

Raepuhallusoption hyödyllisyyden tutkiminen

Tuotantotekniikka

TUTES13

2016

Teemu Koskinen

# RAEPUHALLUSOPTION HYÖDYLLISYYDEN TUTKIMINEN

**TURKU AMK**   
TURKU UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES

Teemu Koskinen

## RAEPUHALLUSOPTION HYÖDYLLISYYDEN TUTKIMINEN

Työssä pohdittiin optimaalisinta raepuhallusratkaisua nimeltä mainitsemattoman yrityksen profiiliesikäsitteilylinjalle. Sen tutkiminen aloitettiin määrittämällä tärkeimmät tekijät, joihin raepuhallus vaikuttaa profiiliesikäsitteilylinjalla, ja tutkimalla näiden tekijöiden kirjallisuustaustaa. Työssä käytiin läpi myös jo tehtyjen testien tuloksia ja etsittiin käytännön tuloksille kirjallisuudesta tukea.

Kirjallisuuden tutkimisen jälkeen luotiin koeajojärjestely, joka suoritettiin yrityksen tytäryhtiöllä, jossa profiilit puhallettiin kertaalleen oikaisuprosessin jälkeen. Tällä koeajojärjestelyllä testattiin, onko mahdollista säästää yhden raepuhaltimen hinta, jos raepuhallus olisi mahdollista yhdellä puhaltimella. Ennen testin suorittamista tehtiin hypoteesi tulevasta testistä, ja siihen kirjattiin kaikki tekijät, jotka voivat vaikuttaa testien tuloksiin ja perusteltiin ilmiöitä kirjallisuuden pohjalta.

Testeissä tuli eteen haasteita mittatarkkuuksissa ja mittavirheen suuruudessa, kun mitattavat profiilit olivat paksuudeltaan 5 mm. Niiden elastisuus tuotti huomattavan mittavirheen, minkä takia testeistä ei saatu tarkempia tuloksia kuin hyväksytyt ja hylätyt. Koejärjestelyssä testatut profiilit olivat kaikki mittastandardissa, ja ne toimitettiin jatko jalostukseen, mutta pätevää koejärjestelyä, josta olisi saatu todenmukaisia, tarkkoja tuloksia, ei saatu tehtyä.

Lopuksi järjestettiin päätäntäpalaveri, jossa käytiin läpi jäljellä olevat vaihtoehdot ja pohdittiin jokaisen vaihtoehdon hyödyt ja haitat, minkä jälkeen tehtiin yksimielinen päätös tulevasta raepuhallusprosessin toteutuksesta. Lopullinen päätös oli puhalttaa profiilit kertaalleen ennen oikaisua ja oikaisun jälkeen päälinjalla, koska näin säästetään oikaisukoneen huoltokustannuksissa ja saadaan profiilit puhallettua kahteen kertaan. Koska kertaalleen puhaltamisessa ei olisi ollut palautusmahdollisuutta, se karsittiin pois.

### ASIASANAT:

Raepuhallus, Oikaisu, Sinkoraepuhallus

Teemu Koskinen

## EXAMINING BENEFITS OF SHOT BLASTING OPTION

The thesis discussed the most optimal solution for shot blasting in profile pretreatment line and started its examination from the main determining factors what the shot blasting process influence in the profile pretreatment line and searched for literature of these factors. This thesis went through the results of the tests already carried out and, searched for an explanation of these from literature.

After examination of the literature, experimental setup was created, which was conducted at company's subsidiary, in which the profiles were blown only once after the straightening process. This experiment was designed to test if it's possible to save one shot blasters price, when blasting with only one shot blaster and before the test, a hypothesis was made of the upcoming tests results where all the possible factors were booked and justified on the basis of literary.

The tests faced couple of challenges about measuring accuracy and measure error, when the measured profile thickness were 5 mm, the elastics of the profile were causing so large measure mistake that it was impossible to get more accurate results than accepted and rejected. Experimental set-tested profiles were all on the measuring standard and they continued their journey to follow up processing, but when it comes to valid test set-up, from which accurate results had been obtained, could not be done.

At last a decision making meeting was held, which went through the remaining options and discussed the advantages and disadvantages of each option, followed by unanimous decision on the future shot blast process implementation. The final decision was to blow the profiles once before the straightening process and again after the straightening process at the main line, because this will save at the straightening machines maintenance costs and have a possibility to blow the profiles twice. In the case of single shot blasting there wouldn't be a possibility of return and that's why it was denied.

### KEYWORDS:

Shot blasting, Wheel blasting, Straightening

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 PROFIILIESIKÄSITTELYLINJA</b>	<b>2</b>
2.1 Pesukone	2
2.2 Raepuhallus	2
2.2.1 Puhtaus	7
2.2.2 Standardoidut puhtausasteet	8
2.3 Oikaisu	10
2.3.1 Rullaoikaisu	11
2.3.2 Oikaisukone	14
<b>3 TESTIN HYPOTEESI</b>	<b>16</b>
<b>4 TESTIT</b>	<b>18</b>
<b>5 TULOKSET</b>	<b>20</b>
<b>6 PÄÄTÄNTÄ &amp; POHDINTA</b>	<b>23</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>25</b>

## KUVAT

Kuva 2. Raepuhalluksen pintajännitys vaikutus (Substech 2013).	4
Kuva 3. Raepuhallussinko (Blastsolution).	5
Kuva 4. Levyille tarkoitettu sinkoraepuhalluskone, Sinkoja 8 yhteensä, 4 ylhäällä ja alhaalla.	6
Kuva 5. Raepuhallus (Die Castings China 2016).	7
Kuva 6. Profiilin pintakorroosio	8
Kuva 7 (Blast Journal 2015) Sa-puhtausasteet hahmoteltu kuvana	10
Kuva 8. Profiilioikaisukoneen periaate. (Koneen toimittajan lähettämässä sähköpostissa ollut piirros)	12
Kuva 9. Oikaisukoneenkiilaus (Itse tehty MS visiolla)	13
Kuva 10. Oikaisukone	14
Kuva 11. Testiprofiileita	19
Kuva 13. Profiiliaihiot tytäryhtiön linjan alkupäässä.	21
Kuva 14. Pinnankarheustesti ennen maalausta	22

## **KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO**

Lattarauta = Ohut suorakaiteen muotoinen profiili.

Myötöraja = Tarkoittaa jännityksen suuruutta silloin, kun aineessa alkaa tapahtua plastista muodonmuutosta.

Pulpi = Levyissä käytettyjä jäykistinpalkkeja.

Referenssi = Vertauskohde

Sa = Suihkupuhdistus

# 1 JOHDANTO

Tämä työ tehtiin Turussa sijaitsevalle nimeltä mainitsemattomalle yritykselle. Työssä on tavoitteena tutkia yrityksen osavalmistuksen profiiliesikäsittelylinjalle tulevaa raepuhallusta ja eri vaihtoehtoja sen toteuttamiseen. Työssä selvitetään, kuinka monta raepuhallinta tarvitaan ja millainen sijoitus raepuhallukselle olisi optimaalinen. Työn tavoitteena on löytää optimaalisin tapa suorittaa raepuhallus profiiliesikäsittelylinjalla.

Aluksi työssä määritellään kaikki ne tekijät, joihin raepuhallus vaikuttaa profiiliesikäsittelylinjalla ja esitellään koko profiiliesikäsittelylinjan toiminta. Tämän jälkeen tutkitaan raepuhalluksen vaikutusta muihin linjalla tapahtuviin toimintoihin jo tehtyjen testien perusteella ja etsitään kirjallisuudesta perusteita tapahtuville ilmiöille.

Lopuksi suoritetaan koeajojärjestely tytäryhtiön profiiliesikäsittelylinjalla. Tytäryhtiöllä on lähes vastaava profiiliesikäsittelylinja, jollaista työssä puhuttavaan yritykseen ollaan alustavasti investoimassa, minkä vuoksi se on paras paikka testata kyseistä raepuhalluskoetta.

## 2 PROFIILIESIKÄSITTELYLINJA

Ennen kuin profiiliihioita voidaan alkaa käyttämään tuotannossa, on ne esikäsiteltävä, koska aihoiden tullessa yrityksen varastoon ne ovat epäpuhtaita ja todennäköisesti kuljetuksessa/varastoinnissa taipuneita. Tämä haittaa profiileiden käyttöä jatkoprosesseissa. Esimerkiksi hitsaaminen ei onnistu ruosteiselle pinnalle, vaan pinnan tarvitsee olla ruosteesta vapaa, jotta hitsisula tarttuu perusaineeseen. Esikäsitteilyn tavoitteena on, että profiileiden lähdettyä linjalta ovat ne suorina, maalattuja/merkattuja ja puhtaita.

### 2.1 Pesukone

Yrityksen esikäsitteilylinjalle on varattu ensimmäiseksi prosessiksi pesukone, jonka päätarkoituksena on puhdistaa kaikki suurempi irtolika profiilien päältä ja samalla myös lämmittää profiilit käsiteltävään lämpötilaan. Kesällä profiilien lämmityksellä ei ole mitään hyötyä, mutta talvella profiileiden lämpötilan saaminen -20 °C:sta +15 °C:een auttaa profiilin oikaisua huomattavasti.

Pesukoneella ei kumminkaan päästä lähellekään vaadittuja Sa-puhtausasteita, koska Sa 2.5 -puhtausaste tarkoittaa, että pinnan tulee olla lähes puhdasmetalli, mutta on hyväksyttävää, jos profiilissa on pieniä jäljelle jääneitä värijälkiä. Sa-puhtausasteet käsitellään myöhemmässä luvussa 3.2.2 tarkemmin. Vesipesulla pienellä paineella ainoa, joka saadaan puhdistettua, on irtolika ja lika, joka on todella heikosti kiinni profiilissa. Suurin hyöty pesukoneella on sen lämmitysominaisuus. Esiraepuhalluksen suunniteltu pois jättäminen ei tule vaikuttamaan pesukoneen toimintaan yhtään, koska se tehdään ennen raepuhallusta. Tämän takia tässä työssä ei tutkita pesukoneen teoriaa sen tarkemmin.

### 2.2 Raepuhallus

Raepuhallus on teollisuudessa käytetty esikäsitteily/viimeistelymenetelmä. Raepuhalluksessa kappaleen pintaan puhalletaan säädellyllä paineella erilaisia pallomaisia partikkeleita, jotka yleisimmin ovat metallisia, mutta voivat olla myös mahdollisesti keraamia, komposiittia tai jäätä. Raepuhalluksen intensiteetti on helposti

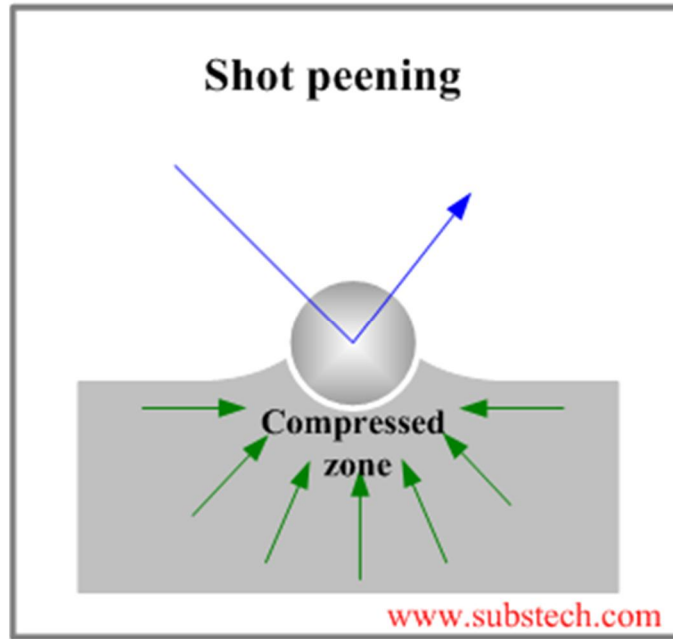


säädeltävissä puhalluksen paineella, partikkeleiden koolla, partikkeleiden materiaalilla, puhalluskulmalla tai puhallusajalla.

Raepuhalluksen tärkeimpiä tekijöitä ovat käytetyt rakeet (materiaali ja muoto), puhalluksenpeittämisalue, puhalluskulma ja puhalluksennopeus. Nämä tekijät vaikuttavat puhalluksenintensiteettiin, jota käytetään määrittelemään raepuhalluksen aiheuttamaa vaikutusta materiaaliin, erityisesti muokkauslujittumisen suuruuteen. (Lyman ym. 1964,399.) (Kuva 2).

Yleisimmin raepuhallusta käytetään tietyn puhtaustason saamiseksi, jolloin rakeidenkoot ovat pieniä ja teräviä hiomisefektin korostamiseksi. Raepuhalluksella voidaan saada kappaleeseen aikaan myös vetolujuuden muutosta, kun hyödynnetään metallin mekaanisiin ominaisuuksiin kuuluvaa plastista muodonmuutosta. Tätä menetelmää kutsutaan nimellä kuulapuhallus. Ainoa ero siinä raepuhallukseen on se, että puhallettavat partikkelit ovat kovia ja isoja kuulia, koska tasaisen pallomaisten partikkeleiden osuminen kappaleen pintaan aiheuttaa enemmän materiaalin painautumista kuin hiomista, molemmat menetelmät kumminkin toimivat kylmämuokkaavina menetelminä. Tällöin kappaleeseen saadaan aikaan erittäin pieniä kolhuja, jotka painavat materiaalia enemmän kasaan ja näin ollen lisäävät kappaleen pinnan puristusjännitystä, mikä lisää erityisesti kappaleen väsymislujuutta. Hyviä esimerkkejä tuotteista, joissa kyseistä menetelmää on käytetty, ovat kampiakselit, kiertokanget ja hammaspyörät.

Kuulapuhalluksessa kylmämuokataan metallinpintaa rakeiden tai kuulien avulla, jotka puhalletaan pintaa vasten. Se vastaa sitä, että pintaa lyödään lukemattomia kertoja pienellä vasaralla, mikä aiheuttaa koko pinnalle plastista muutosta ja pinnan muokkauslujittumista. Tämä metallin pinnalla tapahtuva muokkauslujittuminen lisää vetolujuutta ja myötörajaa ja pieni prosentuaalisenosuus raepuhalluksen myönteisistä tuloksista ovat tämän asian määrite. (Shotpeener. 1957, 1.)



Kuva 1. Raepuhalluksen pintajännitys vaikutus (Substech 2013).

Toiseksi metallien lujuutta voidaan nostaa dislokaatiotiheyttä kasvattamalla. Suuresta dislokaatiotiheydestä ( $10^{11} - 10^{13} \text{ kpl/cm}^2$ ) johtuen metallin muodonmuutoskyky heikkenee ja lujuus kasvaa. Tällaisia dislokaatioalirakenteita saadaan aikaan usealla eri tavalla mm. kylmämuokkauksella, kylmäkuumamuokkauksella ja hehkutuksella, kuumamuokkauksella ja nopealla jäähdytyksellä. (Lindroos ym. 1986,122.)

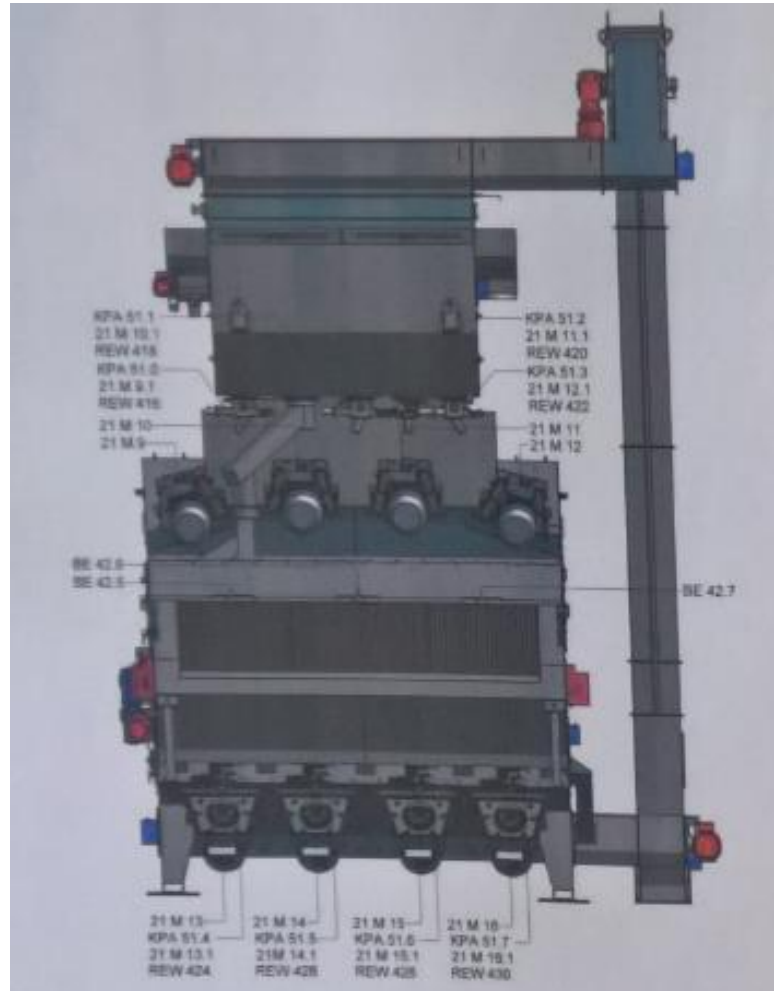
Yritys on investoimassa uusiin sinkoraepuhalluskoneisiin. Sinkoraepuhallinkoneessa koneenrunkoon on kiinnitetty riviin sinkoja, joiden määrä määräytyy puhallettavien kappaleiden leveydestä tai lukumäärästä ja puhalluskulma kappaleenmuodosta. Sinkojen toimintaperiaate perustuu keskipakovoimaan, jolloin singon pyöriessä sen keskeltä syötetään siiville rakeita, jotka kulkeutuvat pyöriviä siipiä pitkin singonkehälle, josta ne saadaan singottua puhallettavan kappaleen pintaan. (Kuva 3).



Kuva 2. Raepuhallussinko (Blastsolution).

Sinkoraepuhalluskoneen hyötyjä on vakioitu puhallusprosessi, eli jokaiselle aiholle saadaan aina sama puhallustulos, kun aihiot ovat saman laatuaisia. Puhallusintensiiteetti määräytyy läpimenevän rullaradan nopeudesta ja itse puhaltimen intensiteetistä. Puhaltimen intensiteettiä saadaan säädettyä sinkojen nopeudella, sinkojen kulmalla tai puhallettavilla rakeilla. Koneet on tarkoitettu teollisuuskäyttöön ja suurien määrien puhallukseen. (Kuva 4).

”Sinkopuhallus muuttaa sähkömoottorin energian suoraan kineettiseksi hionta energiaksi pyörivän turbiini pyörän avulla. Yhden singon kapasiteetti voi olla muuttuva noin 60 kg per minuutista 1200kg per minuuttiin. Näin suurilla määrillä hioma-ainetta, sinkoraepuhallus koneita käytetään isoihin osiin tai isoihin pinta-aloihin osia, jotka tarvitsevat ruosteen-, hilseen-, purseenpoistoa, hiomista tai puhdistusta jollain tapaa.” (Wheelabrator – Wheel blasting.)



Kuva 3. Levyille tarkoitettu sinkoraepuhalluskone, Sinkoja 8 yhteensä, 4 ylhäällä ja alhaalla.

Profiiliesikäsittelylinjalla raepuhallus on suoritettava pakosti vain oikaisun jälkeen, koska vaikka profiilit puhallettaisiin tarvittavaan puhtausasteeseen ennen oikaisua (Sa 2,5), niin tytäryhtiö on huomannut, että oikaisukone jättää profiileihin liian sileän pinnan, johon maali ei tartu. Näin ollen pakollinen puhallus tulisi suorittaa vain oikaisun jälkeen, mutta on huomioitavaa, että jos syöttää likaisia profiileita oikaisukoneeseen niin oikaisukoneenrullat kuluvat nopeammin kuin puhtaita profiileita oikaisten.

Yrityksessä on myös teetetty aikaisemmin koe, jossa profiileita on syötetty raepuhalluskoneen lävitse ja tutkittu, vaikuttaako raepuhallus profiilinsuoruuteen. Tulos kyseisestä testistä oli kertonut, että raepuhalluksella on vaikutus, mutta vain ohuilla profiileilla ja suoruuden muutoksen suunta oli ollut systemaattinen. Paksummilla profiileilla ei ole havaittu mitään muutosta. Tästä voidaan päätellä, että raepuhalluksen luoma pinta-alan laajentuminen on saanut ohuemmat profiilit taipumaan ja tämä oli

vaikuttanut vain ohuilla profiileilla, koska pinnan prosentuaalinen osuus koko profiilin paksuudesta on ollut suuri.

Tämä testi perustuu siihen faktaan, että yhdeltä puolelta kylmämuokattuun (raepuhallettu) metallilevyyn tulee muodonmuutoksia, kylmämuokatulla puolella olevan puristusjännityksen takia, ja tämä muodostaa levystä kaarevan, jossa puhallettu puoli on kupera. (Shotpeener. 1957, 4)



Kuva 4. Raepuhallus (Die Castings China 2016).

### 2.2.1 Puhtaus

Raepuhalluksen tarkoituksena on puhdistaa profiilit ennen oikaisukonetta ruosteesta, valssihilseestä ja muista epäpuhtauksista, koska oikaisukoneenrullien kestoikä lyhenee huomattavasti, jos "likaisia" profiileita oikaistaan. Yrityksen haluttu puhtausaste on se, että profiileissa ei ole kuin vähäisiä värjäymiä ruosteesta tai valssihilseestä. Puhtausstandardeja käsitellään myöhemmässä kappaleessa tarkemmin. Tämä

edesauttaa tuotantohallien puhtauden ylläpitämistä ja työntekijöiden terveyttä. Epäpuhtaudet haittaavat myös jatkoprosessien toteuttamista.

Yritys varastoi tällä hetkellä profiilit ulkona. Tällöin pintaan muodostuu helpommin korroosiota kuin silloin, jos profiilit säilöittäisiin sisällä hallissa, koska ulkona profiilit altistuvat sateelle, kosteudelle ja epäpuhtauksille helpommin. Tulevaisuudessa on tarkoituksena varastoida kaikki profiilit sisälle varastoon, jolloin pintakorroosion (Kuva 6) määrä vähenee, mutta todellisuudessa aihoiden laatuun vaikuttaa myös pulpitoimittajan kuljetus- ja varastointimenetelmät.

Käytännössä metallia ympäröivät väliaineet, kaasut, nesteet tai jähmeät aineet, aiheuttavat siinä usein syöpymistä. Puhutaan korroosiosta. Tämän ilmiön vaikutukset ovat usein tuhoisia. Ne ilmenevät metallikappaleen tehollisen poikkileikkauksen pienenemisenä, mikä voi johtaa jännityksen alaisena käytettävän metallin ennenaikaiseen murtumiseen. (Lindroos ym. 1986, 657.)



Kuva 5. Profiilin pintakorroosio

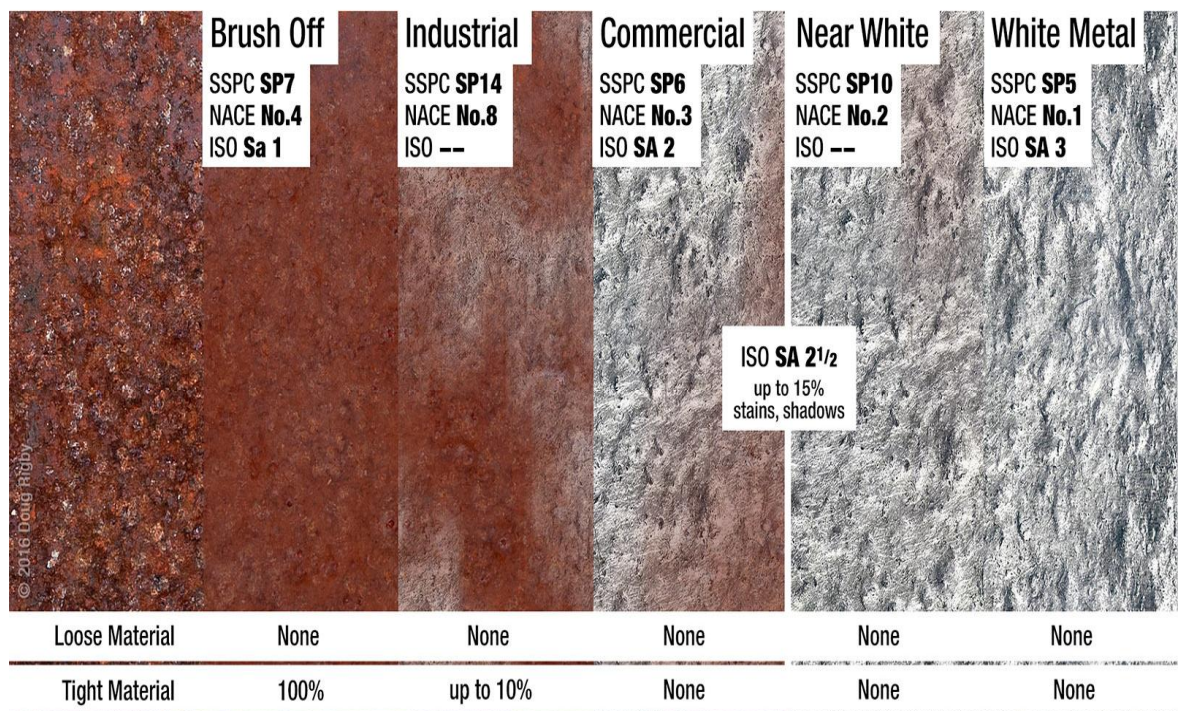
### 2.2.2 Standardoidut puhtausasteet

Raepuhalluksesta jäänyttä jälkeä on alettu standardoimaan, jotta voitaisiin tuottaa aina samanlaatuista tuotetta. Puhtausstandardeja on vaikea määrittää pinnankarheudella,

koska pinnankarheus voi muuttua kappaleen ominaispinnan mukaan. Puhtausstandardeja on useita ja tässä työssä käytetään teollisuudessa yleisimmin käytettyä "Sa"-suihkupuhtaus-määritettä. Sa-standardissa pinnanpuhtaus on kuvattu sanoin ja asteita on neljää eri astetta. Puhtausasteikko on 1-3, ja asteita on neljä: 1, 2, 2.5 ja 3. Teollisuudessa yleisimmin käytetty puhtausaste on Sa 2.5, koska sen saavuttaminen on optimaalista tuotannon kannalta. Puhtaimpaan 3-asteeseen pääsy voi vaatia monta puhalluskertaa, jotta kaikki ruostejäät ja valssihilseet saadaan pois.

Sa-standardin neljä puhtausastetta käännettynä suomeksi finnblastin toimesta. Finnblast (2014).

- "Puhtausaste 1: Kevyt raepuhallus, jolloin pinta pitää olla vapaa näkyvästä öljystä sekä heikosti kiinnittyneestä valssihilseestä ja ruosteesta sekä muusta irtoliasta.
- Puhtausaste 2: Huolellinen raepuhallus eli pinnan tulee olla vapaa öljystä ja rasvasta sekä suurin osa ruosteesta ja valssihilseestä tulee olla poistettu. Jäljellejääneen valssihilseen ja ruosteen tulee olla tiukasti kiinni perusaineessa
- Puhtausaste 2,5: Erittäin huolellinen raepuhallus eli pinnan tulee olla vapaa öljystä ja rasvasta sekä ruosteesta ja valssihilseestä sekä muista epäpuhtauksista. Ruosteesta ja valssihilseestä saa jäädä heikkoja värijälkiä
- Puhtausaste 3: Raepuhallus puhtaalle metallipinnalle eli pinnan tulee olla kokonaan vapaa öljystä ja rasvasta sekä ruosteesta ja valssihilseestä sekä muista epäpuhtauksista. Ruosteesta ja valssihilseestä ei saa jäädä edes heikkoja värijälkiä. Pinnan pitää olla väriltään tasainen metallipinnan väri."



Kuva 6 (Blast Journal 2015) Sa-puhtausasteet hahmoteltu kuvana

### 2.3 Oikaisu

Aihioin tullessa esikäsitteilylinjalle siinä on mahdollisesti enemmän tai vähemmän jäännösjännityksiä, sekä muista tekijöistä johtuvia muodonmuutoksia. Näistä syistä johtuen jokainen profiili on yksilöllinen ja vaatii omat oikaisuasetuksensa, vaikka profiilit tulevat samalta toimittajalta tai samasta valusta.

Jäännösjännityksiä muodostuu materiaaliin, kun sen eri osissa tapahtuu eriaikaisia ja/tai erisuuruisia tilavuuden- ja muodonmuutoksia. Tilavuuden- ja muodonmuutokset tapahtuvat mekaanisten tai termisten jännitysten aiheuttaman plastisen deformaation tai faasinmuutosten seurauksena. Jos esimerkiksi ainoastaan metallin pintaa muokataan, laajenee se sisustaan nähden. (Lindroos ym. 1986, 57.)

Oikaisulla on tarkoitus hyödyntää plastista muodonmuutosta jäännösjännitysten poistamiseen, sekä oikaista profiilit suoriksi. Oikaisussa kappaletta taivutetaan sen myötörajan ylitse, jolloin siinä tapahtuu plastista muodonmuutosta. Plastisen muodonmuutoksen tapahtuessa kappaleeseen tulee uusia jännityksiä, jotka ovat suurempia, kuin jäännösjännitykset ja näin ollen neutralisoivat kappaleessa olleet jäännösjännitykset uusilla suuremmilla jännityksillä.



”Plastiset muokkaustavat perustuvat siihen, että metallille voidaan antaa pysyvä muodonmuutos ulkoisen voiman ansiosta. Plastista muokkautumista on havaittavissa, kun ulkoinen voima ylittää materiaalin elastisen rajan. Kun elastinen raja on saavutettu, jäännöksessä on havaittavissa plastista muokkautumista, pysyvä muodonmuutos, jopa voiman poistumisen jälkeen.” (Hans ym. 1998, 2:1.)

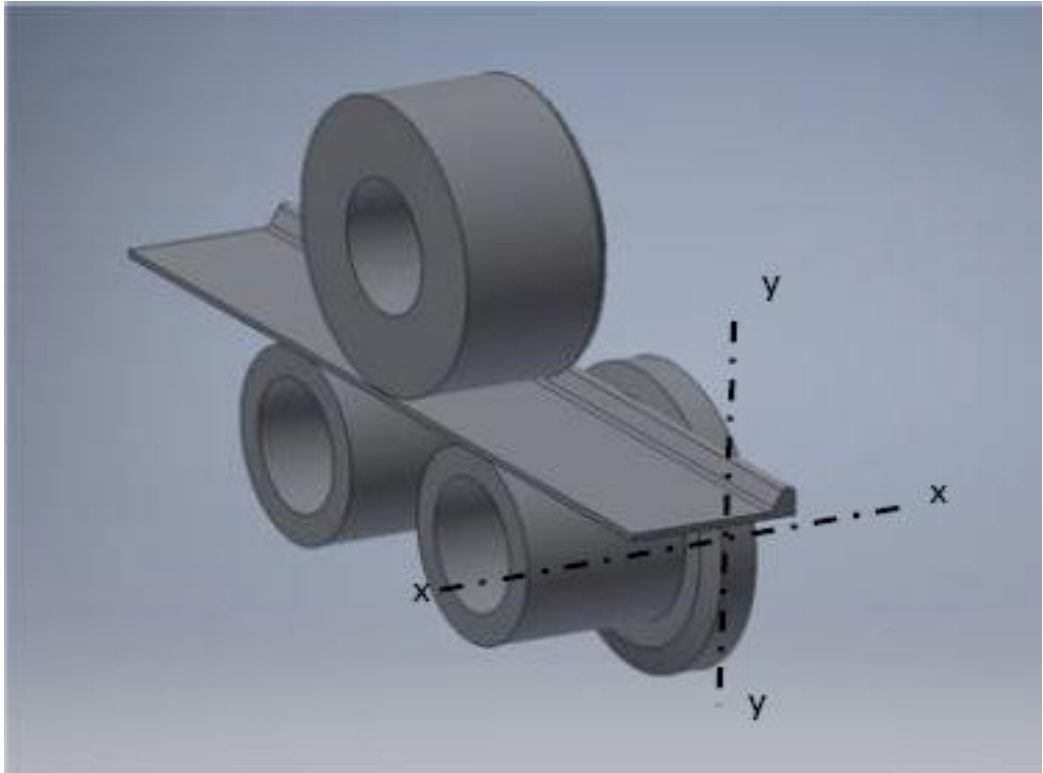
”Kun kiteeseen vaikuttaa ulkoinen voima, tapahtuu siinä muodonmuutos, kimmainen tai plastinen. Plastisessa muodonmuutoksessa kiteen atomit liukuvat toistensa ohi, kimmoisessa taas ne joko etääntyvät toisistaan tai lähestyvät toisiaan.” (Lindroos ym. 1986, 58.)

Vinot profiilit aiheuttavat jatkoprosessiin suuria vaikeuksia kohdistuksien kanssa, siksi esikäsitteilylinjalle ollaan investoimassa oikaisulaitteeseen. Oikaisulaitteita on yleisesti ottaen kolmea eri tyyppiä: venytysoikaisu, rullaoikaisu ja edellä mainittujen yhdistelmä venytysrullaoikaisu.

### 2.3.1 Rullaoikaisu

Rullaoikaisukoneet sisältävät kaksi riviä päällekkäin olevia rullia ja materiaali kulkeutuu rullarivien välistä. Rullien lukumäärä vaihtelee viidestä rullasta kolmeenkymmeneen rullaan. Oikaisulaitteiden ensimmäisten rullien väli päästä päin katsottuna on yleensä yhtä suuri, kuin kappaleenpaksuus. Näin ollen kappale saadaan vedettyä oikaisukoneen sisälle, eikä se tarvitse erillistä syöttöä, syöttämiseen vaikuttaa myös se, että onko oikaisukoneen ylimmät ja alimmat rullat vetäviä rullia. Oikaisukoneen seuraavat välit lukuun ottamatta viimeistä väliä ovat pienempiä, kuin kappaleenpaksuus, koska näin ollen kappale ei pääse oikaisukoneessa eteenpäin, ellei se taivu kulkeutumaan rullien välistä. Viimeinen väli on myös saman paksuinen, kuin kappaleenpaksuus, joka aiheuttaa sen, että kappale pyrkii oikaisuprosessin lopulla suoristumaan.

Rullaoikaisun tavoite on oikaista kappale molemmista, pysty- ja vaakasuunnista. Toisin sanoen rullia voidaan säätää molemmissa x- ja y-suunnissa. Kuva 8. auttaa ymmärtämään mitä x ja y suunnilla tarkoitetaan. Vaikeampaa on saada profiili suoraksi x-suunnassa, koska poikkileikkauksen paksuus on paljon suurempi kuin y-suunnassa.

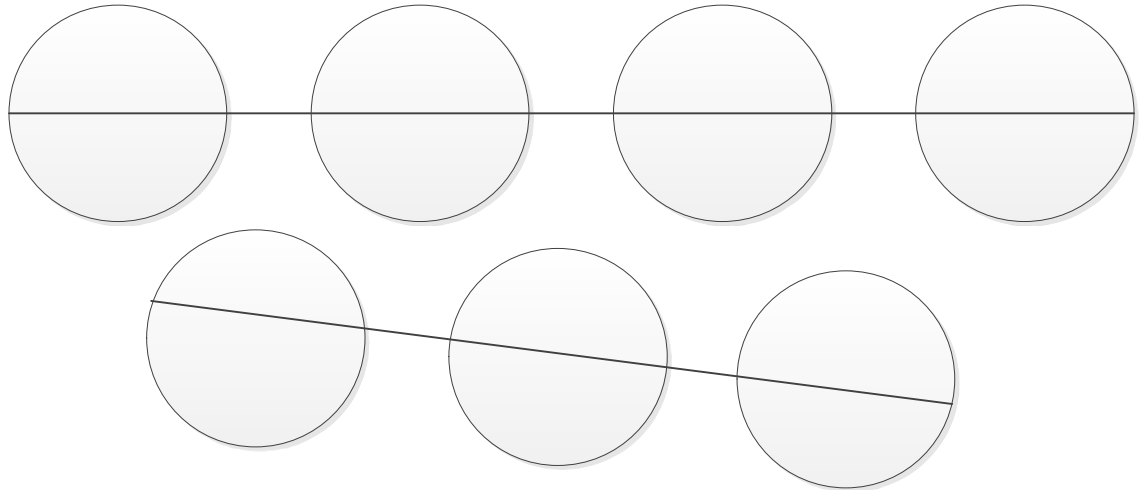


Kuva 7. Profiilioikaisukoneen periaate. (Koneen toimittajan lähettämässä sähköpostissa ollut piirros)

Ensimmäisten ja viimeisten rullien välissä olevien rullien välit pakottavat kappaleen taipumaan, vaikka se olisi suora. Yleisimmin käytetty tapa on ensimmäisen rullavälin jälkeen taivuttaa kappaletta mahdollisimman paljon ja loppua kohden suoristaa kappaletta. Tästä muodostuu niin sanottu oikaisukoneenkiilaukulma. Kulma kertoo kuinka suuri kulma ylä- ja alarivin välissä on. Nykyisin koneissa pystyy säätämään myös yksittäisen rullan asemaa, joka on huomattava etu, kun pyritään suoristamaan kappale leveys- ja pystysuunnista. Vaikka jokainen profiili on yksilö oikaisun suhteen, niin koneen asetuksia ei tarvitse yleensä enempää säätää, kuin kahden ensimmäisen rullan paikoitusta. Tämä helpottaa prosessia huomattavasti, kuin, että joutuisi jokaiselle profiilille etsimään jokaiselle rullalle omat asemat.

Oikaisuun vaikuttavia tekijöitä:

- Rullien määrä
- Kiilauksen kulma / rulliensäätö
- Yksittäisen rullan halkaisija



Kuva 8. Oikaisukoneenkiilaus (Itse tehty MS visiolla)

Rullien määrällä on suuri vaikutus oikaisulaatuun, koska mitä enemmän rullia on, niin sitä enemmän edestakaisia taivutuksia. Näin ollen lopputulos tulee olemaan hienempi, sekä sisältämään vähemmän jäännösjännityksiä. Vähemmän rullia sisältävillä rullaoikaisukoneilla saadaan aikaan karkeampi oikaisutulos, koska edestakaisia taivutuksia on vähemmän. Rullien määrä tulisi mitoittaa tarkoituksen mukaan.

Kiilauksen kulma vaikuttaa myös oikaisuun, koska mitä vahvempi taivutus on, sitä enemmän se vaikuttaa kappaleen jäännösjännityksien poistoon. Nykyisin on mahdollista säätää myös yksittäisen rullan asemaa mikä on huomattava etu kahden suunnan oikaisua ajatellen (Kuva 9).

Oikaisuprosessi perustuu kappaleen elastoplastiseen taipumiseen, kun se kulkeutuu kahden porrastetun vetävän rullarivin välistä. Oikaisun tarkkuus riippuu rullien etäisyyksistä (mitä isompi väli, sitä pienempi tarkkuus) ja rullien lukumäärästä ja niiden mitoista (mitä enemmän rullia, sitä suurempi tarkkuus) (The Great Soviet Encyclopedia. 2010)

Rullan halkaisijaa muuttamalla saadaan muutettua yksittäisen taivutuksen sädettä. Yleisesti ottaen rullien halkaisija on suoraan verrannollinen taivutettavan aihion paksuuteen, koska jos esimerkiksi taivutetaan paksua kappaletta pienellä rullan halkaisijalla, niin tarvittava voima kappaleen taivuttamiseen on suurempi kuin, jos taivutettaisiin suuremmalla säteellä. Huomioon on otettava myös, että viimeisen taivutuksen tulee oikaista edellinen taivutus.

### 2.3.2 Oikaisukone

Investoinneissa on esivalittuna oikaisukone (Kuva 10). Sisaryhtiön tehtaalle on hankittu edellä mainittu oikaisukone. Oikaisukoneen toimittajalta kysyttiin paljon kysymyksiä, siitä miten esiraepuhalluksen pois jättäminen vaikuttaa oikaisukoneen käyttämiseen ja millaisia mahdollisia ongelmia Yritys joutuu kohtaamaan jatkossa.

**Profile straightening machine**



Kuva 9. Oikaisukone

Oikaisukoneentoimittajan vastauksena saatiin se, että esiraepuhallus ei ole pakollinen prosessi ennen oikaisua. Esimerkiksi valssaamossa, missä profiileita oikaistaan samoilla laitteilla, ei raepuhalleta niitä ennen oikaisua. Raepuhalluksessa on kuitenkin se hyöty, että oikaisukone pysyy paljon puhtaampana valssihilseestä ja ruosteesta, kun profiilit puhalletaan ennen oikaisua. Tällöin rullien kestoikä paranee huomattavasti.

Oikaisukoneen rullien materiaaliksi on kumminkin valittu todella kestävä X155 CrVMo 12 1 terästä. Sisaryhtiöllä rullat olivat kestäneet noin vuoden, kunnes oli havaittu

ensimmäisillä kuudella rullalla kulumista. Kuluminen oli ollut minimaalista, sillä halkaisijasta oli jouduttu uudelleen profiloimaan alle 1 mm.

Toimittaja kertoi myös aikaisemmin kuulleen tutkimuksesta, jossa oli havaittu että kun profiilin pinnassa on vähän ruostetta yms., niin se auttaa rullien välissä olevassa kitkassa. Ja näin ollen oikaisuvoimaa tarvittaisiin vähemmän ja tämä parantaisi rullien elinikää. Oikaisukoneen rullat ovat kumminkin vetäviä rullia, joten profiileiden syöttämisessä ei tule vaikeuksia. Niin kuin edellä mainitussa "rullaoikaisu" kappaleessa on käsitelty, ensimmäinen rullaväli on saman paksuinen, kuin profiilin paksuus, joten profiili saadaan vedettyä helposti oikaisukoneeseen.

### **Oikaisukoneen tietoja:**

#### Kapasiteetti

- Maksimi taivutusvoima: 355 MPa
- Pulpin leveys rajat: 60 – 220 mm
- Pulpin paksuus rajat: 6 – 11,5 mm
- Pulpin pituus rajat: 6 – 12 m
- Suoruus takaus: 1 mm / 1m tai parempi

#### Kone tietoja

- Työrullien lukumäärä: 13 (6 ylhäällä, 7 alhaalla)
- Syöttörullien lukumäärä: 6 (ylhäällä sijaitsevat rullat)
- Läpimeno aika: 30 m/min
- Pää syöttömoottori: Yksi 4/40/40 kilowatin A.C moottori 100/1000/1500 kierrosta / minuutissa
- Syöttökorkeus: 800 mm
- Paino: 18 000 kg
- Rullien materiaali: X155 CrVMo 12 1

### 3 TESTIN HYPOTEESI

Hypoteesin laadintaan vaikuttivat aiemman testin tulokset ja kirjallisuuden tutkiminen. Yrityksen aiemmassa profiilinesikäsittelyn raepuhallustestissä, joka oli tehty kolmelle profiilille. Tulokset olivat samat, kuin normaalilla ajotavalla. Ongelmana kolmen profiilin testauksessa on se, että vaikka tulokset ovat hyviä, niin tilastollisesti tuloksia on liian vähän. Perussääntönä testituloksia tulisi olla 15 kappaletta per sarja eli kyseisessä testissä tuloksia tarvitsee olla yhteensä 30 kappaletta (SBTI Lean Six Sigma Pocket Guide). Näin ollen voi tilastollisesti todeta, että eroavaisuuksien keskiarvo on 90 % todennäköisyydellä lähellä totuutta. Aiemmin tehdyn testin tuloksena oli kumminkin ollut se, ettei lopputulos ollut eronnut normaalista ajotavan tuloksesta.

Kirjallisuuden tutkiminen alkoi lähinnä sillä, että miten raepuhallus vaikuttaa teräksen muokattavuuteen, koska ainoa prosessi, mihin raepuhallus vaikuttaa, on oikaisu. Oikaisun jälkeen profiilit kumminkin puhallettaisiin, jotta profiilit tulisivat maalaukseen ja merkkaukseen samassa laadussa, kuin jos profiilit esipuhallettaisiin, koska oikaisukoneen jättämän jäljen takia profiilit ovat pakko puhaltaa oikaisukoneen jälkeen. Nopeasti selvisi, että raepuhalluksella voidaan saada aikaan muokkauslujittumista, koska se on sama asia kuin kuulapuhallus, mutta pienemmillä partikkeleilla.

Yrityksen teettämällä raepuhallustestillä, missä oli tutkittu vaikuttaako raepuhallus profiilin suoruuteen, oli selvinnyt, että raepuhallus vaikuttaa vain ohuiden profiileiden suoruuteen. Tähän on teoriassa selitys johon raepuhalluskohdassa on viitattu, eli pintaan osuessaan rae tekee siihen pienen kuopan, joka aiheuttaa kappaleen pintaan puristusjännitystä.

Tytäryhtiön esikäsittelylinjalta asiaa perusteltiin sillä, että raepuhalluksella saadaan profiileista poistettua jäännösjännityksiä ja, kun jäännösjännitykset poistetaan ennen oikaisua, niin oikaisulla saadaan korjattua jännitysten aiheuttamat taivutukset. Mutta tytäryhtiö joutuu myös raepuhaltamaan profiilit oikaisun jälkeen ja silloin ohuilla profiileilla tapahtuu taipumista. Tämän virhe on kumminkin korjattu sillä, että oikaistaan kappale niin sanotusti "yli" ja annetaan systemaattisen virheen korjata raepuhalluksesta aiheutunut taipuminen

Oikaisukoneen toimittajalta kysyttiin myös lausuntoa siitä, kuinka tärkeänä he pitävät raepuhalluksen tarvetta ennen oikaisua. Vastauksena saatiin, ettei oikaisua pidetä ehdottoman tärkeänä, mutta sillä saadaan helpommin pidettyä puhtaana oikaisukoneen rullat.

Hypoteesina tähän testiin todettiin, ettei raepuhallusprosessin paikan vaihtaminen oikaisun jälkeen aiheuta muutoksia lopputulokseen.

## 4 TESTIT

Testit suoritettiin sisaryhtiön tytäryhtiöllä. Tytäryhtiö sijaitsee sisaryhtiön vieressä. Testien tarkoitus oli tutkia, onko mahdollista tuottaa mittastandardissa olevaa esikäsiteltyä profiilia ilman esiraepuhallusta. Tytäryhtiön tämän hetkinen normaali tapa ajaa profiileita esikäsitelylinjan läpi, on raepuhaltaa ne ennen oikaisua ja oikaisun jälkeen. Testissämme profiileita ei raepuhallettu ennen oikaisua, vaan profiilit menivät oikaisuun samassa kunnossa, missä ne tulivat tytäryhtiön suoraan sisävarastolta.

Testattavien sarjakappalemäärä oli 14 kappaletta, koska se oli lähin sarjakoko mikä vastaa 15:sta. Tarkoituksena oli tehdä tilastollinen koejärjestely, jossa saataisiin tutkittua noin 90 %:n varmuudella, onko esiraepuhalluksella väliä lopputulokseen. Testeissä oli tarkoituksena, ettei mitään käytettävää prosessia saa muuttaa testien aikana, koska muuten lopputulos ei ole totuudenmukainen. Testissä oli tavoitteena mitata onko esiraepuhalluksella vaikutusta lopputulokseen.

Testipäivänä tuli esille muutama ongelma testien suorituksen kannalta. Ensimmäisenä se, että jokainen profiili oikaistaan yksilöllisesti ja jokainen profiili on yksilö. Eli profiileita ei ole mahdollista oikaista aina samoilla asetuksilla. Toimittaja, joka oli toimittanut laitteet tytäryhtiölle, oli ollut sitä mieltä, että samankokoista profiilia voi oikaista aina samoilla asetuksilla, mutta tämä ei todellisuudessa onnistu. Profiilit ovat jokainen yksilöitä vaikka ne ovat samankokoisia, koska jokaisessa profiilissa on oman suuruisensa jäännösjännitykset ja kuljetuksessa käytetty sijoittelu vaikuttaa myös profiilin suoruteen. Tämän jälkeen testasimme, vain 14 kpl profiileita sillä linjajärjestelyllä, ettei niitä esiraepuhallettu.

Toinen ongelma liittyi mittaustekniikkaan. Tarkoituksena oli saada tuloksia kymmenesosamillin tarkkuudella tai vähintään millin tarkkuudella, mutta kappaleen pituuden ollessa 10 metriä ja paksuutta vain 5mm, niin muuttuu kappale liian elastiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että kappale voi olla suora maatessa pöydällä ilman mitään kohdistuvia voimia painovoimaa lukuun ottamatta ja jos kappaleen päästä työntää niin saadaan aikaan niin suuri elastinen muutos, että mitattaessa kappale ei (Kuva 11) osuisi mittastandardin rajoihin. Tämän ongelman takia testistä ei saatu parempia tuloksia, kuin "ok" tai "hylätty"





Kuva 10. Testiprofiileita

## 5 TULOKSET

Testit sujuivat kauttaaltaan hyvin, vaikka alussa huomattiinkin muutama testejä haittaava ongelma. (Kuva 12) Itse eroavaisuutta vertaava testi ei onnistunut mittavirheiden ja muuttuvien tekijöiden takia, mutta tytäryhtiöltä saatiin paljon hyödyllistä tietoa esikäsittelystä ja kaikki testatut 14 kappaletta profiileita olivat mittastandardissa ja jatkoivat matkaansa jatko jalostukseen.

Eroavaisuus testiä haittasi eniten oikaisuprosessi, koska se ei ollut vakioitu mitenkään, vaan oikaisu tapahtui lähes jokaiselle profiilille yksilöllisesti. On mahdollista kumminkin ajaa samoilla asetuksilla 3-4 profiilia putkeen suoraksi, mutta ei ole mahdollista mitata profiilin kokoa ja oikaista kaikkia samoilla asetuksilla. Tämän johtuen siitä, että lähes jokainen profiili sisältää omat jäännösjännitykset ja muodonmuutokset. Ne aiheutuvat yleisimmin varastoinnista ja nostoista, koska profiilia käsiteltäessä ei sitä saada nostettua niin, että koko matkalta saataisiin ote, vaan profiilin nosto tapahtuu 3-4 pisteestä magneettien avulla. Tällöin profiilia nostaessa se pääsee vääntymään omasta painostaan, koska se on kiinni vain kolmesta tai neljästä pisteestä ja painovoima vetää profiiliin tukemattomia kohtia alaspäin.



Kuva 11. Profiiliihioit tytäryhtiön linjan alkupäässä.

Raepuhalluksella saatiin yläpuolella näkyvän kuvan 13. testi profiilit puhallettua pintaruosteesta ja valssihilseestä huolimatta puhtausasteeseen Sa 2.5. Pintoja mitattiin myös pinnankarheus testillä raepuhalluksen jälkeen kuten kuvassa 14. näkyy, mutta kyseessä ei ollut raepuhalluksen tuloksen mittausta, vaan pinnankarheus mittausta maalausta ajatellen. Profiilinpinta ei saa olla liian sileä, koska muuten maali ei tartu ja pinnassa ei saa olla liian korkeita pisteitä, koska muuten epäpuhtaudet tarttuvat helpommin profiiliin.

Testiprofiilit läpäisivät tämänkin testin, mutta pitää muistaa, että pinnankarheus määräytyy profiiliihion pinnanlaadun mukaan. On mahdollista, että raepuhallus vaikuttaa vähän pinnankarheuteen, mutta muutos on niin pieni, ettei sillä ole merkitystä. Suurin vaikutus on se, kuinka syväälle ruostuminen on ehtinyt ennen esikäsitteilylinjalle menoa. Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta selviää tytäryhtiöllä käytetty pinnankarheuden mittausmenetelmä ja keskimääräinen tulos testiprofiileiden pinnankarheudesta. Pinnankarheuden sallittu väli on 35–70 µm. (Kuva 14.)



Kuva 12. Pinnankarheustesti ennen maalausta

## 6 PÄÄTÄNTÄ & POHDINTA

Lopuksi yritys piti päätöspalaverin, jossa käsiteltiin testien tulokset ja linjojen eri vaihtoehtojen vaikutusta tuottavuuteen, kunnossapitoon, kustannuksiin ja layout muutoksiin. Vaihtoehtoja oli lopuksi 3:

1. Raepuhallus pelkästään päälinjalla yhdellä puhaltimella
2. Raepuhallus profiililinjalla ja päälinjalla
3. Raepuhallus profiililinjalla kahdella puhaltimella

Ensimmäinen vaihtoehto olisi kaikkein halvin rakennuttaa, mutta haasteina olisi saada puhallettua kaikki profiilit päälinjalla. Aihoiden laadun muuttuessa, jos esikäsitteilyyn tulee todella ruosteista aihiota. Voi olla mahdollista, että niitä ei saada puhtaaksi päälinjalla. Päälinjalla ei ole palautusmahdollisuutta, toisin sanoen jos huomataan profiilin puhtausasteessa puutoksia, niin uudelleen puhaltaminen olisi haastavaa. Ja jos näin tapahtuu, niin on kalliimpaa asentaa jälkeempään raepuhallin linjalle kuin samaan aikaan, kun koko linjaa rakennetaan. Ongelmana on myös se, että oikaisukoneeseen syötettäisiin esipuhaltamattomia profiileita, joka lisäisi oikaisukoneen kunnossapitotöitä.

Toinen vaihtoehto on sama vaihtoehto, jota ennen tämän opinnäytetyön alkua oli ajateltu profiililinjalle tehtäväksi. Ongelmia tässä vaihtoehdossa on huoltotöiden tiheys päälinjan puhaltimella samoin kuin myös vaihtoehdossa yksi oli. Hyödyt tässä vaihtoehdossa tulee siitä, ettei oikaisukoneeseen syötetä likaisia profiileita, vaan ne puhallettaisiin ensin puhtausasteeseen Sa 2 ja päälinjalla kevyt puhallus, jolloin saavutettaisiin puhtausaste Sa 2.5. Tässä vaihtoehdossa ei tarvitse myöskään miettiä raepuhalluksen aiheuttamaa pinta-alan suurentumista ja profiilin taipumista, koska suurin puhallus tapahtuu ennen oikaisukonetta ja on mahdollista puhaltaa profiilit kahteen kertaan.

Kolmannessa vaihtoehdossa on tarkoitus rakentaa yksi raepuhallin lisää profiililinjalle, jolloin profiililinjalla olisi kaksi raepuhallinta. Ensimmäinen raepuhallin olisi oikaisua ennen ja toinen oikaisun jälkeen. Ongelmana tässä on lisäkustannukset lisäpuhaltimen hankinnasta ja joutuisi suunnittelemaan profiiliesikäsittelyn layoutin uudestaan. Hyötyjä tässä vaihtoehdossa on se, ettei päälinjan puhallinta jouduttaisi huoltamaan niin usein, kuin sitä normaalisti huollettaisiin. Mutta toisaalta kaikki saavutettu hyöty, mikä päälinjanpuhaltimen huolloissa säästetään, kuluu uuden puhaltimen huoltoon. Ja

pahimmassa tapauksessa, kun kaikkien kolmen raepuhaltimen huoltotarpeet lasketaan yhteen, niin voidaan joutua huoltamaan, jopa enemmän kuin toisessa vaihtoehdossa.

Palaverissa päädyttiin yksimielisesti ratkaisuun ja vaihtoehto, joka valittiin, oli vaihtoehto 2. Toisessa vaihtoehdossa merkittävä hyöty oli, että ohuilla profiileilla tapahtuvaa taipumista raepuhalluksen toimesta saadaan oikaistua, kun raepuhallus suoritetaan ennen oikaisukonetta. Päälinjan raepuhalluskoneella on näin ollen tarkoitus vain puhaltaa vain kevyt puhallus Sa 2:sta Sa 2.5:een. Toisena merkittävänä etuna oli se, että profiilit saadaan puhallettua kahteen kertaan, koska aihoiden laatu voi vaihdella tulevaisuudessa ja jos aihoiden pintaruosteen määrä nousee. Sama etu olisi saavutettu myös vaihtoehdolla kolme, mutta vaihtoehto kolme olisi vaatinut layoutin uudelleen suunnittelun ja mahdollisesti myös lisää kustannuksia kunnossapitoon.

Vaihtoehto 2:sen valinta tarkoittaa myös, ettei nykyisiä alustavia suunnitelmia tarvitse suunnitella uusiksi, vaan Yritys voi vain hyväksyä alustavat suunnitelmat nyt, kun ne ovat tutkittu. Kunnossapito näkökulma kyseisessä vaihtoehto 2:ssa on vaativampi, kuin vaihtoehdossa 1, mutta pienempi, kuin vaihtoehdossa 3. Yritys halusi esikäsittelylinjastaan varmatoimisen, eli kaikki mahdolliset epäkohdat, jotka voivat ilmetä pitää saada suljettua pois lopullisella ratkaisulla. Tätä kohtaa ei välttämättä olisi saatu täytettyä vaihtoehto 1:llä, koska siinä saadaan raepuhallettua profiilit vain yhden kerran ilman palautus mahdollisuutta. Vaihtoehdoissa 2 ja 3 raepuhallus mahdollisuus on kahteen kertaan, jolloin voidaan mahdolliset ensimmäisen puhalluksen jäämät puhaltaa vielä pois.

## LÄHTEET

Blast journal 31.7.2016 <http://blastjournal.com/surface-preparation-standards-explained/>

Blast solution 14.9.2016 <http://blastsolution.com/1-14-shot-blasting-machine/179729>

Die casting china 15.9.2016 <http://www.diecastingschina.com/die-cast-machining-in-china/shot-blasting-service>

Finnblast 14.9.2016 [www.finnblast.fi/wp-content/uploads/Finnblast\\_Pintojen\\_puhtaus\\_5\\_2014.pdf](http://www.finnblast.fi/wp-content/uploads/Finnblast_Pintojen_puhtaus_5_2014.pdf)

The Great Soviet Encyclopedia, 3rd Edition (1970-1979).  
<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Straightening+Machine>

Lyman, Boyer, Underweiser, Hontas, Mehlman, Carnes, Lawton, 1964 Metals Handbook, 8th Edition. Volume 2: Heat Treating, Cleaning and Finishing.

Lindroos, Sulonen, Veistinen 1986. Uudistettu Miekk-ojan Metallioppi, Teknillisten tieteiden akatemia: Otava

Lundh, Bustad, Carlsson, Engberg, Gustafsson, Lidgren 1998. Sheet Steel Forming Handbook, SSAB Tunnpå AB

Pereira 2011. SBTI Lean Six Sigma Pocket Guide

Shotpeener 14.11.2016 <http://www.shotpeener.com/library/pdf/1957006.pdf>

Substech 28.9.2016 [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=shot\\_peening](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=shot_peening)

Wheelabrator 5.10.2016  
[http://www.wheelabratorgroup.com/en/sites/wheelabrator/content/about\\_us/about\\_wheelabrator/what\\_is\\_shot\\_blasting.aspx](http://www.wheelabratorgroup.com/en/sites/wheelabrator/content/about_us/about_wheelabrator/what_is_shot_blasting.aspx)