 96-99.) Vuonna 1999 rakennettiin Mäkelä Alun historiassa suurin halli, johon tuli lattiapinta-alaa 9600 neliötä ja pituutta 160 metriä. Halliin ostettiin uusi puristin, ja vanha puristin siirrettiin Vimpeli - Hoisko - tien toiselta puolelta samaan halliin uuden puristimen viereen. (Kivipelto 2000, 100.)

Pulverimaalaamaa laajennettiin 2003, jolloin hankittiin uusi maalauslinja ja vuonna 2005 uusittiin toinen maalauslinja. Korkeavarasto rakennettiin 2003 ja laajennus toteutettiin 2007. Varaston ansiosta Mäkelä Alu voi toimittaa asiakkailleen alumiiniprofiileita muutamassa päivässä. Logistiikka valmistui 2007 ja kaikki lähtevä ja tuleva tavara kulkee logistiikan kautta joustavasti ja sujuvasti. Vielä 2008 valmistui puristimen laajennus, jolloin otettiin käyttöön kolmas puristin. Kaikki isot rakennushankkeet saatiin päätökseen loppuvuodesta 2008. (Mäkelä 2015.)

Mäkelä Alun aloittaessa vuonna 1993 työntekijöitä oli 22. Työntekijämäärä on kasvanut tasaisesti joka vuosi, ja vuonna 1999 oli 105 työntekijää. (Kivipelto 2000, 113.) Myös liikevaihdon kehitys on ollut tasaisen voimakasta. Alumiini profiilien valmistuksen alussa vuonna 1991 liikevaihto oli noin 1.1 miljoonaa euroa. Vuonna 1993 6.1 miljoonaa euroa ja vuonna 1999 liikevaihto oli jo 21.8 miljoonaa euroa. (Kivipelto 2000, 109.) 2014 liikevaihto oli 59 miljoonaa euroa ja työntekijämäärä noin 200 henkilöä. (Mäkelä 2015.)

### 3 JAUHEMAALAUUS

Jauhemaalauus on kuivamaalausmenetelmä, joka on keksitty jo 1960-luvulla, mutta varsinaiseen nousuun jauhemaalauus lähti vasta 1980-luvulla (Metsäalan ammattilehti 2014). Jauhemaaleissa ei käytetä liuotteita eikä niistä vapaudu VOC-päästöjä (Teknos Oy 2010.) VOC-päästöt (Volatile Organic Compounds) ovat liuottimista haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita on satoja erilaisia. Useamman yhdisteen yhteisvaikutus voi olla terveydelle haitallinen, tai jopa yksittäinen yhdiste. VOC-päästöt voivat aiheuttaa päänsärkyä ja ärsytysoireita silmiin tai limakalvoille. Lisäksi työpaikalla viihtyvyys kärsii johtuen hajuhaitoista. (Hengitysliitto 2015).

Jauhemaalauksella voidaan maalata kulmankin taakse, koska jauhemaalauus on sähköstaattista maalausta. (Teknos Oy 2015.) Paineilman avulla jauhemaalili leijutetaan astiassa sopivaksi ilma-jauheseokseksi, josta se pumpataan injektorien avulla jauhepistooleille, jossa jauhepartikkelit varautuu sähköisesti (AA Tekno Oy). Sähköstaattisessa maalauksessa kappale tulee olla maadoitettu jolloin jauhe hakeutuu ruiskutuksessa maalattavaan kappaleeseen. Maalattava kappale pitää olla puhdas liasta, roskista ja rasvasta, jolla jauhemaalilin pysyvyys varmistetaan. (Teknos Oy 2015.)

Uunissa jauhemaalili sulaa jäykäksi nesteeksi jolloin alkaa maalin verkkoutuminen ja tarttuu alustaan kiinni tehden kovan ja kestävä pinnan. Uunin lämpötila on noin 180-200°C ja polttoaika noin 12 min. Jauhemaalilin uunitusajat ovat aina kappaleen lämpötiloja, jolloin pienet ja ohut seinämäiset kappaleet vaativat lyhyemmän uunituksen kuin paksuseinäiset kappaleet. Uunituksen ja jäähtymisen jälkeen maalipinta on täysin kuiva ja heti käyttövalmis. (AA Tekno 2015; Teknos Oy 2015; Jokinen ym. 2001, 120).

#### 3.1 Jauhemaalauksen edut

Jauhemaalauksessa on monia hyviä etuja verrattuna märkemaalaukseen. Jauhemaalauksessa ohi ruiskutettu maali voidaan ottaa talteen ja hyödyntää maalauksessa uudelleen, jolloin maalihävikki jää hyvinkin pieneksi. Jauhemaalilin talteenotolla saadaan menekin kustannus paljon alhaisemmaksi kuin märkemaaleilla, jossa maalin talteenottoa ei juurikaan voida toteuttaa. (Jokinen ym. 2001, 121).

Jauhemaalattu pinta kestää mekaanista rasitusta paremmin kuin märkemaalattu pinta. Jauhemaalattu pinta ei halkea kovinkaan helposti iskusta tai taivutusta tehtäessä. Kappaleen jäähtymisen jälkeen tuotteet voidaan pakata välittömästi toisiaan vasten pelkäämättä, että ne tarttuvat toisiinsa kiinni. Kappaleiden läpimenoaika jauhemaalauksessa on huomattavasti nopeampi kuin märkemaalauksissa. ( Jokinen ym. 2001, 121).

Jauhemaalauksella on helpompi toteuttaa yhdellä maalauksella paksujakin maalikalvoja yli 150 µm:n ilman, että maali alkaa valua. (Teknos Oy 2015.) Märkemaalauksessa 150 µm:n maalikalvon saavuttamiseksi tarvitaan kolme maalauskertaa ja jokaisen maalauskerran jälkeen maalin on annettava kuivua noin 4-6 tuntia eli yhteensä noin 14 tuntia. Jos tarvittaisiin noin 180 µm:n maalikalvo, täytyisi kuivumisen kestää ennen neljättä maalauskertaa noin 12 tuntia. Nämä ajat ovat minimiaikoja jossa lämpötila on +23°C. (Veiste 2008).

Jauhemaalauksella on helpompi automatisoida kuin märkemaalauksella. Jauhemaalaukselaitteet ovat yksinkertaisempia, työturvallisempia ja huoltokustannukset edullisempia märkemaalaukseen verrattuna. Jauhemaalaukselaitteita ei tarvitse puhdistaa työpäivän päätteeksi, vaan maalin voi jättää laitteeseen valmiiksi seuraavaan päivään asti, jolloin maalauksen aloitus on nopeampaa. ( Jokinen ym. 2001, 121).

Työturvallisuus on jauhemaalauksessa huomattavasti parempi. Jauhemaalauksessa ei käytetä liuottimia eikä synny VOC-päästöjä. Palovaara on jauhemaalauksessa huomattavasti pienempi kuin märkemaalauksessa, jossa käytetään herkästi syttyviä liuottimia. ( Jokinen ym. 2001, 121).

Värienvaihto jauhemaalauksessa on helppoa ja nopeaa. Värienvaihdossa ruiskutuslaitteisto puhdistetaan paineilmalla. (Teknos Oy.) Automaattiset jauhemaalaukselinjat ovat viime vuosina kehittyneet paljon. Nykyään värin vaihdon voi suorittaa jo alle viidessä minuutissa. Nopeat värin vaihdot mahdollistaa laitteistoissa käytetyt oikeat materiaalit joihin jauhe maali ei tartu. Laitteisto on suunniteltu oikein huomioiden värinvaihdot. (AA Tekno Oy 2015).

### 3.2 Jauhemaalauksen heikkoudet

Jauhemaalauksella on muutamia heikkouksia verrattuna märkämaalaukseen. Jauhemaalit voivat olla kalliita sävystä riippuen. Jauhemaalaa myydään 20 kg laatikoissa, mutta pienempiä erinä ostettaessa hinta kohoaa kg-määrästä riippuen. (Jokinen ym. 2001, 122).

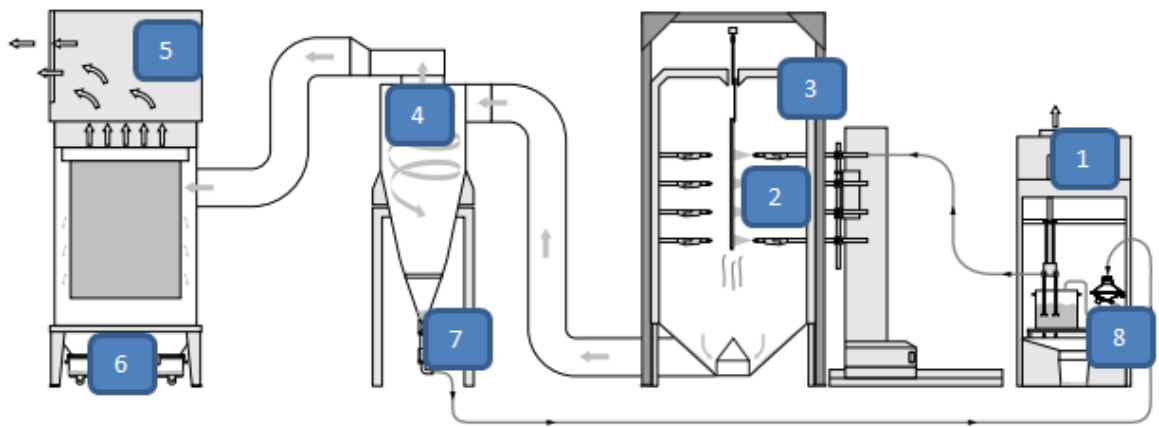
Maalattavan kappaleen täytyy kestää lämpöä noin 150-200°C ja kappaleen pitää johtaa sähköä, että jauhemaalilla saadaan ruiskutusvaiheessa tarttumaan kappaleen pintaan. (Teknos Oy.)

Jauhemaalauslaitteisto on kallis investointi. Jauhemaalausprosessiin tarvitaan esikäsitteily, jauhemaalauslaitteisto ja erillinen uuni, jonka lämpötila saadaan tarvittaessa nostettua noin 200°C:een. Uunin lämmittämiseen kuluu paljon energiaa, mikä aiheuttaa isoja kustannuksia jauhemaalauksessa. (Jokinen ym. 2001, 122). Yleensä uunin lämmitysmuodoksi valitaan kaasu. Kaasuuuni on kalliimpi investointi kuin sähköuuni, mutta kaasu on käyttökustannuksiltaan halvempi käyttää. (Opetushallitus 2004b)

Korroosion kesto ei välttämättä ole yhtä hyvä kuin mitä märkämaalauksella saavutetaan. Jauhemaalauksessa pintaan ruiskutetaan vain yksi maalikerros, jolloin huokonen voi yltyä koko maalikerroksen läpi ja korrosio alkaa maalikalvon alla. Märkämaalauksessa ruiskutetaan useita ohuita maalikerroksia, jolloin huokosia harvoin jää lävistämään koko maalikerroksen. Yleensä maalikalvon huokoisuus johtuu huonosta esikäsitteilystä tai materiaalista itsestään. (Jokinen ym. 2001, 122).

#### 4 JAUHEMAALAUSLAITTEISTO

Jauhemaalauslaitteisto (KUVIO 1) on monimutkaisempi kuin märkemaalauslaitteisto. Jauhemaalain ruiskutukseen tarvitaan jauhesäiliö, jossa jauhemaalain sekaan syötetään paineilmaa ja jauhe saadaan leijumaan. Injektori imee jauhemaalaa alipaineen avulla jauhesäiliöstä jauheputkeen, jota pitkin se kulkeutuu jauhepistoolille. (Jokinen ym. 2001, 126).



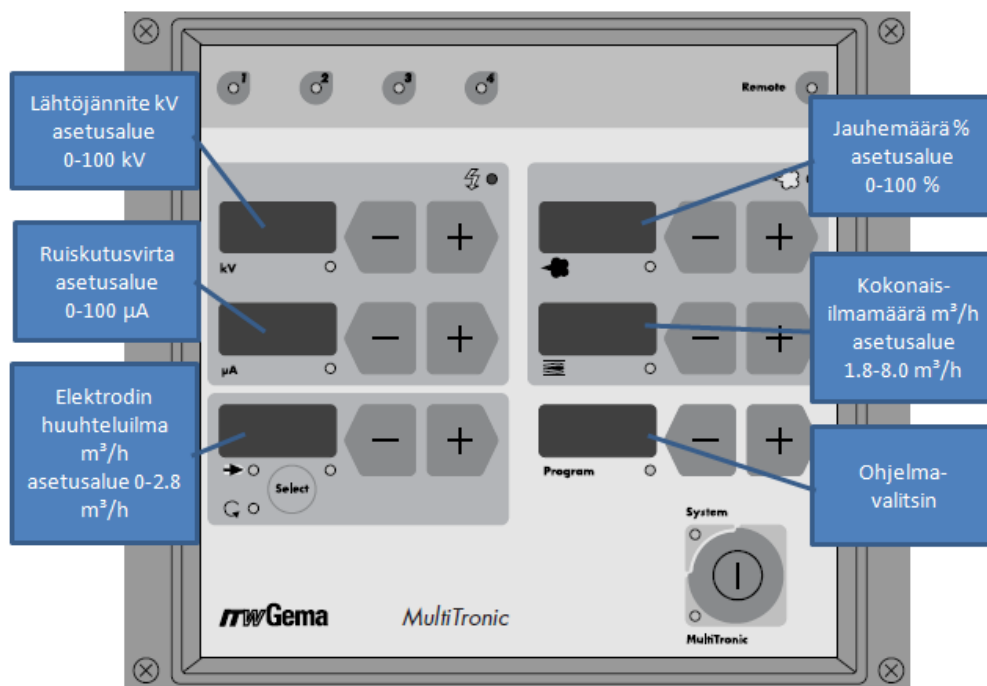
KUVIO 1. Jauhemaalauslaitteisto (mukaillen ITW Gema GmbH 1997)

- 1 Jauhekeskus
- 2 Automaattipistoolit
- 3 Jauhemaalauskaappi
- 4 Sykloni
- 5 Jälkisuodatinyksikkö
- 6 Jätemaalii
- 7 Ohi ruiskutetun jauhemaalain takaisin kierto
- 8 Seula

Jauhemaalii saadaan kerättyä talteen ja uudelleen käytettäväksi maalauskaapin avulla. Maalauskaapin tarkoituksena on estää jauhemaalii kulkeutumasta työympäristöön ja kerätä imun avulla jauhemaalii talteen. Maalauskaapista jauhemaalii kulkeutuu sykloniin, jossa kevyimmät ja pienimmät alle 10µm jauhepartikkelit menevät jälkisuodattimiin ja raskaammat käyttökelpoiset laskeutuvat alas pyörien syklonin reunoilla, josta ne ohjautuu kiertoputkeen ja takaisin jauhesäiliöön. (Teknos Oy.)

## 4.1 Ohjausyksikkö

Jauhepistoolin ohjausyksiköllä (KUVIO 2) ohjataan jauhepistoolin toimintaa. Jokainen parametri voidaan säätää ohjausyksiköstä erikseen. Ohjausyksikön muistiin voidaan tallentaa 255 valmista maalausohjelmaa ja ohjelmia on helppo muokata uudestaan. Parametrejä säätämällä voidaan vaikuttaa pinnan laatuun ja saadaan hyvä sähköntuotto pistoolille. Ohjausyksikköön saadaan liitettyä kymmenen jauhepistoolia, joita voidaan ohjata samanaikaisesti. (ITW Gema GmbH 2006.) Pistooleista tulevaa jauheen määrää voidaan säätää jauhemäärä prosenttia muuttamalla tai kokonaisilmamäärää muuttamalla. Jauhemaalintunkeutuvuutta voidaan säätää jännitteellä (kV) ja virralla ( $\mu\text{A}$ ). Jännite ja virta vaikuttaa myös jonkin verran maali pinnan laatuun.



KUVIO 2. Ohjausyksikkö (mukaiillen ITW Gema GmbH 2006)

## 4.2 Jauhekeskus

Jauhekeskuksessa (KUVIO 3) käytetään joko leijuttavaa jauhesäiliötä tai jauhetoimittajan 20 kg:n jauhelaatikkoa, joka helpottaa värin vaihtoa ja voidaan varastoida sellaisenaan käytön jälkeen. Jauhekeskuksessa on oma imuysikkö, joka imee värinvaihdossa ja maalauksen aikana tulevan jauhepölyn, jolloin jauhemaal ei pääse leviämään työympäristöön. (ITW Gema GmbH 1997.)



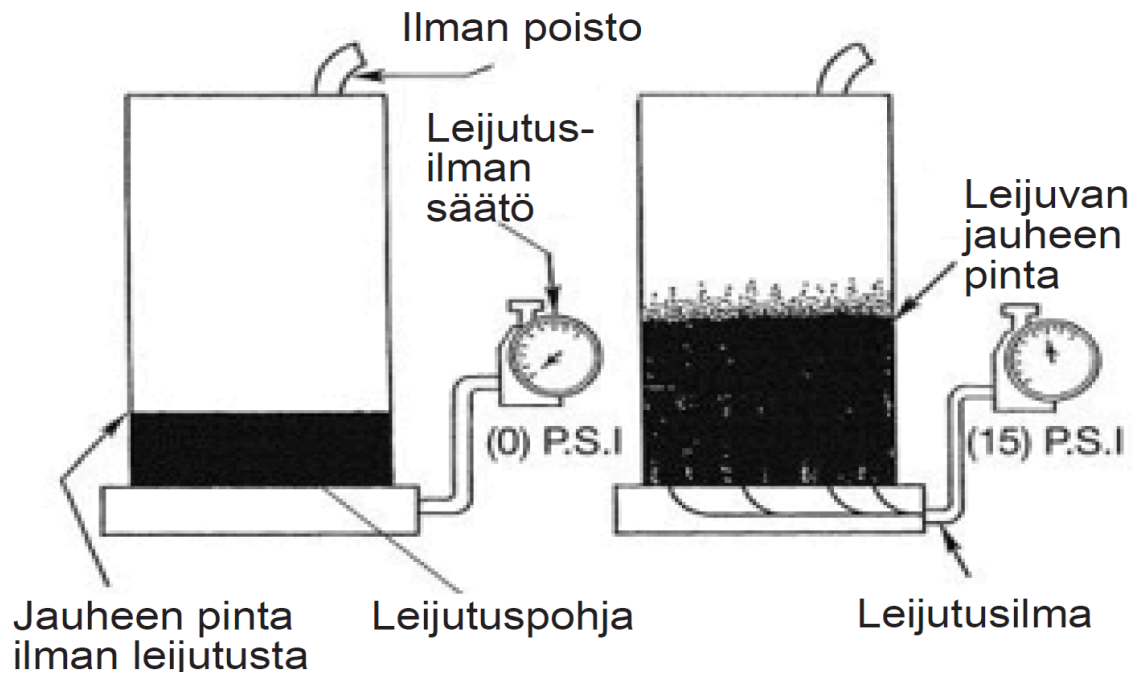
KUVIO 3. Jauhekeskus (mukaan ITW Gema GmbH 1997)

Jauhekeskuksesta ohjataan värinvaihdossa jauhepistoolien, jauheletkujen ja imuputkien puhdistusta jotka puhdistuvat automaattisesti (ITW Gema GmbH 1997).



### 4.3 Jauhesäiliö

Kaksiosaisen pohjan ansiosta (KUVIO 4) jauhemaalain sekaan saadaan syötettyä paineilmaa. Leijutus saadaan toteutettua, kun paineilmaa johdetaan pohjan ja huokoisen levyn väliin, josta paineilma pääsee huokoisen levyn läpi jauhemaalain, joka saa jauhemaalain leijumaan. ( Jokinen ym.2001, 126).





KUVIO 4. Jauhesäiliö (Opetushallitus 2004a)

### 4.4 Injektori

Injektorin (KUVIO 5) tehtävä jauhemaalauksessa on kuljettaa jauhe jauhepistoolille paineilman avulla. Injektorissa on teflonholkki, joka kuluessaan vähentää huomattavasti jauheen ulostulo määrää pistooleilta. (ITW Gema AG 2004a.)



TAULUKKO 1. Pistooleista tuleva jauhemaali ohjearvot (mukaillen ITW Gema AG 2004a)

Total air 		4 m <sup>3</sup> /h	5 m <sup>3</sup> /h	6 m <sup>3</sup> /h
		Powder output (g/min)		
Powder output  (%)	10	30	35	45
	20	60	75	90
	30	85	100	120
	40	110	130	150
	50	130	160	175
	60	150	180	210
	70	175	200	235
	80	200	240	270
	90	215	260	
	100	235	290	

#### 4.5 Jauhepistooli

Sähköstaattista jauhepistoolia (KUVIO 6) käytetään jauhemaalien ruiskuttamiseen maalattavaan kappaleeseen. Automaatti jauhepistoolilla saavutetaan hyvinkin korkeita siirtohyötysuhteita. Siirtohyötysuhteella tarkoitetaan kuljetusilman ja jauhemaalien suhdetta. (ITW Gema AG 2004b).

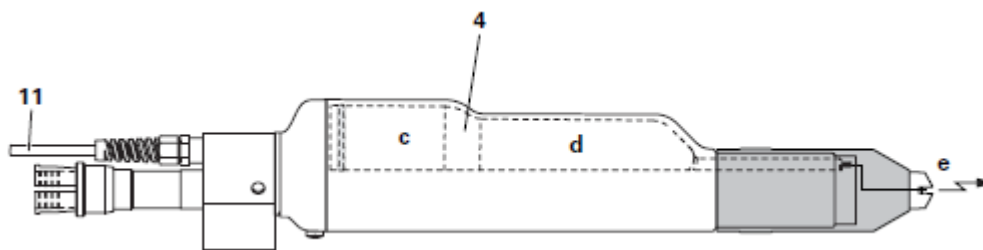


KUVIO 6. Automaattijauhepistooli (ITW Gema AG 2004b)

- 1 Suutin
- 2 Kiristysholkki
- 3 Runko jossa irrotettava H-v kaskadi

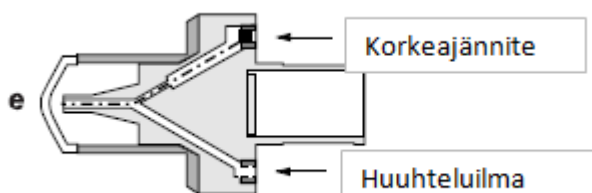
- 4 SuperCorona rengas
- 5 Jauhepistoolin kiinnike
- 6 Jauheputki
- 7 Letkun kiinnike

Jauhepistooliin (KUVIO 7) jännite johdetaan kaapelia pitkin (11) ja siellä korkeajännite-kaskadiin ja jännite nostetaan (C) ylös. Kaskadissa korkeajännite tasasuunnataan ja moninkertaistetaan useassa vaiheessa (d). Kun tarvittava korkeajännite on tavoitettu, ohjataan korkeajännite suuttimen elektrodille (e). (ITW Gema AG 2004b.)



KUVIO 7. Korkeajännitteen muodostus pistoolissa (ITW Gema AG 2004b).

Suuttimen malli on viuhkasuutin, jossa on huuhdeltu keskielektrodi (KUVIO 8). Lovetunpään ansiosta jauhepilvestä tulee soikea kuvio ja viuhkasuuttimesta tullessa jauhe varautuu keskielektrodilla. Jauhepistoolin sisällä, kaskadissa, saatu korkeajännite ohjataan keskielektrodille kytkentärenkaan kautta. Keskielektrodille ohjataan huuhteluilmaa, jolla pidetään keskielektrodi puhtaana ja toimivana. (ITW Gema AG 2004b.)

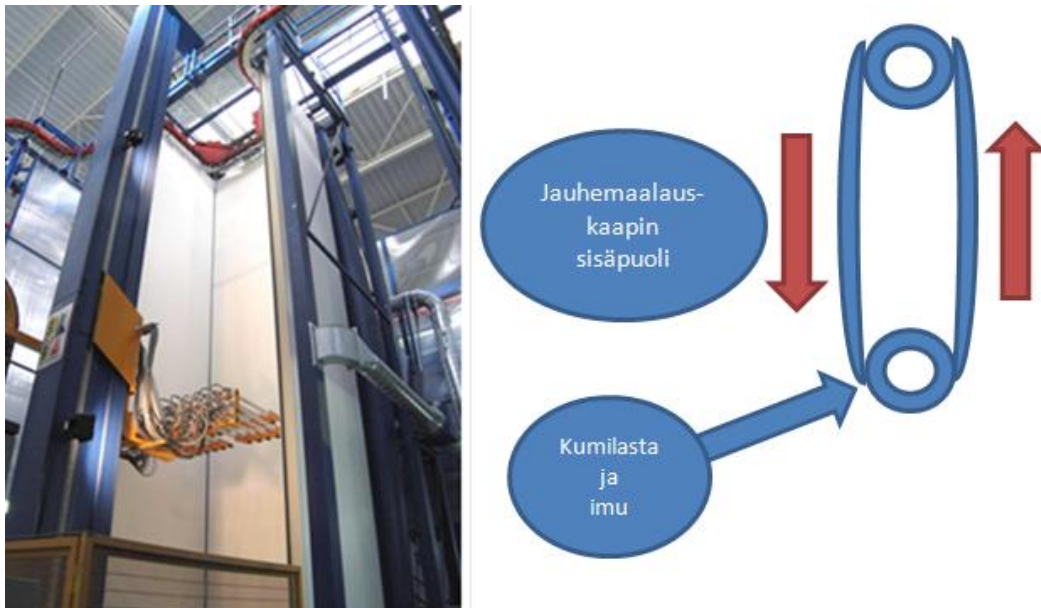


KUVIO 8. Viuhkasuutin, huuhdeltu keskielektrodi (ITW Gema AG 2004b).

#### 4.6 Maalauskaappi

Jauhemaalaukskaappi (KUVIO 9) on täysin automaattisesti puhdistuva. Jauhemaalaukskaapissa on kolme seinää ja lattia, joissa kaikissa on pyörivä matto. Värinvaihto aika jauhe-

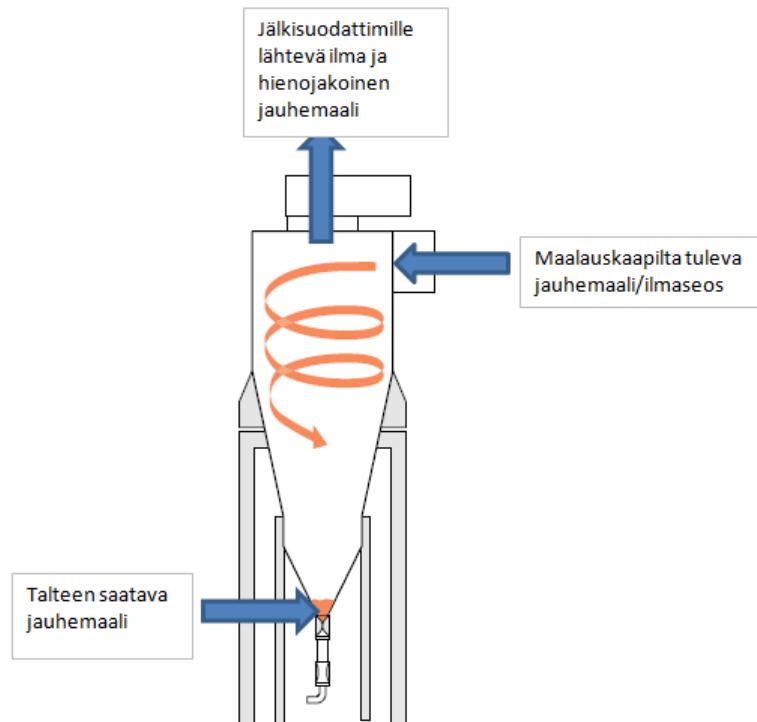
maalaukskaapille on jopa alle kolme minuuttia. Väri­vaihdossa matot pyörivät ja mattojen päissä on kumilastat ja imu, joka puhdistaa matot jauhemaalista. (Tell systems, inc).



KUVIO 9. Jauhemaalaukskaappi (Tell systems, inc)

#### 4.7 Sykloni

Maalaukskaapilta tuleva ilma johdetaan sykloniin (KUVIO 10) tangentiaalisesti, jolloin jauhemaalipartikkelit lähtevät pyörimään syklonin reunoilla. Keskipakoisvoiman ansiosta jauhepartikkelit ajautuvat seinää pitkin pyöriessä kohti syklonin pohjaan josta ne ohjataan takaisin jauhemaalilaatikkoon. (ITW Gema AG 1997.)

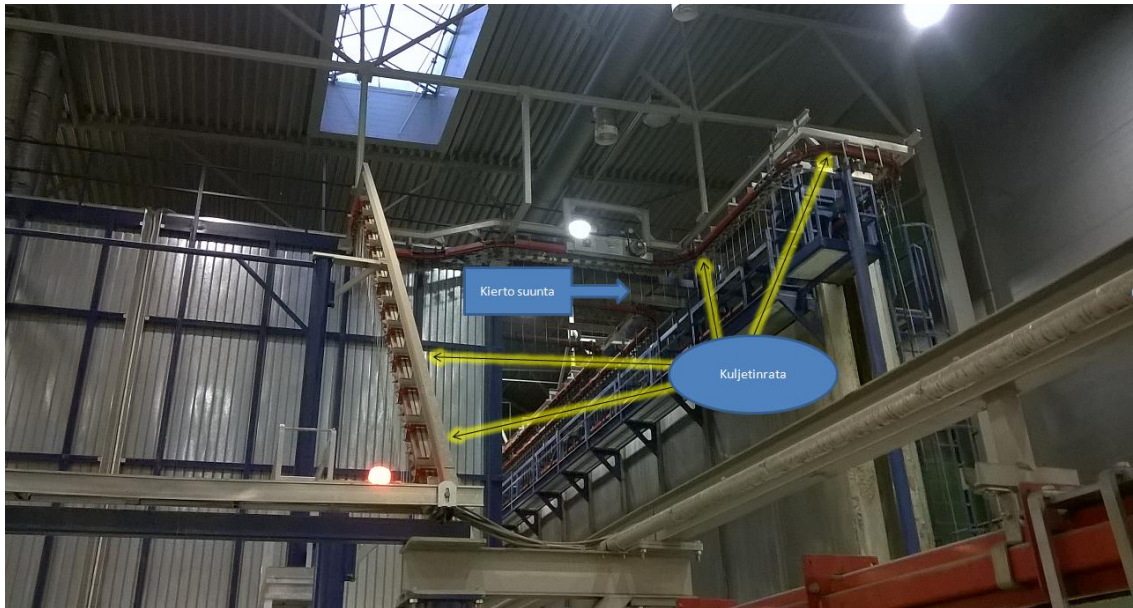


KUVIO 10. Sykloni (mukaillen ITW Gema AG 1997)

Erotusaste syklonissa on noin 80 %, kun jauhepartikkelin koko on isompi kuin 10  $\mu\text{m}$  (Ekomans Oy.) Jauhemaalia syklonilla talteen otettaessa jauhepartikkeleita rikkoutuu ja murtuu pienemmiksi partikkeleiksi, joita ei saada talteen, vaan ne ohjautuvat jälkisuodattimille ja sitä kautta jätemaaliksi. (Teknos Oy 2015).

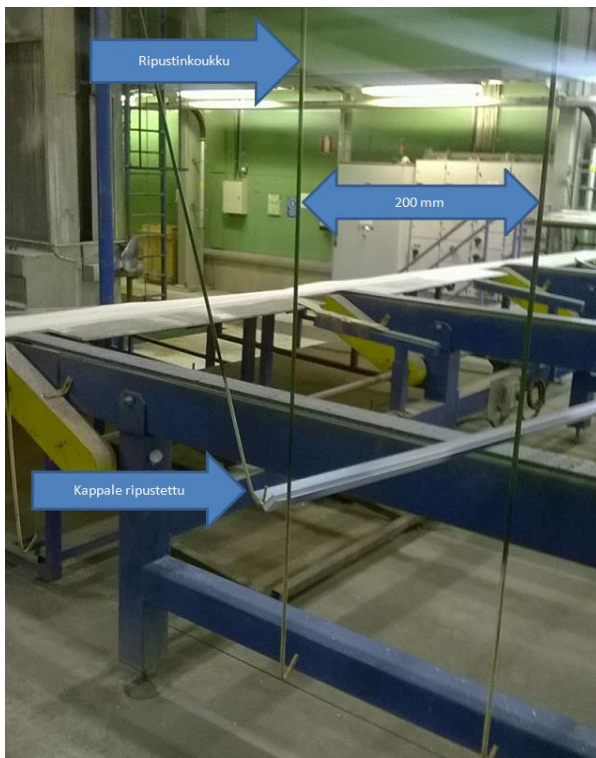
#### 4.8 Kuljetinrata

Kuljetinradalla (KUVIO 11) on noin 1200 ripustinkoukkaa, ja niiden väli on 200 mm (KUVIO 12). Kuljetinradan pituus on noin 240 m ja nopeus on 1.5 m/min. Kuljetinradalle ripustetaan kappaleet ja ne kulkevat esikäsitteilyn, kuivauksen, maalauksen ja polttouunin kautta pakkaukseen, jossa kappale irrotetaan ja valmis kappale pakataan asiakkaalle meneväksi.



KUVIO 11. Kuljetinrata

Profiilin päähän porataan 5.5 mm:n reikä, josta se ripustetaan ripustinkoukkuun. Profiilit kulkevat kuljetinradalla pystyasennossa ja kappaleen maksimipituus on 7.4 m.



KUVIO 12. Ripustinkoukku

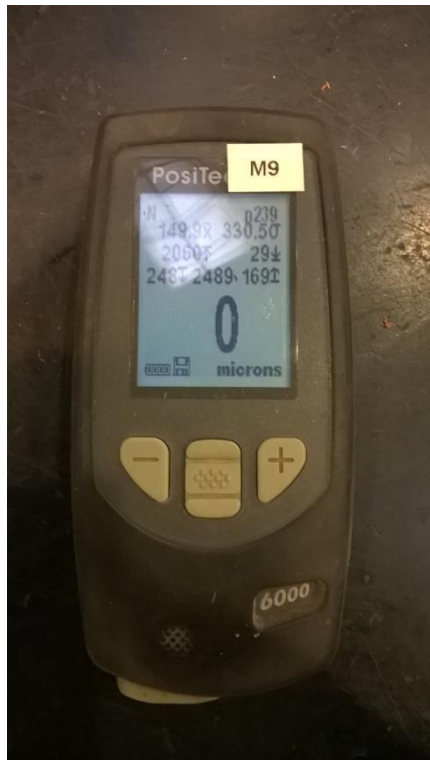
#### **4.9 Hyötysuhde**

Korkeaan hyötysuhteeseen päästään jauhemaalien takaisin kierrätyksen ansiosta. Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä on kappaleen muoto ja ripustustiheys. Oikealla ripustustiheydellä ja jauhemaalien takaisin kierrätyksellä päästään jopa yli 70% ja joissain tapauksissa jopa yli 90 % kokonaiskäytön hyötysuhteeseen. (Teräsrakenneyhdistys 2013.)

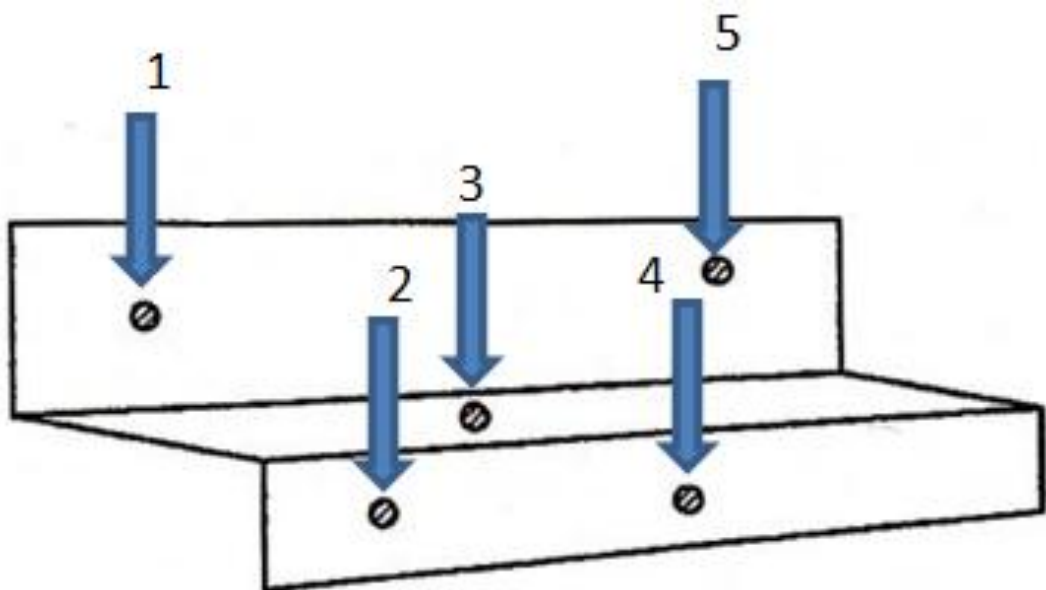


## 5 KALVONPAKSUUS

Maalattun kappaleen kalvonpaksuus mitataan kalvonpaksuusmittarilla (Positector 6000) (KUVIO 13). Maalikalvo mitataan tuotteesta viidestä kohtaa. Mittaukset suoritetaan eri puolilta kappaletta (KUVIO 14). (Mäkelä Alu Oy 2014.)



KUVIO 13. Kalvonpaksuusmittari



KUVIO 14. Kalvonpaksuus mittaukset (mukaiillen Mäkelä Alu Oy 2014)

Viiden mittauksen keskiarvo täytyy ylittää minimissään 50  $\mu\text{m}$ . Minimissään yksittäinen kohta voi olla 40  $\mu\text{m}$ , jos kalvon paksuus menee yksittäisessä mittauksessa alle 40  $\mu\text{m}$ :n, kappale hylätään ja romutetaan. (Mäkelä Alu Oy 2014.)

## 6 TYÖNSUORITUS

### 6.1 Hyötysuhteen mittaaminen

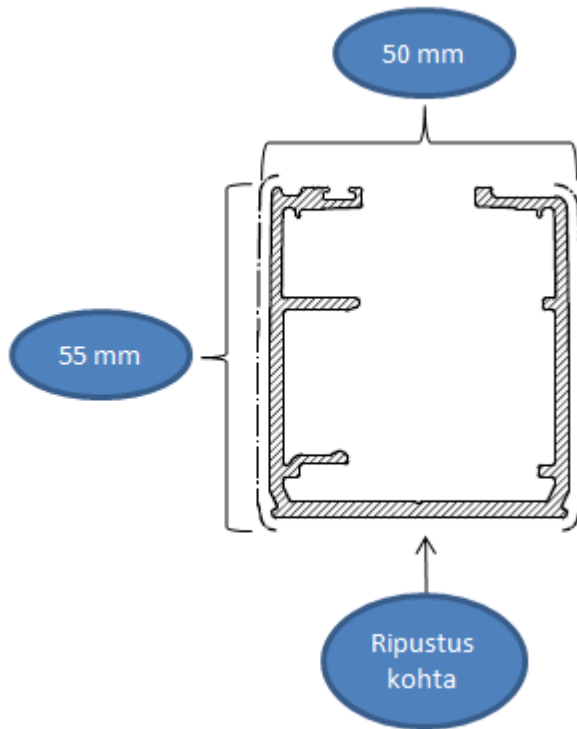
Hyötysuhteen mittaamisella oli tarkoitus selvittää erilaisten ripustustapojen ja jauhemaalintalteenoton avulla erilaiset hyötysuhteet. Aiemmin hyötysuhteen mittausta ei ole suoritettu.

Hyötysuhteen mittaaminen aloitettiin suunnittelulla kuinka ja miten se toteutetaan. Aluksi oli ongelmana löytää tarpeeksi tarkka vaaka (KUVIO 15), jolla profiilit saataisiin punnittua mahdollisimman tarkasti. Vaakan näytön tarkkuudeksi ei riittänyt 1 kg, vaan täytyi olla tarkempi. Löydettiin vaaka (Scaleshouse A100), jolla pystyi punnitsemaan 500 kg:n asti ja  $\pm 50$  g tarkkuudella.

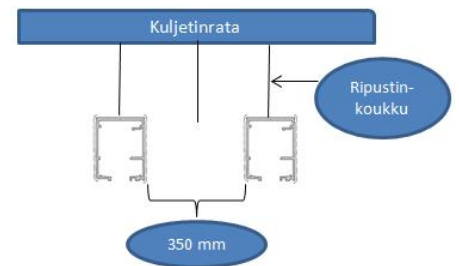


KUVIO 15. Vaaka

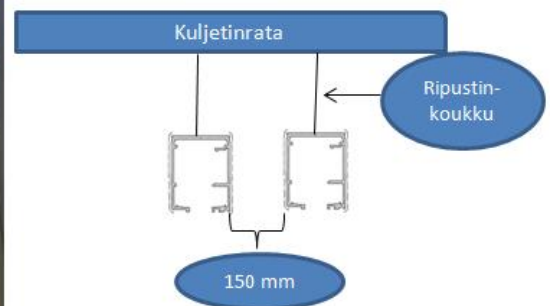
Päädettiin tekemään testi neljällä sarjalla, ja jokaisessa sarjassa oli alumiiniprofiilia (KUVIO 16) 80 kappaletta pituudeltaan 7,4 m. Profiilit punnittiin 40 kappaleen erissä (LIITE 1) Kaksi sarjoista ripustettiin radalle joka toiseen koukkuun (KUVIO 17) ja kaksi jokaiseen koukkuun (KUVIO 18).



KUVIO 16. Testissä käytetty profiili



KUVIO 17. Ripustustiheys joka toiseen koukkuun



KUVIO 18. Ripustustiheys jokaiseen koukkuun

Jokaiseen ripustetuista profiileista toinen erä maalattiin jauhemaalain talteenotto päällä (KUVIO 19) ja toinen ilman jauheenkiertoa. Samoin maalattiin toiset kaksi sarjaa, jotka oli ripustettu joka toiseen koukkuun kuljetinradalle. Ennen radalle ripustamista profiilit punnittiin (KUVIO 20) ja saatiin profiilien alkupaino.



KUVIO 19. Jauheen talteenotto päällä



KUVIO 20. Profiilien punnitseminen

Maalausasteella jauhemaalilaatikko punnittiin (KUVIO 21) ennen maalauksen aloittamista (LIITE 3). Jauhemaalia lisätessä sarjan maalauksen aikana jauhemaalilaatikko punnittiin ennen jauhemaalain lisäämistä. Tyhjät laatikot ja pussit punnittiin ja vähennettiin punnituista kiloista, jolloin saatiin jauhe määrä mahdollisimman tarkasti hyötysuhteen laskemiseksi. Kaikki sarjat maalattiin samoilla maalausarvoilla (TAULUKKO 2).



KUVIO 21. Jauhemaalain punnitseminen

TAULUKKO 2. Ohjausyksikköön säädetyt asetukset

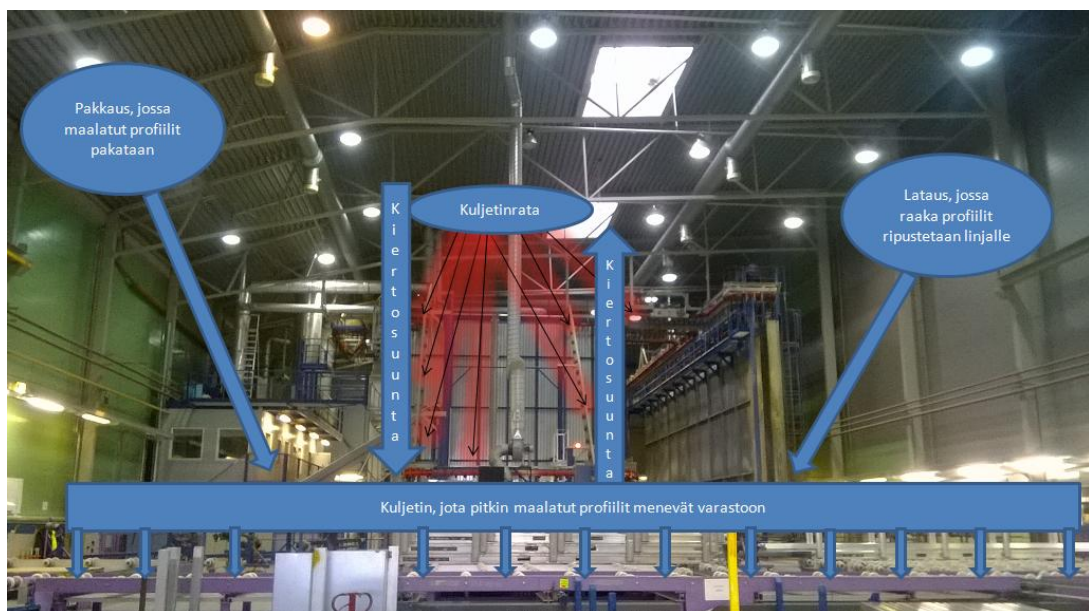
	Pistooliryhmä 1 (pistoolit 1-9)	Pistooliryhmä 2 (pistoolit 10-18)
Lähtöjännite (kV)	100	64
Ruiskutusvirta ( $\mu$ A)	10	10
Elektrodin huuhteluilma ( $m^3/h$ )	0.2	0.2
Jauhemäärä %	50	50
Kokonaisilmamäärä ( $m^3/h$ )	5	5

Kahdella sarjalla jauheen kierrätys oli päällä. Kierrätys kytkettiin päälle kahden minuutin kohdalla jonka valo ilmoitti (KUVIO 22). Valo on kytketty toimimaan ajallisesti. Kun pistoolit alkaa ruiskuttaa jauhemaalia alkaa laskenta ja kahden minuutin kohdalla valo alkaa palaa ja neljän minuutin kohdalla valo alkaa vilkkua.



KUVIO 22. Jauhekierron ilmoitusvalo

Pakkauksessa (KUVIO 23) profiilit punnittiin ja saatiin loppupaino (LIITE 2). Pakkauksessa profiilit pakataan asiakkaan vaatimusten mukaisesti ja lähetetään varastoon odottamaan asiakkaalle toimitusta. Profiileista mitattiin myös kalvonpaksuus kalvonpaksuusmittarilla. Mittaukset tehtiin viidestä kohtaa profiilia, aloittaen päästä ja jatkuen toiseen päähän mitaten tasaisin välein.

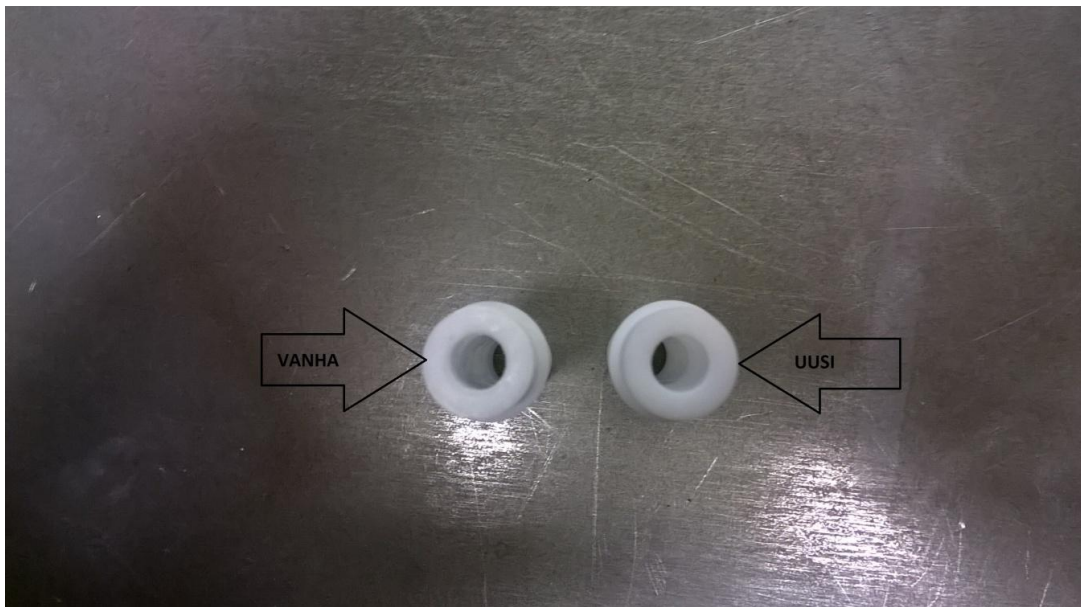


KUVIO 23. Lataus- ja pakkauspiste

## 6.2 Jauhemäärän mittaaminen pistooleista

Pistooleista tulevat jauhemäärät mitattiin, koska sen avulla voidaan laskea yksittäisiä ja vuosittaisia säästöjä jauhemaalien osuudessa maalauksen aloituksessa. Jauhemäärän mittaamisella ja hyötysuhteella voidaan laskea jauhemaalauksen aloitus kustannus, ja millaisilla toimenpiteillä siinä voitaisiin saada säästöjä aikaan.

Pistooleista mitattiin tuleva jauhemäärä vanhoilla ja uusilla holkeilla (KUVIO 24). Jauhemaalikulutus holkkeja, jolloin pistoolista tuleva jauhemaalivähennee. Ero uuden ja vanhan holkkin välillä on mitätön, on melkein mahdoton huomata eroa. Tuotannossa holkit vaihdetaan kaksi kertaa viikossa varmistuen mahdollisimman tasalaatuisesta jauhemaalikalvosta. Holkkeja ei mitata varmistuen sen kulumista, vaan ne vaihdetaan säännöllisin väliajoin tai jos jauhemaalivä ei tule tarpeeksi pistooleista, jolla saadaan tarvittava maalikalvon paksuus. Holkkien kulumisen mittaaminen olisi erittäin hankalaa, koska erot olisivat joitain mikrometrejä ja ajan käytännöllisistä syistä on päädytty vaihtamaan holkit aina uusiin.



KUVIO 24. Uusi ja vanha holkki

Ohjausyksiköstä säädettiin kV ja  $\mu\text{A}$  nolla - arvoon (KUVIO 25), koska niillä ei ole merkitystä jauhemäärää mitatessa.

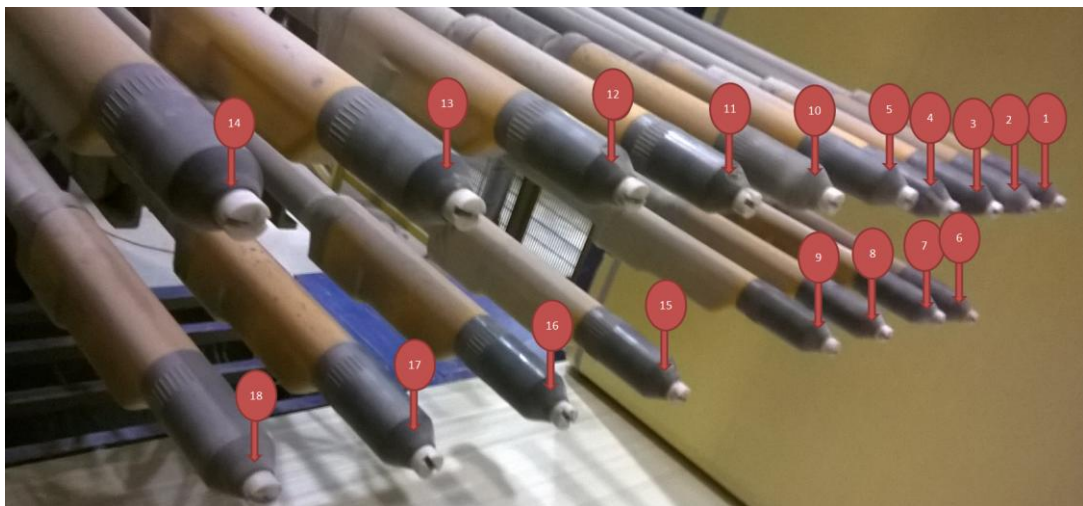




KUVIO 25. Ohjausyksikkö. Virta (kV) ja jännite ( $\mu\text{A}$ ) nolla arvo

Mittaus suoritettiin 10 %:n jauhemäärän (KUVIO 25) välein aloittaen 10 %:sta ja päättyen 100%:iin. Mittauksessa käytettiin  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ :n kokonaisilmamäärää, koska se on käytössä tuotannossa jokaisessa ohjelmassa.

Pistooli on jaettu kahteen ryhmään ohjausyksiköiden mukaan. Ryhmä 1 pistoolit 1-9 ja ryhmä 2 pistoolit 10-18 (KUVIO 26).



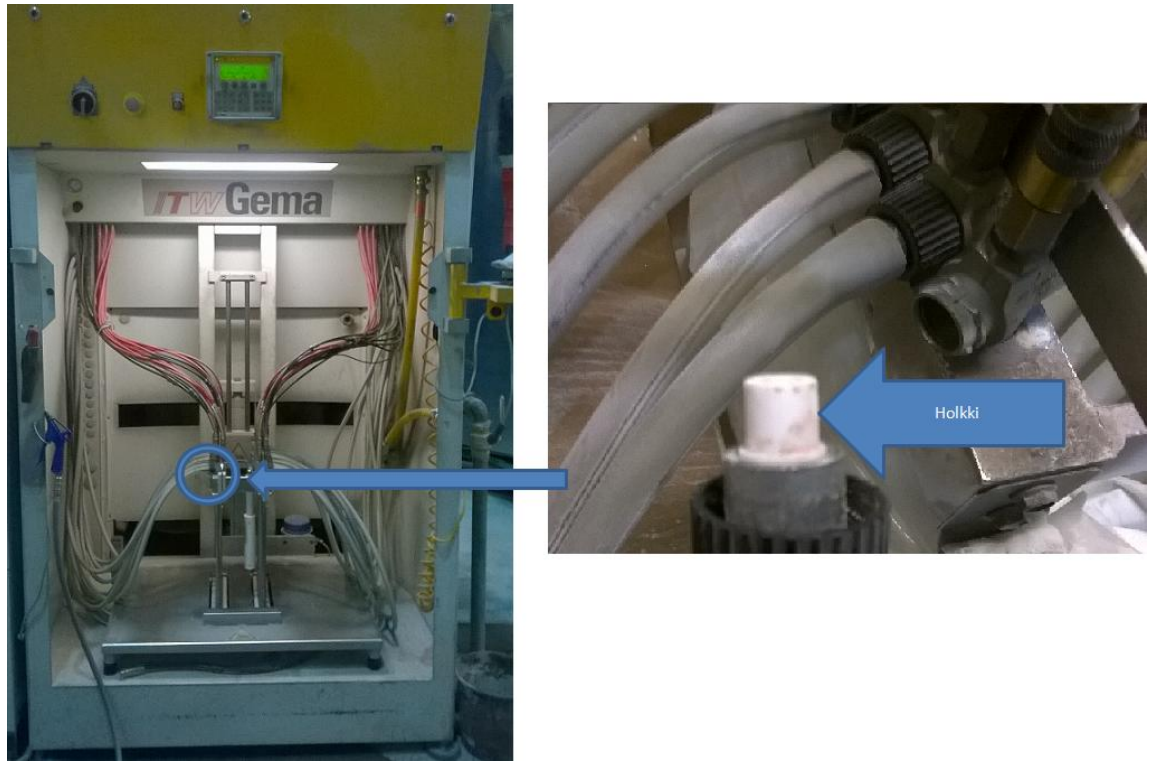
KUVIO 26. Pistooli 1-18

Pistoolien päihin laitettiin imurinpussit (KUVIO 27), koska niistä pääsee ilma läpi ja jauhemaali jää pussiin. Pistooleja pidettiin päällä 1 min., jonka jälkeen pussit punnittiin, ja loppupainosta vähennettiin alkupaino ja saatiin jauhetuotto minuutissa.



KUVIO 27. Jauhemäärän mittaus

Mittaukset suoritettiin ensin vanhoilla holkeilla, jonka jälkeen vaihdettiin uudet holkit (KUVIO 28) ja tehtiin samat mittaukset uudestaan.



KUVIO 28. Holkinvaihto

## 7 TULOKSET

### 7.1 Hyötysuhde

Hyötysuhteiksi saatiin:

TAULUKKO 3. Hyötysuhteen mittaus tulokset

Sarja	1	2	3	4
Kierto päällä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä
Ripustus	Jokaiseen	Jokaiseen	Joka toiseen	Joka toiseen
Raaka paino kg	721.8	724.2	728.5	727.6
Maalattu paino (kg)	736.2	737.4	748.3	747.6
Jauhetta profiilissa (kg) / suhteellinen virhe (%)	14.4 0.3 %	13.2 0.4 %	19.8 0.3 %	20.0 0.3 %
Kulutettu jauhe (kg) / suhteellinen virhe (%)	23.9 0.2 %	16.4 0.3 %	45.0 0.1 %	25.0 0.2 %
Hyötysuhde (%)	60.2	80.4	44.0	79.9
Kalvon paksuus (µm)	50.7	53.2	98.0	88.4

Vihreällä värillä merkitty on paras toimintatapa ja punaisella huonoin toimintatapa (TAULUKKO 3). Suhteelliset virheet on laskettu profiilissa olevalle jauheelle ja kulutetulle jauheelle.

Joka toiseen ripustettaessa kalvon paksuus on noin 79 % enemmän kuin jokaiseen ripustettaessa, mutta jokaiseen ripustettaessa kalvonpaksuus pysyy hyväksyttävässä alarajan yläpuolella.

Sarjoja 1 ja 3 vertaillessa erot ovat merkittäviä. Ero jokaiseen ja joka toiseen ripustettaessa on yli 88 % ilman jauheen kierrätystä. Profiiliin jäävän jauheen ero on vain 38 %. Kun vertaillaan sarjoja 1 ja 4 on kulutetun jauheen ero hyvin pieni, vain noin 5 %.

Sarjoja 2 ja 4 vertailtaessa saadaan hyvin tietoa, kuinka merkittävä ero on ripustustavalla ripustustapojen välillä jauheen kulutuksessa. Jauhemaalaa kuluu yli 52 % enemmän ripustettaessa joka toiseen koukkuun.

Kun halutaan jauhemaalata kustannustehokkaasti, on ainoa oikea tapa tehdä se ripustustapoja seuraamalla.

## **7.2 Jauhemäärän mittaaminen pistooleista**

Jokaiselta pistoolilta minuutissa tuleva jauhemäärä uusilla ja vanhoilla holkeilla (TAULUKKO 4). Yhteismäärältään tulevassa jauhemäärässä uusilla ja vanhoilla holkeilla on eroja, maksimissaan 25 % ja pienimmillään 9 %, riippuen ohjausyksikköön säädetyistä jauhemääräprosentista. Joissakin pistooleissa ja jauhemääräprosentteilla holkkien vaihdolla ei ollut merkitystä, mutta pistooleista yhteensä tuleva jauhemaalimäärä on noussut.

TAULUKKO 4. Pistooleista tuleva jauhemaali minuutissa

Pistooli		JAUHEMÄÄRÄ %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	Vanha (g/min)	20	20	60	60	80	100	120	140	160	180
	Uusi (g/min)	20	40	60	80	120	140	140	160	200	220
	Ero%	0	100	0	33	50	40	17	14	25	22
2	Vanha (g/min)	40	60	80	80	120	120	160	160	200	240
	Uusi (g/min)	60	60	100	120	140	160	180	180	220	260
	Ero%	50	0	25	50	17	33	13	13	10	8
3	Vanha (g/min)	40	60	100	100	120	140	180	180	220	220
	Uusi (g/min)	40	60	80	120	140	160	160	180	220	240
	Ero%	0	0	-20	20	17	14	-11	0	0	9
4	Vanha (g/min)	20	40	40	60	80	100	120	120	160	180
	Uusi (g/min)	20	40	40	80	100	120	120	140	200	200
	Ero%	0	0	0	33	25	20	0	17	25	11
5	Vanha (g/min)	40	40	40	80	100	100	120	160	180	200
	Uusi (g/min)	20	60	80	100	120	140	160	180	200	220
	Ero%	-50	50	100	25	20	40	33	13	11	10
6	Vanha (g/min)	60	60	80	100	120	120	160	180	180	220
	Uusi (g/min)	80	60	140	120	140	160	180	200	200	240
	Ero%	33	0	75	20	17	33	13	11	11	9
7	Vanha (g/min)	20	20	40	60	80	80	120	140	140	180
	Uusi (g/min)	20	40	60	100	100	140	120	160	180	220
	Ero%	0	100	50	67	25	75	0	14	29	22
8	Vanha (g/min)	20	40	40	60	100	80	140	160	180	200
	Uusi (g/min)	20	60	60	100	100	120	160	180	200	240
	Ero%	0	50	50	67	0	50	14	13	11	20
9	Vanha (g/min)	40	60	60	80	80	120	140	140	160	200
	Uusi (g/min)	40	40	80	100	120	140	160	180	220	240
	Ero%	0	-33	33	25	50	17	14	29	38	20
10	Vanha (g/min)	60	60	40	80	80	100	140	140	160	180
	Uusi (g/min)	40	40	40	80	100	120	140	160	200	200
	Ero%	-33	-33	0	0	25	20	0	14	25	11
11	Vanha (g/min)	40	40	60	80	120	120	160	160	200	220
	Uusi (g/min)	60	40	60	80	80	120	140	140	180	220
	Ero%	50	0	0	0	-33	0	-13	-13	-10	0
12	Vanha (g/min)	40	20	60	60	80	120	120	120	160	160
	Uusi (g/min)	60	40	60	60	100	120	140	160	180	220
	Ero%	50	100	0	0	25	0	17	33	13	38
13	Vanha (g/min)	20	40	60	60	80	120	140	160	180	220
	Uusi (g/min)	60	40	60	80	100	120	160	180	200	220
	Ero%	200	0	0	33	25	0	14	13	11	0
14	Vanha (g/min)	20	20	40	60	80	100	120	160	180	200
	Uusi (g/min)	60	40	60	80	100	120	140	160	180	220
	Ero%	200	100	50	33	25	20	17	0	0	10
15	Vanha (g/min)	60	60	60	60	100	120	140	160	200	220
	Uusi (g/min)	40	40	60	80	120	120	180	160	200	240
	Ero%	-33	-33	0	33	20	0	29	0	0	9
16	Vanha (g/min)	60	40	40	80	100	100	140	140	180	200
	Uusi (g/min)	60	40	60	60	100	120	120	160	180	200
	Ero%	0	0	50	-25	0	20	-14	14	0	0
17	Vanha (g/min)	60	40	60	40	100	120	140	160	160	160
	Uusi (g/min)	60	60	60	80	100	140	160	140	200	180
	Ero%	0	50	0	100	0	17	14	-13	25	13
18	Vanha (g/min)	60	60	40	80	80	120	120	140	180	200
	Uusi (g/min)	40	60	60	80	80	120	140	140	200	200
	Ero%	-33	0	50	0	0	17	0	11	0	0
Keski- arvo g/min	Vanha	720	780	1000	1280	1700	1980	2480	2720	3180	3580
	Uusi	800	860	1220	1600	1960	2380	2700	2960	3560	3980
	Ero%	11	10	22	25	15	20	9	9	12	11

Yksittäiset jauhemaalikulutukset ja kustannukset laskettiin hyötysuhdetta käyttäen. Ensinnä laskettiin tämänhetkinen tilanne, kustannukset ja jätemaaliksi menevä osuus (TAULUKKO 5) maalauksen aloituksessa, kun jauhemaalint kierrätys kytetään päälle 2 minuutin tai 4

minuutin jälkeen. Laskennassa käytettiin uuden ja vanhan holkin keskiarvoa pistooleista tuleva massavirta minuutissa.

TAULUKKO 5. Yksittäiset kustannukset maalauksen aloituksessa a

Jauhe- määrä %	Jokaiseen ripustus							Joka toiseen ripustus					
	Holkki	Hyötysuhde %			60.2			Hyötysuhde %			44		
		2 min.	Keskiarvo (kg)	€	4 min.	Keskiarvo	€	2 min.	Keskiarvo	€	4 min.	Keskiarvo	€
10	Vanha (kg/min)	0.57			1.15			0.81			1.61		
	Uusi (kg/min)	0.68	0.63	3.77	1.27	1.21	7.26	0.90	0.85	5.11	1.79	1.70	10.21
20	Vanha (kg/min)	0.62			1.24			0.87			1.75		
	Uusi (kg/min)	0.68	0.65	3.92	1.37	1.31	7.83	0.96	0.92	5.51	1.93	1.84	11.02
30	Vanha (kg/min)	0.80			1.59			1.12			2.24		
	Uusi (kg/min)	0.97	0.88	5.30	1.94	1.77	10.60	1.37	1.24	7.46	2.73	2.49	14.92
40	Vanha (kg/min)	1.02			2.04			1.43			2.87		
	Uusi (kg/min)	1.20	1.11	6.66	2.40	2.22	13.33	1.69	1.56	9.37	3.38	3.12	18.75
50	Vanha (kg/min)	1.35			2.71			1.90			3.81		
	Uusi (kg/min)	1.56	1.46	8.74	3.12	2.91	17.48	2.20	2.05	12.30	4.39	4.10	24.60
60	Vanha (kg/min)	1.58			3.15			2.22			4.44		
	Uusi (kg/min)	1.89	1.74	10.41	3.79	3.47	20.82	2.67	2.44	14.65	5.33	4.88	29.30
70	Vanha (kg/min)	1.97			3.95			2.78			5.56		
	Uusi (kg/min)	2.15	2.06	12.37	4.30	4.12	24.74	3.02	2.90	17.40	6.05	5.80	34.81
80	Vanha (kg/min)	2.17			4.33			3.05			6.09		
	Uusi (kg/min)	2.36	2.26	13.56	4.71	4.52	27.13	3.32	3.18	19.08	6.63	6.36	38.17
90	Vanha (kg/min)	2.53			5.06			3.56			7.12		
	Uusi (kg/min)	2.83	2.68	16.10	5.67	5.37	32.19	3.99	3.77	22.65	7.97	7.55	45.29
100	Vanha (kg/min)	2.85			5.70			4.01			8.02		
	Uusi (kg/min)	3.17	3.01	18.05	6.34	6.02	36.11	4.46	4.23	25.40	8.92	8.47	50.80

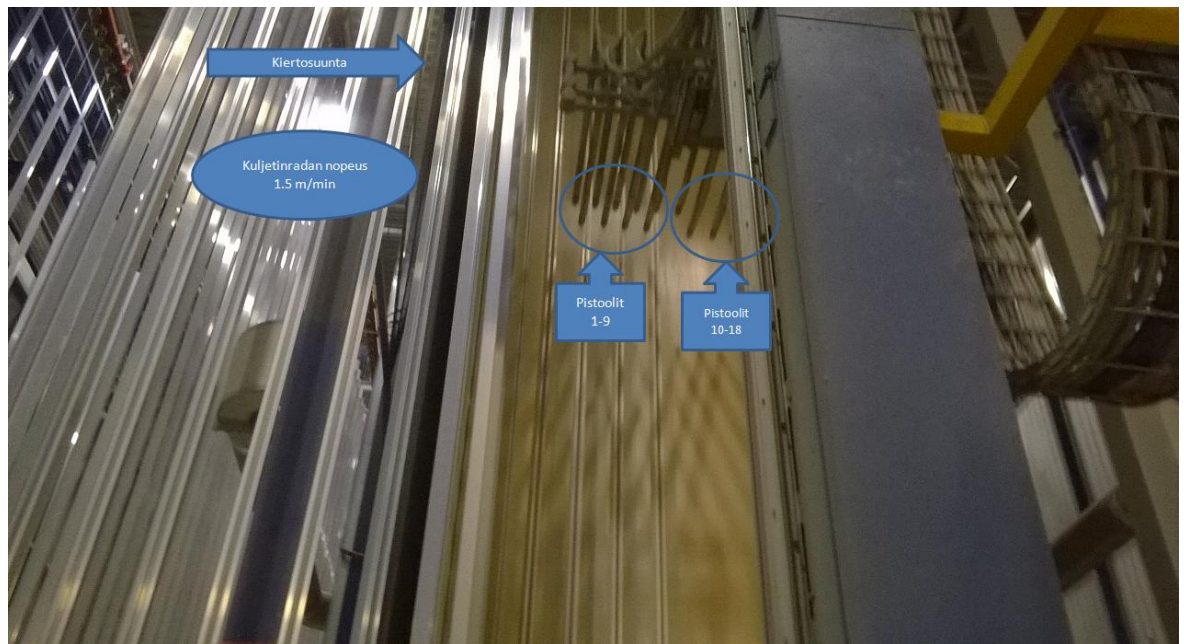
Samoin tehtiin toinen laskenta, jossa oletettiin pistoolien 10-18 lähtevän päälle 25 sekuntia myöhemmin (TAULUKKO 6). Yksittäiset säästöt ovat huomattavia.

TAULUKKO 6. Yksittäiset kustannukset maalauksen aloituksessa b

Jauhe- määrä %	Jokaiseen ripustus										Joka toiseen ripustus							
	Holkki	Hyötysuhde %				60.2				Hyötysuhde %				44				
		2 min.	Keskiarvo (kg)	€	Säästö %	4 min.	Keskiarvo	€	Säästö %	2 min.	Keskiarvo	€	Säästö %	4 min.	Keskiarvo	€	Säästö %	
10	Vanha (kg/min)	0.38			0.95				0.61				1.42					
	Uusi (kg/min)	0.42	0.40	2.40	36.26	1.06	1.01	6.03	16.87	0.68	0.65	3.88	23.99	1.58	1.50	8.99	11.99	
20	Vanha (kg/min)	0.45			1.07				0.70				1.57					
	Uusi (kg/min)	0.50	0.47	2.84	27.45	1.19	1.13	6.76	13.72	0.78	0.74	4.44	19.51	1.74	1.66	9.95	9.75	
30	Vanha (kg/min)	0.59			1.38				0.91				2.03					
	Uusi (kg/min)	0.72	0.65	3.93	25.94	1.69	1.54	9.23	12.97	1.12	1.01	6.08	18.43	2.48	2.26	13.54	9.22	
40	Vanha (kg/min)	0.74			1.75				1.15				2.58					
	Uusi (kg/min)	0.88	0.81	4.84	27.39	2.08	1.92	11.50	13.70	1.37	1.26	7.55	19.47	3.06	2.82	16.92	9.73	
50	Vanha (kg/min)	0.98			2.33				1.53				3.43					
	Uusi (kg/min)	1.14	1.06	6.37	27.17	2.70	2.52	15.11	13.59	1.78	1.65	9.92	19.31	3.97	3.70	22.22	9.66	
60	Vanha (kg/min)	1.11			2.69				1.75				3.97					
	Uusi (kg/min)	1.38	1.24	7.46	28.33	3.27	2.98	17.87	14.17	2.15	1.95	11.70	20.14	4.81	4.39	26.35	10.07	
70	Vanha (kg/min)	1.42			3.39				2.22				5.00					
	Uusi (kg/min)	1.53	1.47	8.84	28.50	3.68	3.54	21.21	14.25	2.41	2.31	13.88	20.25	5.43	5.21	31.28	10.13	
80	Vanha (kg/min)	1.55			3.71				2.43				5.48					
	Uusi (kg/min)	1.70	1.62	9.74	28.20	4.05	3.88	23.30	14.10	2.66	2.54	15.26	20.04	5.97	5.72	34.34	10.02	
90	Vanha (kg/min)	1.80			4.33				2.83				6.39					
	Uusi (kg/min)	2.03	1.91	11.47	28.74	4.86	4.59	27.57	14.37	3.18	3.00	18.02	20.42	7.17	6.78	40.67	10.21	
100	Vanha (kg/min)	2.04			4.89				3.20				7.21					
	Uusi (kg/min)	2.28	2.16	12.95	28.25	5.44	5.17	31.01	14.12	3.57	3.38	20.30	20.08	8.02	7.62	45.70	10.04	

### 7.3 Eri tapoja kustannustehokkaaseen jauhemaalaukseen

Yksittäisen värinvaihdon jauhemäärän säästö on hyvin huomattava (TAULUKKO 7), jos pistoolit 10-18 lähtisivät päälle 25 sekuntia myöhemmin kuin pistoolit 1-9 (KUVIO 29), koska kaikki jauhemaali, joka ruiskutetaan pistooleista 10-18 menee suoraan jätemaaliksi.



KUVIO 29. Pistooli jako

TAULUKKO 7. Jauhemaalain kulutus aloituksessa pistoolit 10-18

Jauhemäärä %	Keskiarvo	g/25 s.	€/kerta	€/vuosi
10.0	490.0	204.2	1.2	10789.8
20.0	430.0	179.2	1.1	9468.6
30.0	550.0	229.2	1.4	12111.0
40.0	730.0	304.2	1.8	16074.6
50.0	950.0	395.8	2.4	20919.0
60.0	1180.0	491.7	3.0	25983.6
70.0	1410.0	587.5	3.5	31048.2
80.0	1530.0	637.5	3.8	33690.6
90.0	1850.0	770.8	4.6	40737.0
100.0	2040.0	850.0	5.1	44920.8

Jätemaalain osuutta voitaisiin pienentää vuositasolla pelkästään muuttamalla laitteiston ohjausta niin, että pistoolit 10-18 lähtisivät päälle 25 sekuntia myöhemmin kuin pistoolit 1-9. Tällä toimenpiteellä vuodessa jätemaalain osuutta voitaisiin vähentää 4.5 %:a (KUVIO 30) ja jauhemaalistoissa voitaisiin saavuttaa noin yhden prosentin säästö.





KUVIO 30. Havainnollistettu jätemaalain osuus voisi vähentyä

Saatuihin mitattuihin arvoihin perustuen laskettiin, kuinka paljon menee jauhemaalaa jätemaaliksi kilogrammoina ja euroina minuutissa, kun jauhemaalain kierrätys ei ole päällä (TAULUKKKO 8).

TAULUKKO 8. Jätemaalain osuus minuutissa ilman kiertoa

Jauhemäärä %	Vertailu sarjat 1 ja 2		Vertailu sarjat 3 ja 4	
	kg	€	kg	€
10.0	0.2	0.9	0.3	1.6
20.0	0.2	1.0	0.3	1.8
30.0	0.2	1.3	0.4	2.4
40.0	0.3	1.7	0.5	3.1
50.0	0.4	2.2	0.7	3.9
60.0	0.4	2.6	0.8	4.7
70.0	0.5	3.1	0.9	5.6
80.0	0.6	3.4	1.0	6.1
90.0	0.7	4.1	1.2	7.3
100.0	0.8	4.6	1.4	8.1

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyönä tämä oli kiinnostava ja haastava, ja se antoi hiukan yllättäviäkin tuloksia. Jätemaalain osuutta ja sitä mistä työvaiheista tai kuinka paljon laitteiston ohjauksella on merkitystä jätemaalain syntymiseen. Yllättäviäkin tuloksia tuli myös siitä kuinka pienellä laitteiston ohjauksen muutoksella saadaan vuodessa pienennettyä jätemaalain osuutta merkittävästi. Oikea ripustustapa on ainoa oikea tapa saada jauhemaalain kulutusta laskettua ja hyötysuhdetta nostettua. Tutkittiin myös ripustustapojen vaikutusta jauhemaalain kulutukseen kuitenkin laadun kärsimättä. Näin tuottavuutta saadaan mahdollisesti nostettua.

Oma henkilökohtainen vuosien kokemukseni alalta antoi työhön kiinnostusta ja kykyä nähdä asioita syvällisemmin jauhemaalauksessa. Koko tuotantoprosessin tunteminen ja mittausten antamien tulosten pohjalta on kokemukseni antama tieto merkittävässä osassa, kun etsitään keinoja muuttaa prosessia, jotta saadaan vähennettyä jätemaalain syntyä. Muutoksen tekeminen johonkin prosessin vaiheeseen tuntematta koko prosessia saattaa vaikutus olla taloudellisesti kalliimpi tai laatu voi huonontua.

Aikaisemmin ei ollut tehty näin tarkkoja mittauksia tai tutkimuksia jauhemaalain kulutuksesta tai jauhemaalauksen aloituskustannuksista jauhemaalain osalta. Aikaisemmin on voinut vain arvailla mistä kustannuksia voisi pienentää tai mihin asioihin pitäisi perehtyä tarkemmin. Nyt tiedetään, mihin kohtiin pitää kiinnittää huomiota ja tehdä muutoksia.

## LÄHTEET

AA Tekno Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.aa-tekno.fi/jauhemaalauislaitteet/jauhemaalaus/>. Luettu: 8.2.2015

Ekomans Oy. Sykloni. WWW-sivu. Saatavissa: [http://www.ekomans.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12](http://www.ekomans.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=12). Luettu 25.2.2015

ITW Gema AG 2004a. Optiflow powder injector. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gemapowdercoating.us/Portals/0/documents/pdflibrary/manuals/OptiFlex/OptiFlow.IG02.OpManual12.06.pdf>. Luettu 22.2.2015

ITW Gema AG 2004b. Optigun 2-A(X) (GA02) Automatic power gun. Saatavissa: <http://www.gemapowdercoating.us/Portals/0/documents/pdflibrary/manuals/OptiSeries/OptiGunGA02OpManual10.04.pdf>. Luettu 24.2.2015

ITW Gema AG 1997. Magic Cylinder Powder Coating Booth. Saatavissa: <http://www.gemapowdercoating.us/Portals/0/documents/pdflibrary/manuals/Booths/MagicSeriesBooths/MagicCylinderBoothOp05.01.pdf>. Luettu 25.2.2015

ITW Gema GmbH 2006. OptiTronic Powder Gun Control. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gemasp.es/wp-content/uploads/2012/11/0-MultiTronic-CG04.pdf>. Luettu: 15.2.2015

ITW Gema GmbH 1997. PZ 1 Powder Centre. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gemapowdercoating.us/Portals/0/documents/pdflibrary/manuals/Other/PowderCenterOpManual09.00.pdf>. Luettu 16.2.2015

Jokinen, Isto., Kuusela, Asko., Nikkari, Tapani. Metallituotteiden maalaus. 2001. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Mäkelä, Petri 2015. Omistaja, hallituksen puheenjohtaja haastattelu. 3.2.2015. Mäkelä Alu Oy. Alajärvi.

Mäkelä Alu Oy 2014. Prosessien aikaiset tarkastukset maalaamo. Luettu 26.2.2014

Opetushallitus 2004a. Jauhemaalauus. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalauus/osa5.pdf>. Luettu 15.2.2015

Opetushallitus 2004b. Metallimaalausmenetelmän valinta. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalauus/osa1.pdf>. Luettu: 27.3.2015

Teknos Oy 2010. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.metal.teknos.fi/?pageID=H2848>. Luettu: 4.2.2015

Teknos Oy. Koulutusmateriaali. Powerpoint-esitys.

Tell systems, inc. Saatavissa: <http://www.tellkamp.com/products/high-efficiency-vertical-powder-coating-systems/>. Luettu 22.2.2015

Teräsrakenneyhdistys 2013. Harry Kouri. PDF-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CEMQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.terasrakenneyhdistys.fi%2Fdocument.php%2F1%2F967%2Ftry\\_jauhemaaliesitys\\_revisio\\_2%2F2c6247c64aa0e787edc9c0abbc9b03c2&ei=iwHfVOvYI4bsO7e0gdAO&usg=AFQjCNEfKFWRYLjV-pShDTu0vbGef5pEjg&sig2=bWOkzqxcl0oc6VN8zhzBEA](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CEMQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.terasrakenneyhdistys.fi%2Fdocument.php%2F1%2F967%2Ftry_jauhemaaliesitys_revisio_2%2F2c6247c64aa0e787edc9c0abbc9b03c2&ei=iwHfVOvYI4bsO7e0gdAO&usg=AFQjCNEfKFWRYLjV-pShDTu0vbGef5pEjg&sig2=bWOkzqxcl0oc6VN8zhzBEA). Luettu: 14.2.2015

Hengitysliitto. Saatavissa: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhtaudet/voc-paastot>. Luettu: 27.3.2015

Veiste, T. 2008. Pulverimaalaus ja sen vertailu märkämaalaukseen. Kandidaattityö ja seminaari. Lappeenranta, Teknillinen Yliopisto.

Yleistä jauhemaalauksesta .Metsäalan ammattilehti 23.12.2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?10322>. Luettu 28.1.2015

## LIITE 1: Raaka profiilien painot

Sarja	Ripustus	Paino (kg)	Sarja yhteensä	kpl
1	Jokaiseen	360.3	<b>721.8</b>	40
		361.5		40
2	Jokaiseen	360.7	<b>724.2</b>	40
		363.5		40
3	Joka toiseen	362.5	<b>728.5</b>	40
		366		40
4	Joka toiseen	363	<b>727.6</b>	40
		364.6		40

## LIITE 2: Maalattujen profiilien painot

Sarja	Ripustus	Paino (kg)	Sarja yhteensä	kpl
1	Jokaiseen	367.3	<b>736.2</b>	40
		368.9		40
2	Jokaiseen	367.3	<b>737.4</b>	40
		370.1		40
3	Joka toiseen	372.5	<b>748.3</b>	40
		375.8		40
4	Joka toiseen	372.9	<b>747.6</b>	40
		374.7		40

LIITE 3: Maalaus asetukset ja kulutettu jauhemaali

SARJA	KIERTO	RIPUSTUS	KÄÄNTÄJÄ	OHJELMA NUMERO	PAI NEET		K v		μ A		Käytetty jauhemaali (kg)
	PÄÄLLÄ		PÄÄLLÄ		Pistoolit 1-9	Pistoolit 10-18	Pistoolit 1-9	Pistoolit 10-18	Pistoolit 1-9	Pistoolit 10-18	
1	EI	JOKAISEEN	KYLLÄ	3	50	50	100	64	10	10	23.92
2	KYLLÄ	JOKAISEEN	KYLLÄ	3	50	50	100	64	10	10	16.42
3	EI	JOKA TOISEEN	KYLLÄ	3	50	50	100	64	10	10	45.04
4	KYLLÄ	JOKA TOISEEN	KYLLÄ	3	50	50	100	64	10	10	25.04