

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja Polttomoottoritekniikka

2017

Daniel Hopkins

VALMISTUSOHJEET ILMAKUIVAIMEN UUDELLE MATERIAALILLE

VALMET OYJ

Daniel Hopkins

VALMISTUSOHJEET ILMAKUIVAIMEN UUELLE MATERIAALILLE

Case: VALMET OYJ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda High intensity -ilmakuivaimen uudelle materiaalille valmistusohjeet ja laskea materiaalivaihdoksesta syntyvät kustannussäästöt.

Aluksi perehdyttiin Valmetin High intensity -ilmakuivaimen. High intensity on kuivainlaite, joka kuivattaa paperin päällä olevaa pastaa. Materiaalivaihtoehtoina oli kaksi ferriittistä ruostumatonta terästä, EN 1.4003 ja EN 1.4512. Materiaalivaihtoehdot saatiin Valmetin aikaisemmin teettämästä opinnäytetyöstä. Tässä työssä selvitettiin, mitkä ovat materiaalin ohutlevyille soveltuvia erinäisiä tekniikoita. Liittämistekniikoita ovat MIG/MAG- ja TIG-hitsaukset sekä tox-liitokset. Muovaustekniikoita ovat syväveto, venytysmuovaus ja taivutus. Leikkausmenetelmiä ovat vesileikkaus, hienoplasmaleikkaus, laserleikkaus ja mekaaninen leikkaus. Jälkikäsittelymenetelmiä ovat harjaus, kiillotus ja peittäus. Työssä selvitettiin myös materiaalin asianmukainen varastointi ja käsittely. Suunnittelijoiden ohjeistuksessa tärkeintä oli mainita projektien työmailla asianmukainen varastointi sekä huomioida materiaalin lujuusominaisuudet ja lämpölaajeneminen. Valmistuksessa keskeistä oli huomioida myös varastointi, hitsauksessa lämmöntuonti ja liitoksien oikeanlainen jälkikäsittely. Tuotteen valmistuksessa kustannukset pysyivät samoina mutta kustannussäästöjä saavutettiin noin 30 % materiaalin halvemmasta hinnasta johtuen.

Opinnäytetyön esiselvityksen perusteella saatiin materiaalivaihtoehdot rajattua yhteen materiaaliin. Sen jälkeen selvitettiin, voidaanko uutta materiaalia käyttää High intensity -kuivaimen valmistamisessa ongelmitta. Materiaalin vaihdoksesta johtuen suunnittelijoiden täytyy huomioida materiaalin varastoinnin muutokset, lämpölaajeneminen sekä lujuusominaisuudet ja valmistajien tulee huomioida myös materiaalin varastointi, hitsauksen lämmöntuonti sekä liitoksien jälkikäsittely. Uuden materiaalin käytöstä saadaan huomattavia kustannussäästöjä materiaalihankeissa, eivätkä tuotteiden valmistuskustannukset nouse materiaalin vaihdosta johtuen.

ASIASANAT:

Valmet Oyj, Kustannukset, Ruostumaton teräs, Suuttimet, Kanavisto, Ohutlevy, Ohjeistus.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2017 | Total number of pages 59 + 3 Appendices

Daniel Hopkins

MANUFACTURING INSTRUCTIONS FOR AIR DRYER'S NEW MATERIAL

Case: VALMET OYJ

The main goal of this thesis was to create manufacturing instructions to a new material of the High intensity air dryer. Another goal was to count the possible savings of this material change.

At the beginning the High intensity air dryer was studied. It is an air dryer which dries the pasta on paper. There were two material options of ferritic stainless steels, EN 1.4003 and EN 1.4512. The materials were defined by an earlier thesis made for Valmet. The appropriate techniques for sheet metals are explained, such as jointing techniques which are MIG/MAG- and TIG-welding and tox-jointing. Forming techniques are deep drawing, stretch molding, edging and bending. Cutting techniques are water-, plasma-, laser- and mechanic cutting. Finishing treatments are brushing, polishing and acidation. Also, the appropriate storing of the material is explained. In the instructing of the designers the main themes were to specify the appropriate storing of the material on the worksite and to acknowledge the strength properties and heat expansion. The main themes in manufacturing were to also acknowledge the storing, heat supply in welding and the right kind of finishing. The costs stayed the same in manufacturing but a saving of 30 % was achieved due to the lower price of the material.

Preliminary survey was used to define material options to one and determine if the new material is suitable to use in the manufacturing of the High intensity air dryer. Designers and manufacturers have to take a few things into account with the changing of the material and these changes are reported at the end this thesis. There are significant savings to be seen after the material change in acquisition price. Also there are no increase in the manufacturing costs with the new material.

KEYWORDS:

Valmet Oyj, Costs, Stainless steel, Nozzles, Channels, Sheet metal, instructions

SISÄLTÖ

| | |
|---|-----------|
| 1 JOHDANTO | 8 |
| 2 VALMET OYJ | 9 |
| 3 OPTIDRY COAT - HIGH INTENSITY | 10 |
| 3.1 OptiDry Coat | 10 |
| 3.2 High intensity | 11 |
| 3.2.1 High intensity -suuttimet | 12 |
| 3.2.2 High intensity -kanavisto | 12 |
| 3.2.3 Kanaviston lujuuslaskelmat | 13 |
| 3.3 Materiaalien ominaisuudet | 13 |
| 3.3.1 Hitsattavuus | 16 |
| 3.3.2 Muokattavuus | 17 |
| 3.3.3 Korroosio | 19 |
| 3.3.4 Jälkikäsittely | 21 |
| 3.4 Materiaalien eroavaisuudet | 22 |
| 4 KÄYTETTÄVÄN MATERIAALIEN SELVITYS | 24 |
| 4.1 Materiaalien saatavuus ja hinta | 24 |
| 4.2 Selvityksen perusteella valittu materiaali | 24 |
| 4.3 Kustannussäästöt | 25 |
| 5 MATERIAALIN SOVELTAVUUSKOKEET PAPERIKONEYMPÄRISTÖSSÄ | 28 |
| 5.1 Kuumankesto | 28 |
| 5.2 Korroosio | 29 |
| 5.3 Liitokset | 31 |
| 6 MATERIAALIN VALMISTUSOHJEET | 36 |
| 6.1 Leikkaukset | 36 |
| 6.1.1 Mekaaninen leikkaus | 37 |
| 6.1.2 Laserleikkaus | 42 |
| 6.1.3 Plasmaleikkaus | 43 |
| 6.2 Särmäys ja taivuttaminen | 43 |
| 6.3 Liitokset ja jälkikäsittely | 46 |
| 6.3.1 Liitokset | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 6.3.2 Jälkikäsitteily | 49 |
| 6.4 Varastointi ja käsittely | 51 |
| 6.4.1 Varastointi | 51 |
| 6.4.2 Valmistus ja käsittely | 52 |
| 7 SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAT ASIAT | 54 |
| 8 YHTEENVETO | 57 |
| LÄHTEET | 59 |

LIITTEET

- Liite 1. Outokumpu hinnasto kuukausikohtainen seosainelisät tammikuu 2017
 Liite 2. Vetokokeen tulokset
 Liite 3. Koekappaleet ennen ja jälkeen

KUVAT

| | |
|--|----|
| Kuva 1. OptiDry Coat -linjasto (Valmet 2016). | 10 |
| Kuva 2. High intensity -ilmakuivain (Valmet 2016). | 11 |
| Kuva 3. Syvävedon periaate (Matilainen ym. 2010, 220). | 18 |
| Kuva 4. Venytyksmuovauksen vaiheet (Matilainen ym. 2010, 227). | 19 |
| Kuva 5. Piste- ja rakokorroosio (Lukkari ym. 2016, 185). | 20 |
| Kuva 6. Ferriittisten teräksien muutosvyöhykkeet (Lukkari 4/2011, 18). | 23 |
| Kuva 7. Materters FMT – vetokone. | 31 |
| Kuva 8. a) Leikkausvetokoe b) Ristivetokoe (Scielo 2016). | 32 |
| Kuva 10. Leikkausmenetelmien tarkkuusvertailua (Matilainen ym. 2010, 201). | 37 |
| Kuva 11. Leikatun pinnan vyöhykkeet (Matilainen ym. 2010, 170). | 37 |
| Kuva 12. a) Yhdensuuntainen leikkaus. b) Viistoleikkaus. c) Heilurileikkaus. (Matilainen ym. 2010, 171). | 38 |
| Kuva 13. Muovipinnoitetun ohutlevy leikkaaminen suuntausleikkurilla. (Matilainen ym. 2010, 177). | 40 |
| Kuva 14. Lävistämisen vaiheet. (Matilainen ym. 2010, 180). | 41 |
| Kuva 15. a) Optimaalinen leikkausvälys. b) Liian pieni leikkausvälys. (Matilainen ym. 2010, 185). | 42 |
| Kuva 16. Taivutuskoneen osat ja toiminnan peruseriaate (Matilainen ym. 2010, 239). | 44 |
| Kuva 17. Vasemmalla vapaataivutus ja oikealla pohjaaniskutaivutus (Matilainen ym. 2010, 241). | 45 |
| Kuva 18. Taivutuksessa tarvittava puristusvoima (Matilainen ym. 2010, 252). | 45 |
| Kuva 19. Suhteellinen lämmöntuonti eri hitsausmenetelmillä. (Heikkinen, H-P 2011). | 47 |
| Kuva 20. Tox-liitos 203 Bar voimalla, materiaali EN 1.4003, materiaalinpaksuus 2 mm. | 49 |

| | |
|---|----|
| Kuva 21. Ristivetokokeen vetokappale liitettynä. | 8 |
| Kuva 22. Ristivetokokeen koekappale vetokokeen jälkeen. | 9 |
| Kuva 23. Leikkausvetokokeen koekappaleet ennen ja jälkeen vetokoetta. | 10 |

KUVIOT

| | |
|--|----|
| Kuvio 1. Kimmokerroin lämmön kasvaessa (Outokumpu 2012). | 29 |
| Kuvio 2. Konevalmistajan julkaisemat tulokset (Tox Pressotechnik 2017, 4). | 34 |
| Kuvio 3. Ristivetokokeen koekappale 1 tulos. | 2 |
| Kuvio 4. Ristivetokokeen koekappale 2 tulos. | 3 |
| Kuvio 5. Ristivetokokeen koekappale 3 tulos. | 4 |
| Kuvio 6. Leikkausvetokokeen koekappale 4 tulos. | 5 |
| Kuvio 7. Leikkausvetokokeen koekappale 5 tulos. | 6 |
| Kuvio 8. Leikkausvetokokeen koekappale 6 tulos. | 7 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Kemiallinen koostumus (Outokumpu 2016). | 14 |
| Taulukko 2. Mekaaniset ominaisuudet (Outokumpu 2016). | 14 |
| Taulukko 3. Korroosion kestävyys (Outokumpu 2016). | 15 |
| Taulukko 4. Fysikaaliset ominaisuudet (Outokumpu 2016). | 15 |
| Taulukko 5. Ferriittisille teräksille muokkausarvoja. (Outokumpu 2012). | 18 |
| Taulukko 6. Hitsausliitoksen viimeistelytekniikan vaikutus korroosionkestävyyteen (Lukkari ym. 2016, 206). | 21 |
| Taulukko 7. Materiaalien painot. | 26 |
| Taulukko 8. EN 1.4003 materiaalikustannukset. | 26 |
| Taulukko 9. EN 1.4301 materiaalikustannukset. | 26 |
| Taulukko 10. EN 1.4003 materiaalin kustannussäästölaskelmat. | 27 |
| Taulukko 11. Lujuusominaisuudet lämmön kasvaessa. (Outokumpu 2012). | 28 |
| Taulukko 12. Vetokokeen suoritusarvot. | 33 |
| Taulukko 13. Ristivetokokeen tuloksia. | 33 |
| Taulukko 14. Leikkausvetokokeen tuloksia. | 33 |
| Taulukko 15. T. Anttilan opinnäytetyön vetokokeessa käytetyt arvot. (Anttila, T. 2010, 41). | 35 |
| Taulukko 16. Vetokokeen tulokset. (Anttila, T. 2010, 42). | 35 |
| Taulukko 17. Lämmöntuonnin suhteellisuus termisillä leikkausmenetelmillä (Matilainen ym. 2010, 204). | 36 |
| Taulukko 18. Yleisimmät virheet ja virheiden aiheuttajat suuntausleikkauksessa (Matilainen ym. 2010, 172). | 39 |
| Taulukko 19. Pistimen ja tyynyn kokonaisväly ruostumattomalla teräksellä (Matilainen ym. 2010, 186). | 41 |
| Taulukko 20. Jet-Steel Oy määrittelemät peittäesarvot (Korhonen 2016). | 50 |
| Taulukko 21. Materiaaliprofiili (Stainless-lintels 2016; Valtanen, E. 2007, 1013–1014). | 54 |
| Taulukko 22. Outokummun materiaalin seosainehinnasto. | 1 |

Lyhenteet ja käsitteet

| | | |
|-------------------|---|---------------------------|
| LDR | = | Limiting drawing ratio |
| % | = | prosentti |
| C | = | hiili |
| Cr | = | kromi |
| Ni | = | nikkeli |
| T | = | titaani |
| F | = | family, tuoteperhe |
| MPa | = | megapascal |
| R _m | = | murtolujuus |
| R _{p0.2} | = | myötölujuus |
| A/A ₈₀ | = | murtovenymä |
| PRE | = | pistekorrosioekvivalentti |
| tn | = | Tonni, 1000kg |
| Ar | = | Argon |
| Ar-He | = | Argon-Helium |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä yhtenä tavoitteena on laatia valmistusohjeet OptiDry Coat -tuoteperheen High intensity -ilmakuivaimen uudelle materiaalille. Toisena tavoitteena on ohjeistaa suunnittelijoita ja alihankkijoita menetelmistä ja ominaisuuksista, jotka muuttuvat edellisestä materiaaliin nähden.

Materiaalivaihtoehdot tulivat Valmetin aiemmin teettämästä opinnäytetyöstä, jossa High intensity -ilmakuivaimessa käytettävät materiaalit valittiin.

Aluksi käydään läpi materiaalivaihtoehtojen ominaisuudet ja saatavuudet sekä hinnat, joiden perusteella syntyy lopullinen päätös materiaalista, josta tehdään valmistusohjeita. Työssä esitellään myös valitulle materiaalille tehtyjä soveltavuustestejä ja selvitetään materiaalin soveltavuus paperikoneympäristöön. Tox-liitoksille tehdään omat vetokokeet ja tarkastellaan tuloksia. Uuden materiaalin myötä lasketaan tulevat kustannussäästöt tietyille paperikonetyypille. Valmistusohjeissa tarkastellaan leikkausmenetelmät, särmäys ja taivuttaminen, liitokset ja liitoksien jälkikäsittely sekä varastointi. Suunnittelua varten tehdään materiaaliprofiili, jonka avulla voidaan luoda suunnitteluohjelmistolle valittu materiaali.

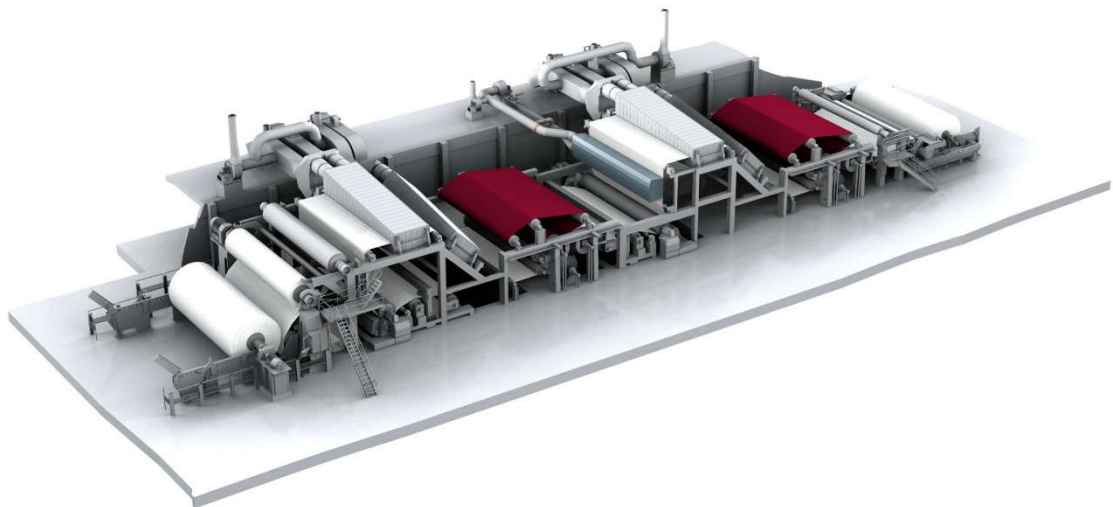
2 VALMET OYJ

Valmet Oyj on kansainvälinen yritys, joka on listattu Helsingin pörssiin ja jolla on toimipisteitä ympäri maailmaa. Valmetilla on teollisuushistoriaa yli 200 vuodelta, ja joulukuussa 2013 sellu-, paperi-, ja voimantuotantoliiketoiminnan irtautuessa Metso Oyj:stä yhtiö organisoitui uudestaan. Valmetin vahva teknologiatarjonta muodostuu sellutehtaista, pehmopaperi-, kartonki- ja paperinvalmistuslinjasta sekä bioenergiaa tuottavista laitoksista. Valmetin kehittyneisiin automaatoratkaisuihin sisältyvät niin yksittäiset mitaukset kuin koko tehtaan kattavat avaimet käteen automaatioprojektitkin. Valmet on nykyään maailman johtava automaation, teknologian, palveluiden toimittaja ja kehittäjä paperi- ja energiateollisuudelle. Tavoitteena Valmetilla on tulla maailman parhaaksi asiakaidensa palvelussa. (Valmet 2016.)

3 OPTIDRY COAT - HIGH INTENSITY

3.1 OptiDry Coat

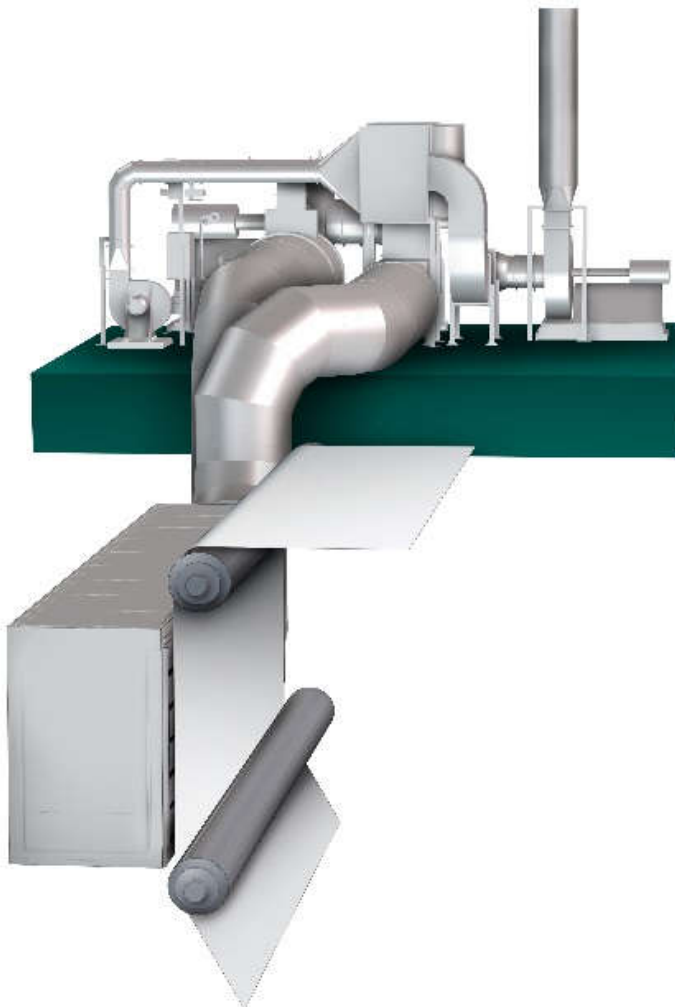
OptiDry Coat (Kuva 1) kuuluu OptiDry –tuoteperheeseen, jonka tehtävänä on paperikoneelinjassa tuottaa kuivan paperin päälle pinnoite. Paperin päälle suihkutettavaa ainetta kutsutaan pastaksi. Itse pastan materiaalit ja kemikaalit vaihtelevat asiakkaasta riippuen, mitä paperia tai kartonkia halutaan tuottaa. OptiDry Coatin tehtävänä onkin kuivattaa tämä pasta, ja se tapahtuu esimerkiksi kuivalla ja kuumalla ilmalla. Pastan kuivuttua paperi käännetään ja pastaa suihkutetaan toisellekin puolelle. Prosessi toistetaan, kunnes haluttu pastan määrä paperin pinnalla on saavutettu. Tämän jälkeen paperi yleensä lämmitetään rullilla, jonka jälkeen se jäähdytetään. Paperilinjastossa seuraavaksi tulee kalenteri, joka puristaa ja kiillottaa paperin haluttuun pinnanlaatuun, josta se kulkeutuu leikkuriin ja paperi rullataan. (Valmet Oy kotisivut 2016.)



Kuva 1. OptiDry Coat -linjasto (Valmet 2016).

3.2 High intensity

OptiDry Coat -tuoteperheeseen kuuluva High intensity -ilmakuivain (Kuva 2) toimii puhaltamalla kuumaa ilmaa paperilinjalle. Kuivatus tapahtuu leijumaisesti eli paperi ei ole kosketuksessa koneen kuivatusosiin vaan leijuu eteenpäin samalla kun pasta kuivuu paperiin. High intensity on edeltäjäänsä (infrared dryer) nähden energiatehokkaampi. High intensityn kuormituskapasiteetti on suurempi ja paperin ajettavuus parempi sekä varsinainen lopputuote on laadukkaampi. High intensity on helpompi ja halvempi huoltaa, ja sillä on parempi työskentely-ympäristön. High intensity -tuotteeseen kuuluu ilmapuhallinryksiköt ja kanavisto sekä ilmakeivainsuuttimet. (Valmet Oy kotisivut 2016.)



Kuva 2. High intensity -ilmakuivain (Valmet 2016).

3.2.1 High intensity -suuttimet

High intensity -suuttimen tehtävä on kuivattaa suihkutettu pasta paperin päällä energia-tehokkaasti, jonka tämä tekeekin, verrattuna vanhaan infrapunakuivaimeseen. Suuttimien puhaltama kuumailma vaihtelee riippuen siitä, millaista paperi- ja pastalaatua puhaltimen läpi ajetaan. Paperi leijuu kuivaimen läpi, jossa suuttimet puhaltavat noin xxx °C kuumaa ilmaa kuivatukseen pastan.

Suuttimet tehdään aina projektikohtaisesti, joten niiden pituudet ja painot muuttuvat tapauskohtaisesti, jonka johdosta niiden valmistamista ei voida automatisoida eikä näin ollen etukäteen valmistaa. Tällä hetkellä Valmet teettää ilmakeivaimen suuttimet alihankkijalla. High intensity -suuttimet valmistetaan 1 mm ja 2 mm levyistä. Alihankkijat tilaavat materiaalit ja leikkaavat ne oikeisiin muotoihin hienoplasmaleikkurilla, jonka jälkeen he tilaavat rei'ityksen levyihin. Alihankkijat sitten taivuttavat levyt oikeisiin muotoihin ja koovat suuttimet hitsaamalla.

3.2.2 High intensity -kanavisto

Kanavistot rakennetaan myös aina projektikohtaisesti. Kanavistojen pituudet ja halkaisijat vaihtelevat aina suuttimien määrien sekä niiden tarvittavan ilmanmäärän mukaan. Kanaviston ilmanopeudet ja paineet vaihtelevat tarpeitten mukaan. Samalla tulo- ja poistoilman lämpötilat vaihtelevat sen mukaan, mitä suuttimiin säädetään. Tuloilman kanavistossa on yleensä kuitenkin kuumempi ilma kuin suuttimissa ja paluuilma kanavistossa on viileämpi ilma.

Kanavistot ovat tällä hetkellä tehty 3 mm paksuisesta levyistä. Tämä siksi, että aikaisemmin käytetyllä materiaalilla on ollut huonompi saatavuus 1 mm ja 2 mm materiaaleissa. Tämän työn yhtenä tavoitteena on laskea lujuuslaskelmia kanavaosien keventämiseksi eli tarkistetaan mahdollisuuksia saada materiaalin paksuutta pienemmäksi, jotta saadaan kustannuksia alemmaksi. Uuden materiaalin sekä sen paremman saatavuuden myötä tulevat kanavaosat olisi mahdollista tehdä ohuemmasta materiaalista.

3.2.3 Kanaviston lujuuslaskelmat

Kanaviston lujuuslaskelmat aloitettiin hankkimalla alkuarvot. Alkuarvoina tarvitaan materiaalin paksuus, myötölujuus ja kimmokerroin. Materiaalitietojen lisäksi tarvitaan kanavan halkaisija, jänneväli eli kanavan tukiväli, kanavan ilmanpaineet ja eristeen tiheys/kanavametriä kohden. Näiden alkuarvojen perusteella pystyy laatimaan Excel-taulukkopohjan, jolla voi jatkossa laskea, tuleeko kanavan paksuus kannattamaan painonsa. Koska kanavissa kulkee kuiva ilma, sen tiheyttä ei tarvitse ottaa huomioon.

- Alkuarvot

Laskurissa materiaalina käytettiin EN 1.4003. Eristeenä oli villaa, jonka tiheys on huomioitu laskuissa. Eristeen päällä on alumiininen peltisuoja. Kanavan halkaisija oli xxx mm, kanavan ilmanpaine pitää huomioida, jänneväli 6000 mm ja materiaalin paksuus 2 mm. Materiaaliarvoihin syötettiin myötöraja, poissonin luku, tiheys ja kimmokerroin. Ilmanpaine, kanavakoko ja eristearvot saatiin edellisestä projektista.

- Lopputulokset

Tuloksista voitiin huomata, että alle xxx mm kanavat voitaisiin tehdä 2 mm materiaalista, kun jännevälit olisivat alle 6 m ja yli xxx mm kanavat tulisi tehdä 3 mm materiaalista. Tuloksissa ei otettu huomioon lämpötiloja jotka vaikuttavat kimmoduuliin ja myötörajaan alentavasti. Lämpötilan muutokset huomioon otettaessa ne laskevat noin 20 % varmuuskerrointa.

3.3 Materiaalien ominaisuudet

Tämä opinnäytetyö on rajattu kahteen materiaalivaihtoehtoon. Rajaus on tehty Valmetin aikaisemmin teettämän opinnäytetyön aikana. Materiaalivaihtoehdot tässä opinnäytetyössä ovat EN 1.4003 ja EN 1.4512. Tässä luvussa käsitellään kyseisten materiaalivaihtoehtojen ominaisuuksia taulukoissa 1–4.

Taulukossa 1 on esitetty materiaalivaihtoehtojen kemialliset koostumukset.

Chemical composition

The chemical composition is given as % by mass.

| Outokumpu name | EN | ASTM | | C | Cr | Ni | Mo | N | Others | Family |
|--------------------------------------|--------|------|--------|------|------|-----|----|---|--------|--------|
| | | Type | UNS | | | | | | | |
| Low-chromium stainless steels | | | | | | | | | | |
| Moda 410L/4003 | 1.4003 | 410L | S40977 | 0.02 | 11.5 | 0.5 | – | – | – | F |
| Moda 409/4512 | 1.4512 | 409 | – | 0.02 | 11.5 | 0.2 | – | – | Ti | F |

The table shows Outokumpu typical values.

Taulukko 1. Kemiallinen koostumus (Outokumpu 2016).

Taulukossa 2 on esitetty materiaalivaihtoehtojen lujuusominaisuudet joista Yield strength tarkoittaa myötyölujuutta, Tensile strength murtolujuutta ja Elongation murtovenymää.

Mechanical properties

| Metric | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|------|--------|--------------|--|--|---------------------|-----------------------------------|
| Outokumpu name | EN | ASTM | | Product form | Yield strength R _{0.2} (MPa) | Tensile strength R _m (MPa) | Elongation A (%) | Elongation A ₈₀ (%) |
| | | Type | UNS | | | | | |
| Low-chromium stainless steels | | | | | | | | |
| Moda 410L/4003 | 1.4003 | 410L | S40977 | C | 320 | 450 – 650 | 20 | 20 |
| | | | | H | 320 | 450 – 650 | 20 | 20 |
| | | | | P | 280 | 450 – 650 | 18 | 18 |
| Moda 409/4512 | 1.4512 | 409 | – | C | 220 | 380 – 560 | 25 | 25 |
| | | | | H | 220 | 380 – 560 | 25 | 25 |

Note: Values according to EN 10088-2:2014 unless marked otherwise.

A₈₀ initial length = 80 mm, A initial length = 5.65√S₀(A₀)

Product forms: cold rolled coil and sheet (C), hot rolled coil and sheet (H), quarto plate (P), wire rod (R), cold drawn bar 10 < d ≤ 16 mm (B). More product forms may be available than are shown in the table.

Taulukko 2. Mekaaniset ominaisuudet (Outokumpu 2016).

Taulukossa 3 on materiaalivaihtoehtojen korroosion kestävyys. Taulukossa vertailtu pis-tekorroosiota.

Corrosion resistance

| Outokumpu name | EN | ASTM | | PRE |
|--------------------------------------|--------|------|--------|-----|
| | | Type | UNS | |
| Low-chromium stainless steels | | | | |
| Moda 410L/4003 | 1.4003 | 410L | S40977 | 12 |
| Moda 409/4512 | 1.4512 | 409 | - | 12 |

Pitting Resistance Equivalent is calculated using the following formula: $PRE = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N$.

Taulukko 3. Korroosion kestävyys (Outokumpu 2016).

Taulukossa 4 on materiaalivaihtoehtojen fysikaaliset ominaisuudet joista Density tarkoittaa tiheyttä, Modulus of elasticity kimmokerrointa, Coefficient of thermal expansion lämpölaajenemiskerrointa, Thermal conductivity lämmönjohtokykyä, Thermal capacity lämpötehoa, Electrical resistivity ominaissähkövastusta ja Magnetizable materiaalin magneettisuutta.

Physical properties

| Metric | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|--|--------------|
| Outokumpu name | Density [kg/dm ³] | Modulus of elasticity at 20 °C [GPa] | Coefficient of thermal expansion 20–100 °C [10 ⁻⁶ /K] | Thermal conductivity at 20 °C [W/(m x K)] | Thermal capacity at 20 °C [J/(kg x K)] | Electrical resistivity at 20 °C [Ω x mm ² /m] | Magnetizable |
| Low-chromium stainless steels | | | | | | | |
| Moda 410L/4003 | 7.7 | 220 | 10.4 | 25 | 430 | 0.60 | Yes |
| Moda 409/4512 | 7.7 | 220 | 10.5 | 25 | 460 | 0.60 | Yes |

Values according to EN 10088-1.

Taulukko 4. Fysikaaliset ominaisuudet (Outokumpu 2016).

EN 1.4003 ja EN 1.4512 ovat molemmat matalahiilipitoisia ferriittisiä teräksiä. Ferriittiset teräkset ovat magneettisia. Magneettisuus ei juurikaan vaikuta hitsaukseen mutta sen avulla voi helposti erottaa toisistaan esimerkiksi austeniittisen teräksen, joka ei ole magneettinen. Materiaalivaihtoehtot ovat helposti muokattavissa ja muovailtavissa ja näitä voidaan tuottaa erilaisilla pintakäsittelyillä. Nämä materiaalit ovat hyvin hitsattavia mutta niitä työstäessä täytyy ottaa muutama asia huomioon, jotka käsitellään luvussa 3.3.1. Muovattavuus näissä materiaaleissa on hyvä; nämä materiaalit käyttäytyvät samantapaisesti kuin hiiliteräs. Näiden materiaalien korroosiokestävyys on kohtalainen, kuitenkin parempi kuin hiiliteräksen. Korkein suositeltu käyttölämpötila materiaalille EN 1.4003 on noin 700 °C ja materiaalille EN 1.4512 on noin 800 °C. Kyseiset materiaalit omaavat

hyvän lämmönjohtokyvyn, joka vähentää lämpövetelyä paperikoneen käyttökohteessa. Materiaaleista EN 1.4003 on stabiloimaton ja EN 1.4512 on stabiloitu titaanilla. (Lukkari 4/2011, 16.)

EN 1.4003 perinteiset käyttökohteet ovat junat, kuljetuskontit, bussit, teollisuus rakenteet. EN 1.4512 käyttökohteita on autoissa, esimerkiksi niiden pakoputkissa sekä teollisuuden imupistojärjestelmistä. (Outokumpu 5/2016.)

3.3.1 Hitsattavuus

EN 1.4003 ja EN 1.4512 ovat hyviä hitsattavia niiden vähäisen hiilipitoisuuden ansiosta. Hitsauksessa täytyy huomioida hitsauksen aikana käytettävä suojakaasu ja hitsauslisäaineet sekä lämmöntuonti.

- **Hauraudet**

Ferriittisissä teräksissä on tapana esiintyä rakeenkasvusta tulevaa haurautta. EN 1.4003 -terästä hitsatessa muodostuu hitsauksen muutosvyöhykkeelle sälemartensiittinen alue, joka ei ole tässä tapauksessa haitallinen, sillä sälemartensiittinen muutosvyöhyke parantaa materiaalin sitkeysominaisuuksia. Lisäksi tyypillinen haurausilmiö kaikille ferriittisille teräksille on vetyhauraus, joka aiheuttaa kylmähalkeilua. Syy kylmähalkeiluun on se, että suojakaasussa on käytetty vetyä, jolloin se pääsee materiaalin mikrorakenteeseen. Tästä syystä on pyrittävä estämään kaikin tavoin vedyn päätyminen hitsiin, esimerkiksi vedyttömillä suojakaasuilla sekä kuivilla ja puhtaila lisäaineilla. (Lukkari 4/2011, 10–19.)

Lämpö

Liiallinen hitsauslämpö aiheuttaa ferriittiselle teräkselle rakeenkasvua, raerajakorroosiota, haurastumista ja herkistymistä varsinkin stabiloimattomilla teräksillä. Tästä johtuen hitsauksessa täytyy rajoittaa lämmöntuontia ja ylärajaksi onkin usein asetettu 1,0 kJ/mm (Outokumpu 2010, 91). EN 1.4003 -teräksen hitsauksen yhteydessä austeniittiseksi muuttunut ferriitti muuttuu jäähtyessään sälemartensiitiksi. Ferriittisille teräksille tehdyt hitsauskokeet on kuitenkin suoritettu tästä huomattavasti pienemmällä lämmöntuonnilla. Esimerkiksi T. Anttilan opinnäytetyössä hitsaustesteissä käytettiin 2 mm paksuista EN 1.4003 ja lämmöntuonti oli

0,15–0,35 kJ/mm. Lämmöntuonti on kuitenkin pidettävä mahdollisimman alhaalla, jotta välttyttäisiin suurelta materiaaliuutokselta. Anttilan testeistä selviää, että suurella lämmöntuonnilla perusaine heikentyy ja murtuu ennen hitsiä (Anttila T. 2010, 46; Anttila, S. 2012, 43; Lukkari 4/2011, 17–18.)

- **Suojakaasu & Lisäaineet**

Ferriittisen teräksen hitsauksessa tulee käyttää argonpohjaisia suojakaasuja mutta myös heliumseosta voidaan käyttää. Ferriittisiä teräksiä tulee hitsata austeniittisillä lisäaineilla kuten EN 1.4003/EN 1.4512 Outokumpu suosittelee EN 13 ja EN 19 9L tai 18 8Mn, merkinnät tulevat SFS-standardien mukaan. Austeniittisiä lisäaineita käytetään ferriittisten teräksien kanssa, juurikin parantamaan mekaanisia ominaisuuksia. (Lukkari 4/2011, 10–19; Heikkinen, H-P 2011.)

3.3.2 Muokattavuus

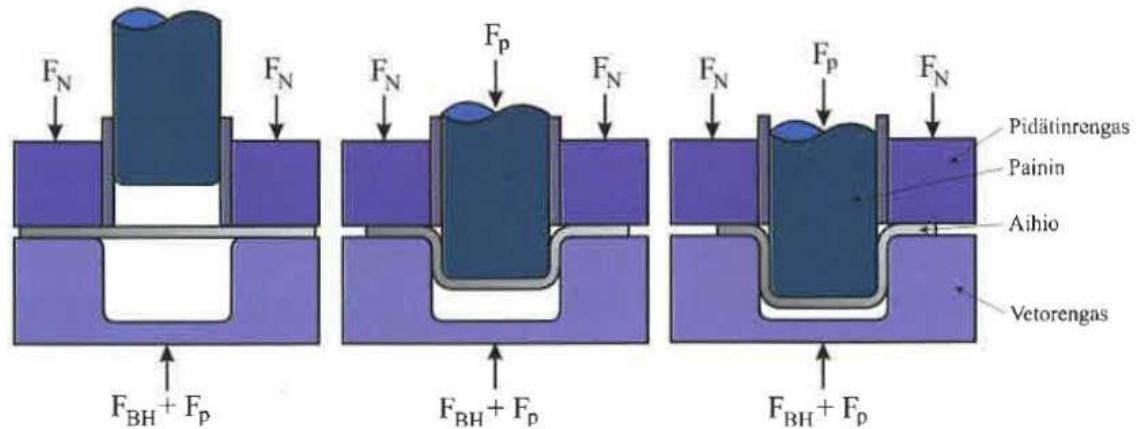
Ferriittiset teräkset ovat helposti muotoiltavissa ja muokattavissa. Mekaanisilta ominaisuuksiltaan ferriittiset teräkset ovat samankaltaisia kuin hiiliteräkset. Ferriittisen teräksen lastuaminen ei eroa merkittävästi hiiliteräksen lastuamisesta ja myös siinä käytetään usein samoja työstöarvoja ja työkaluja. Ferriittinen ruostumaton teräs ei muokkauslujitu kovinkaan paljoa ja muodostuva lastu on hauras, joten tarvittava energian määrä pysyy pienenä lastun murtamiseen. (Sorsa 2015, 142.)

Ohutlevy tuotteiden suunnittelijoiden avuksi on kehitetty niin sanottu rajamuovattavuuspiirros, jonka avulla ohutlevyn ja ohutlevyosien muokattavuutta voidaan arvioida. Rajamuokattavuuspiirros kertoo, kuinka paljon materiaali kestää muokkausta. Rajamuokattavuuspiirros saadaan esimerkiksi syvävetämällä tai venytysmuovaamalla. (Matilainen ym. 2010, 215.)

- **Syväveto**

Puristimeen on asennettu syvävetotyökaluja, jonka avulla muokataan levyaihiota. Syvävetotyökaluja ovat vetorengas, pidätinrenkas ja vetopainin. Vetopainimen avulla levyaihiota työnnetään vetorengkaan läpi ja lopputulokseksi saadaan kupimainen tuote. Syvävedon aikana materiaalin paksuus ei oleellisesti muutu, sillä levyaihiot pääsee virtaamaan pidätinrenkaan alta ja muotoutumaan painimen ja

vetorengas muotojen mukaan. Kuvassa 3 on näytetty vaiheittain syvävedon periaate. Halutessa syvempiä tai eri suuntiin vedettyjä kappaleita, voidaan syvävetoprosessia jatkaa jatkovedolla tai kääntövedolla. (Matilainen ym. 2010, 220.)



Kuva 3. Syvävedon periaate (Matilainen ym. 2010, 220).

Syvävedossa kupin syvyyden määrää rajavetosuhde, joka tarkoittaa levyaihion ja painimen halkaisijoiden vetosuhteita. Rajavetosuhteen ylittyessä tapahtuu materiaalin murtuminen. Taulukossa 5 on Outokumpu antanut rajavetosuhdearvoja (LDR = Limiting drawing ratio) ferriittisille teräksille, LDR tulee kaavasta D/d . Taulukossa 5 \bar{r} tarkoittaa keskimääräistä venytyssuhdetta (\bar{r} = Average plastic strain ratio). Syvävedossa materiaali ei veny tasaisesti levyn lopussa ja materiaaliin tulee aaltomainen loppu, joita kutsutaan korvakkeiksi. Δr (Δr = planar anisotropy value) ilmaisee korvakkeiden muodostumisen määrää. Mitä lähempänä arvo on nollaa, sitä vähemmän materiaalilla on taipumus tehdä korvakkeita syvävedossa. (Matilainen ym. 2010, 220; Outokumpu 2012.)

Typical LDR and anisotropy values for Outokumpu ferritics.

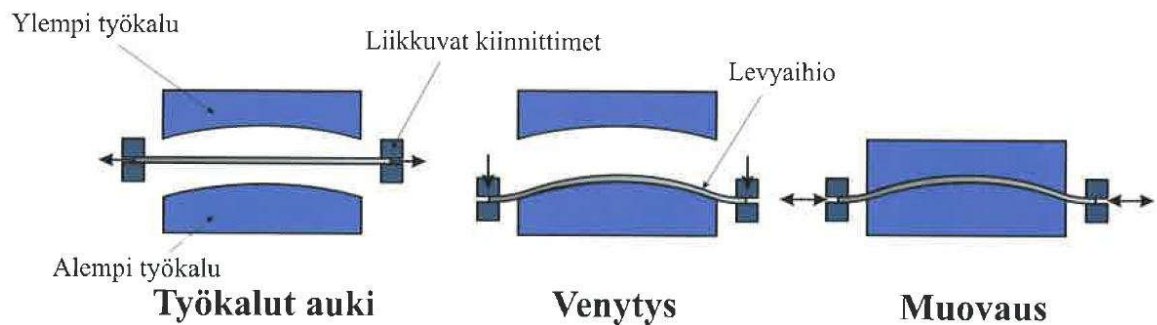
| Grade | LDR | \bar{r} | Δr |
|-------|-----|-----------|------------|
| 4003 | 2.0 | 0.9 | -0.1 |
| 4512 | 2.2 | 1.4 | 0.0 |

The values for the austenitic grade 4301 are given for reference. Material thickness 1mm.

Taulukko 5. Ferriittisille teräksille muokkausarvoja. (Outokumpu 2012).

- **Venytysmuovaus**

Venytysmuovauksen ja syvävedon prosesseissa ei ole suuria eroja toisistaan. Suurin ero on, että venytysmuovauksessa levyaihio venyy, jolloin materiaalin paksuus ohenee. Venytysmuovauksessa levyaihion reunan liukuminen estetään, jolloin levy venyy haluttuun muotoon. Levyn venyessä materiaali ohenee ja pinta-ala kasvaa. Kuvassa 4 näkyy venytysmuovauksen vaiheet. Suunnittelussa täytyy huomioida, ettei venytysmuovauksessa voida valmistaa niin syviä muotoja kuin syvävedolla valmistettaessa. Muokkauslujittumiseksponentti kertoo materiaalin venytysmuovautumiskyvyn; mitä korkeampi muokkauslujittumiseksponentti, sitä parempi materiaalin venytysmuovattavuus on ennen murtumista. Ruostumattomille teräksille on määritelty muokkauslujittumiseksponentiksi 0,45. (Matilainen ym. 2010, 226.)



Kuva 4. Venytysmuovauksen vaiheet (Matilainen ym. 2010, 227).

3.3.3 Korroosio

Ferriittiset teräkset eivät juurikaan sisällä nikkeliä, jonka johdosta se parantaa uudelleen passivoitumista eli oksidikerrosta.

- **Raerajakorroosio**

Ferriittisissä teräksissä matala hiilipitoisuus parantaa raerajakorroosion ehkäisyä. EN 1.4512 on stabiloitu titaanilla, jolloin raerajakorroosion herkistyminen ei tapahdu niin herkästi kuin stabiloimattomilla. Stabiloimattomilla aineilla herkistymistä voi tapahtua lyhyenkin lämpökäsittelyn, kuten hitsauksen jälkeen, etenkin, jos ei ole noudatettu hitsaukseen liittyviä ohjeistettuja lämpöarvoja. (Lukkari 4/2011, 10–19.)

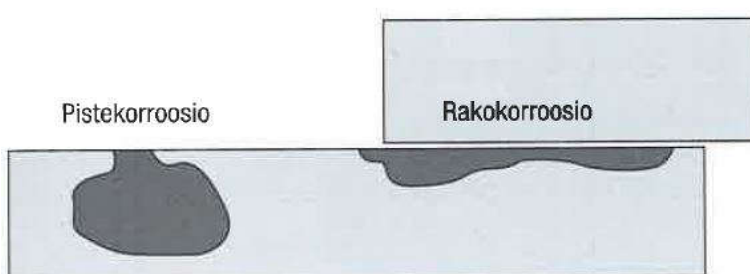
- **Paikallinen korroosio**

Paikallista korroosiota ovat yleensä piste- tai rakokorroosio.

Pistekorroosio muodostuu, kun teräksen passiivikerrokseen tulee reikä, jolloin tästä kohdasta metalli muuttuu epäjalommaksi. Aiheuttavia tekijöitä itse materiaalissa voi olla koostumukselliset epätasaisuudet kuten erkaumat, suotaumat tai sulkeumat. Mekaanisia virheitä ovat esimerkiksi murtumat ja jännitykset.

Rakokorroosiota esiintyy yleensä hitsaus-, pultti- ja niittiliitosraoissa. Esimerkiksi tapauksissa, joissa liuos pääsee tunkeutumaan ahtaisiin rakoihin eikä pääse vaihtumaan samalla tavalla kuin muilla metallipinnan alueilla.

(Kyröläinen & Kauppi 2016, 113; Sorsa 2015, 43.)



Kuva 5. Piste- ja rakokorroosio (Lukkari ym. 2016, 185).

- **Jännityskorroosio**

Ferriittiset teräkset eivät kärsi jännityskorroosiosta kuten esimerkiksi austeniittisten standardilaadut. Ferriittisten terästen sisältämä nikkeli parantaa jännityskorroosion kestävyyttä sekä sitkeyttä. (Sorsa 2015, 143.)

Vierasperäinen korroosio

Ferriittisiä teräksiä on käsiteltävä huolellisemmin, sillä ferriittinen kiderakenne ei siedä suuria epäpuhtauspitoisuuksia. Pitäisi siis välttää vieraiden partikkeleiden, kuten rautapartikkeleiden, joutumasta ferriittisen teräksen pinnalle. (Heikkinen, H-P 2011; Heikkinen 2015, 10.)

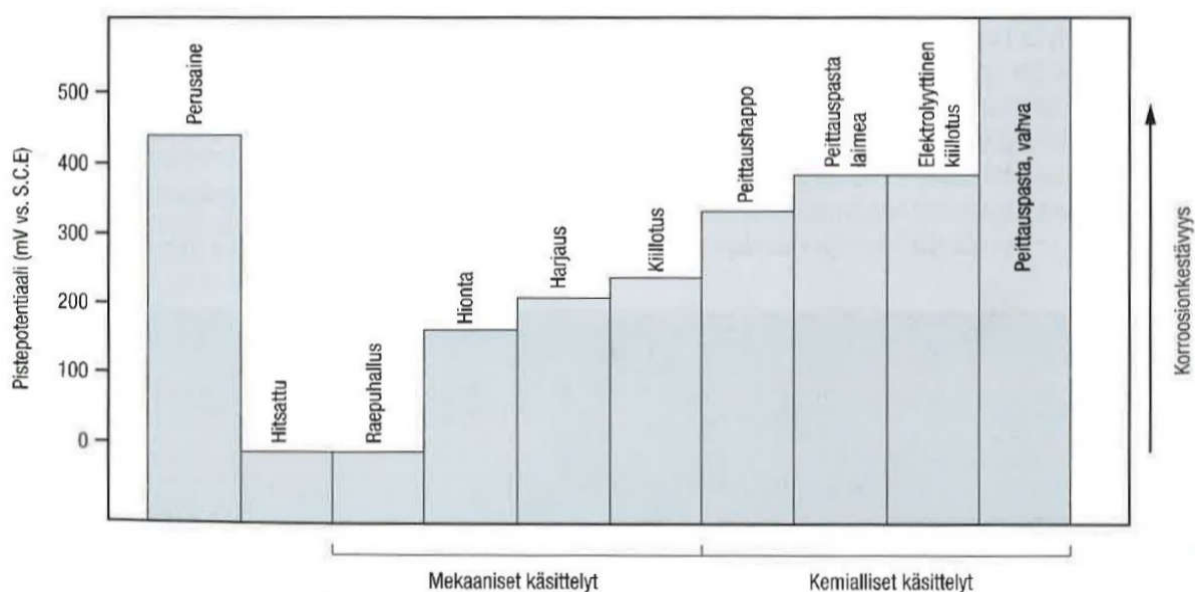
3.3.4 Jälkikäsittely

Ferriittisiä teräksiä hitsattaessa tiivis oksidikalvo hajoaa, jolloin kromi pääsee reagoimaan hapen kanssa, jonka johdosta teräskerroksesta köyhtyy kromi. Jos terästä ei käsiteltäisi hitsauskohdasta, esiintyisi paikallisesti huonompi korroosionkestävyys. Tyypillisesti hitsauksen jälkeen hitsaussauma on herkempi pistesyöpymiselle.

Toimenpiteet jaetaan kahteen ryhmään mekaanisille ja kemikaalisille toimenpiteille. Jälkikäsittelytapoja ferriittisille teräksille ovat esimerkiksi hitsauskohdan mekaaniset toimenpiteet harjaus, hionta, kiillotus ja raepuhallus. Kemikaaliset toimenpiteet ovat upotus-, ruisku- ja tahnapeittaus.

Jälkikäsittelyksi suositellaan peittausta koska se syövyttää jäysteet ja likaa keräävät taskut pinnalta pois. Ennen peittausta kannattaa kuitenkin tehdä mekaaninen pinnanviimeistely isompien jäysteiden poistoa varten. Pitää kuitenkin muistaa, että peittausjätteet on huuhdeltava huolellisesti pois, sillä muuten ne syövyttävät teräspintaa, kuten huomataan taulukosta 6. Mikäli saumaa ei ole mahdollista peitata, jälkijälkikäsittelyksi on vähintään tehtävä harjaus/kiillotus, sillä se on huomattavasti parempi kuin ei mitään, eikä vaadi paljon ylimääräistä työtä taikka kustannuksia.

(Heikkinen, H-P 2011.)



Taulukko 6. Hitsausliitoksen viimeistelytekniikan vaikutus korroosionkestävyyteen (Lukari ym. 2016, 206).

3.4 Materiaalien eroavaisuudet

Näistä materiaaleista löytyy hieman eroavaisuuksia ja helpoiten ne löytyvät vertailemalla kemikaalista koostumusta ja mekaanisia ominaisuuksia.

- **Kemialliset koostumukset**

Kemikaalisista ominaisuuksista EN 1.4512 on lisätty titaania, joka toimii stabilointiaineena ja se myös sisältää vähemmän nikkeliä kuin EN 1.4003.

- **Mekaaniset ominaisuudet**

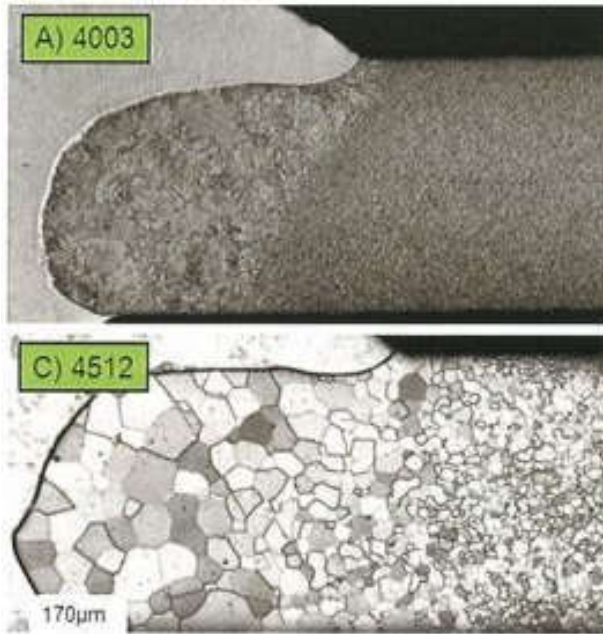
Mekaaniset eroavaisuuksista, EN 1.4003 on murto- (R_m) ja myötölujuudeltaan ($R_{p0.2}$) kestävämpi kuin vertailukohde EN 1.4512. Kuumuden kestävydeltään EN 1.4512 sietää korkeampaa lämpötilaa.

- **Korroosio**

Pistekorroosio-ominaisuuksiltaan materiaalit on luokiteltu olevan samaa luokkaa. Raerajakorroosio-ongelmaa ei esiinny niinkään EN 1.4512, koska sen sisältämä titaani stabiloi terästä ja parantaa korroosion kestävyyttä.

- **Hitsaus**

Hitsattavuuden kannalta eroa näiden materiaalien välillä ei juurikaan ole. Molemmilla on samat ominaisuudet, jotka otettava huomioon, kuten esimerkiksi vety ja lämmöntuonti. EN 1.4512 -teräs on otettava paremmin huomioon hitsatessa, sillä samalla lämmöntuonnilla saavutetaan suurempi raekoko kuin EN 1.4003. Kuvassa 6 on esitetty S. Anttilan diplomityössä julkaistu kuva muutosvyöhykkeistä ferriittisille teräksille, kun hitsauksessa lämmöntuontina on käytetty 0,25 kJ/mm. Hitsatessa EN 1.4512 etuna kuitenkin on materiaalin sisältämä stabiloiva aine, joka sitoo hitsistä typpeä ja hiiltä karboninitrideiksi, joka taas estää hiilen sitoutumisen kromin kanssa eli estää raerajakorroosion muodostumisen. (Sorsa 2015, 143; Lukkari 4/2011, 18.)



Kuva 6. Ferriittisten teräksien muutosvyöhykkeet (Lukkari 4/2011, 18).

4 KÄYTETTÄVÄN MATERIAALIEN SELVITYS

4.1 Materiaalien saatavuus ja hinta

Lähtökohtaisesti molempia materiaaleja tehdään tarvittavilla paksuuksilla sekä leveyksillä Outokummussa. Hinnatkin ovat molemmille materiaaleille tällä hetkellä noin 1500€/tn, mutta ongelmana tulee vastaan se, että minimi tilaus Outokummussa on 12 tn. Tämä ei palvele meidän tarkoitustamme etenkin, kun suuttimien paino on yleensä alle 100kg. Tällöin meidän täytyy kääntyä jälleenmyyjien puoleen, kuten esimerkiksi Tibnor, BE Group ja Ovako. Luonnollisesti materiaalien hinnat kasvavat, kun tulee lisää välikäsiä. Saamani hinnat ovat suuntaan antavia, sillä alihankkijat kuitenkin itse hankkivat materiaalit ja heillä voi olla omat hinnat näille materiaaleille. Tällä hetkellä alihankkija hankkivat materiaalinsa Tibnorilta.

- **Tibnor**

Materiaaleja on saatavilla, mutta EN 1.4003 saatavuus on parempi eri levykokoina ja eri paksuisina kuin EN 1.4512. Kun taas EN 1.4512 on noin 7 % edullisempi kun vertailu kohteena on 1 mm paksuinen levy materiaali.

- **Ovako**

Ovakolla materiaaleja ei ole suoraan varastossa ja he kysyvät suoraan niiden toimittajalta. Toimittajien hinnat riippuvat aina tilattavasta määrästä ja saatavuus riippuu toimittajan varastotilanteesta.

- **BeGroup**

Kyseisiä materiaaleja ei ole heiltä saatavilla ja ohjasivat takaisin Outokummun puoleen.

4.2 Selvityksen perusteella valittu materiaali

- **Ominaisuudet**

Ominaisuuksiltaan EN 1.4003 ja EN 1.4512 ovat melko pitkälti samanlaisia, mutta kuitenkin EN 1.4512 olisi kestävämpi sen stabilointiaineen ansiosta, joka parantaa korroosionkestoa ja kestää korkeampia lämpötiloja hilseilemättä. Mekaanisina ominaisuuksina EN 1.4003 on kestävämpi kuin EN 1.4512.

- **Korroosio**

OptiDry High intensity ympäristö on kuivahko jolloin korroosio ei ole niinkään vaikuttava tekijä. Tämän lisäksi laitteen osiin tulee ainoastaan kuumaa ja kuivaa ilmaa. Myös kanavistot on eristetty ja suuttimien päällä on suoja pellit, jotka ovat valmistettu joko AZn eli alusinkistä tai ruostumattomasta teräksestä, jolloin korroosio ei ole juurikaan ongelma itse paperilinjassa. Korroosio-ongelmia esiintyy ainoastaan, jos materiaali on varastoitu huonosti tai on toimituksen ajaksi pakattu huonosti.

- **Hinta ja saatavuus**

Hinnaltaan EN 1.4512 on hieman edullisempi. Kuitenkin käytettäväksi materiaaliksi päädyttiin EN 1.4003. Vaikuttavina tekijöinä oli sen saatavuus ja sen parempi kestävyys.

4.3 Kustannussäästöt

High intensity -kuivain on tuote, joka tehdään aina projektikohtaisesti, joten kustannussäästöt vaihtelevat kuivaimen ominaisuuksien mukaan. Kuivaimessa muuttujina ovat esimerkiksi suuttimien määrät, paperikoneen leveydet jonka mukaan määräytyy suuttimien pituus ja käyttölämpötilojen mukaan määräytyy materiaalit ja niin edelleen.

Kustannussäästöt lasketaan vertaamalla nykyistä käytettävää materiaali austeniittinen teräs EN 1.4301 tulevaan materiaaliin ferriittiseen teräkseen EN 1.4003. Voidakseen laskea kustannussäästöt, käytettiin tiettyä paperikoneleveyttä joka olisi todennäköisin käytettävä kohde. Paperikoneleveydeksi määriteltiin 7250 mm ja etsittiin viimeaikainen projekti joka vastaa kyseistä paperikoneleveyttä. Loput tarvittavat tiedot otettiin projektista, kuten suuttimien määrä, x kappaletta ja kanavien halkaisijat, xxx mm. Käyttölämpötilaksi oletettiin yli xxx °C, sillä kyseisellä käyttölämpötilalla käytetään ruostumattoman teräksen osia. Kustannuslaskennassa huomioitiin ainoastaan ruostumattoman teräksen osat, kuten painekanavat, jakokanavat, polttimelta kuivaimen tuleva kanava, suuttimet ja reikälevyt, jotka ovat suuttimien välissä.

Kustannukset määräytyvät kilohinnan mukaan, ensimmäisenä tarkasteltiin vaihdettavien osien painot ja laskettiin niistä syntyvät materiaalisäästöt. Taulukossa 7 on esitettyä vaihdettavien osien painot. Laskelmissa on huomioitu austeniittisen teräksen tiheys, joka

on 7900 kg/m³ kun taas ferriittinen teräs on 7700 kg/m³. Pienempi tiheys tekee ferriittisestä teräksestä kevyempää, jolla saadaan kasvatettua säästöjä materiaalikustannuksissa. Painon laskemisessa ei huomioitu osissa olevia reikiä kuten esimerkiksi suuttimissa tai reikälevyissä, joten taulukossa olevat painot ovat suuntaa antavia lukuja.

| Materiaali | Painekana | Jakokana | Kanavisto | Suuttimet | Reikälevyt | Yhteensä |
|------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| 1.4003 | 415 Kg | 904 Kg | 1000 Kg | 528 Kg | 38 Kg | 2885 Kg |
| 1.4301 | 428 Kg | 928 Kg | 1035 Kg | 540 Kg | 39 Kg | 2970 Kg |

Taulukko 7. Materiaalien painot.

Taulukossa 8 ja 9 laskettiin vaihdettavien osien painon avulla materiaalikustannukset. Tällä hetkellä kaikkien teräksien hinnat ovat nousussa. Austeniittisen ja ferriittisten terästen hintaero muodostuu lähinnä seoslisäaineista, sillä teräksien perusaineet ovat samaa luokkaa. Tämän hetkinen hintaero on 0,813 € ja EN 1.4301 tämän päivän markkinahinta on noin 2,80 €, joten laskuissa käytettiin EN 1.4003 2,00 € kilohintaa. Hinnat ovat otettu Outokummulta (liite 1). Nikkelin hinnalla on suuri vaikutus austeniittisen teräksen hintaan, sillä viime kesällä EN 1.4301 kilohinta oli noin 2,20 € ja EN 1.4003 hinta oli noin 1,80 €.

| Materiaalin 1.4003 hinta | Painekana | Jakokana | Kanavisto | Suuttimet | Reikälevyt | Yhteensä |
|--------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| 2,00 €/Kg | 415 Kg | 904 Kg | 1000 Kg | 528 Kg | 38 Kg | 2885 Kg |
| Summa | 830 € | 1808 € | 2000 € | 1056 € | 76 € | 5770 € |

Taulukko 8. EN 1.4003 materiaalikustannukset.

| Materiaalin 1.4301 hinta | Painekana | Jakokana | Kanavisto | Suuttimet | Reikälevyt | Yhteensä |
|--------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| 2,80 €/Kg | 428 Kg | 928 Kg | 1035 Kg | 540 Kg | 39 Kg | 2970 Kg |
| Summa | 1198 € | 2598 € | 2898 € | 1512 € | 109 € | 8316 € |

Taulukko 9. EN 1.4301 materiaalikustannukset.

Taulukossa 10 on laskettuna molempien materiaalien kustannukset ja laskettu materiaalien vaihdoksesta syntyvät säästöt euromääräisesti sekä prosentuaalisesti. Prosentuaalinen luku vastaa enemmän todellisuutta, sillä vaihdettavien osien painot ovat todellisesti hieman kevyempiä, kun otetaan huomioon levyissä olevat reiät. Reiät huomioonotettuna hintatason pitäisi laskea joillain kymmenillä euroilla, mutta kun molemmat on laskettu ilman reikiä, prosenttimäärä pysyy samana.

| Materiaali | Painekana | Jakokana | Kanavisto | Suuttimet | Reikälevyt | Yhteensä |
|------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| 1.4003 | 830 € | 1808 € | 2000 € | 1056 € | 76 € | 5770 € |
| 1.4301 | 1198 € | 2598 € | 2898 € | 1512 € | 109 € | 8316 € |
| Säästö € | 368 € | 790 € | 898 € | 456 € | 33 € | 2546 € |
| Säästö % | 30,71 % | 30,40 % | 30,98 % | 30,15 % | 30,27 % | 30,61 % |

Taulukko 10. EN 1.4003 materiaalin kustannussäästölaskelmat.

Vuonna 2016 alihankkija on valmistanut Valmetille EN 1.4003 materiaalista suuttimia High intensity -kuivaimeen. Käytännössä kuivattimissa säästö austeniittiseen teräkseen nähden syntyy vain materiaalin kilohinnasta. Valmistuksesta koituvat kustannukset pysyvät kutakuinkin samana, esimerkiksi suuttimien valmistuksessa pois jäävä hapotusvaihe tuo säästöjä, mutta hitsattujensaumojen harjaus tuo lisätyötä, jolloin valmistuskustannukset pysyvät samana. Kanavaosissa jää myös hapotus pois mutta harjaus on tehtävä hitsikohdissa. Ferriittisiä osia ei peiteta, koska on herkempi aine menemään piloille peittauksesta kuin austeniittinen teräs ja High intensity -kuivaimessa ei oleteta olevan suurta korroosioriskiä käytön aikana.

Lisäsäästöjä voi olla mahdollista saada uuden materiaalin pienemmän lämpövetelyn ja paremman jäykkyyden vuoksi, sillä näin voisi olla mahdollista vähentää joustoliitoksien käyttöä kanavaosissa. Tämän asian mahdollisuuden selvittämiseen pitäisi tehdä uudet lujuuslaskelmat.

5 MATERIAALIN SOVELTAVUUSKOKEET PAPERIKONEYMPÄRISTÖSSÄ

Outokumpu on tehnyt testejä ruostumattomille teräksille. Testit mitä Outokumpu on julkaissut ovat perinteiset mekaanisiin ominaisuuksiin ja korroosioon sekä hitsaukseen liittyvää materiaalia.

5.1 Kuumankesto

High intensity -kuivaimessa käytetään ruostumatonta terästä, kun lämpötilat ovat xxx °C ja kanavistossa huippulämpötila voi olla xxx °C. EN 1.4003 suositeltu korkein käyttölämpötila on noin 700 °C, jolloin ferriittisen teräksen pitäisi kestää nämä lämpötilat. Kotkassa on kuitenkin jo käytössä kyseistä materiaalia kanavistossa, jossa vallitsee korkea lämpötila ja sen on todettu kestävän kyseisissä lämpötiloissa.

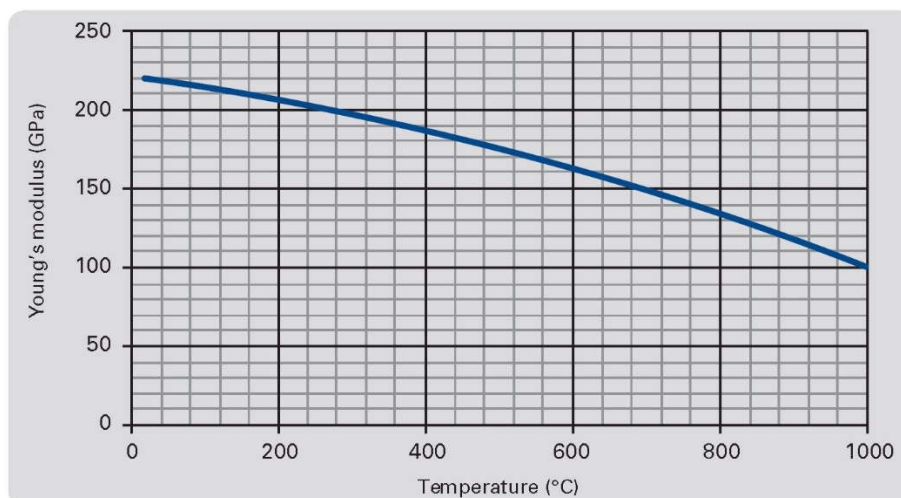
Outokumpu on julkaissut tuloksia materiaalin käyttäytymisestä lämpötilan noustessa. Taulukosta 7 huomataan kuinka materiaalin lujuusominaisuudet laskevat lämmön noustessa. EN 10088-2 standardissa ei ole määriteltä lujuusarvoja kuin 300 °C. Taulukosta 7 voidaan kuitenkin päätellä, että lämmön edelleen noustessa laskee sen myötä lujuusominaisuudet. Kaaviossa 1 on käytetty toisia ferriittisiä teräksiä mutta kimmokerroin käyttäytyy vastaavasti lämmön kasvaessa kuin muillakin ferriittisillä teräksillä.

Tensile properties at elevated temperatures, minimum values according to EN 10088-2.

| Grade | Proof strength $R_{p0.2}$ (MPa), minimum values | | | | | |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 100°C | 150°C | 200°C | 250°C | 300°C | 350°C |
| 4003 | 240 | 235 | 230 | 220 | 215 | – |
| 4512 | 200 | 195 | 190 | 185 | 180 | 160 |

Taulukko 11. Lujuusominaisuudet lämmön kasvaessa. (Outokumpu 2012).

Young's modulus of elasticity as a function of temperature for Outokumpu 4509 and 4521.



Kuvio 1. Kimmokerroin lämmön kasvaessa (Outokumpu 2012).

5.2 Korroosio

Valmet on tutkinut vuonna 2002 ruostumattoman teräksen korroosiota paperikoneympäristössä. Tässä raportissa tutkittiin eri kemikaaleja, jotka vaikuttavat aiheuttavan korroosiota. Raportissa on käyty läpi muutamia kohteita, joissa korroosiota on havaittu 90-luvulla ja on huomattu, että kloridi ja pH sekä lämpötila-arvot ovat vaikuttavia tekijöitä korroosioon. Tämän myötä on suositeltu veden puhdistamista ja laitteiston pesemistä määräjain. Nämä korroosio-ongelmat ovat pääasiassa paperikonelinjan märässä päässä, jossa linjan ympäristö on kostea ja laitteistot käsittelevät paljon vettä (Pettersson, 2002). High intensity sijaitsee kuitenkin kuivassa päässä ja eikä katsauksessa käsiteltävät ongelmat esiinny tässä tapauksessa.

Valmetin alihankkija on tehnyt kenttäkokeita EN 1.4003 materiaalille altistamalla koekappaleita ulkoilmalle. Yksi koekappale on laitettu maahan ja toinen on jätetty maanpinnan yläpuolelle. Koekappaleen ovat olleet altistuneita ulkoilmakorroosiolle kolmen vuoden ajan, eikä kumpikaan kappaleista ole kärsinyt korroosiosta. Alihankkija on myös valmistanut High intensity -ilmakuivaimen kanaviston, joka kuljettaa kuumaa ilmaa polttimelta kuivaimelle. Kanavistossa liitoskohtien korroosionkesto on pystytty pitämään yllä pelkällä harjauksella. Peittausta he eivät suositelleet koska sen pinta menee melko tummaksi

peittauksen kohdalta ja vaikka osan upotuspeittäisi, osasta tulee silti kirjava sekä epäsiisti. Käytännössä tämä on vain näköhaitta. Ferriittinen teräs on muutenkin herkempi peittäusajalle ja jos peittäusaika on liian pitkä, menee materiaali pilalle. Tästä syystä on parempi jättää suuttimet peittaamatta, sillä liitoksien väliin jää herkästi hapottavaa ainetta joka syövyttää materiaalia.

Hitsauksesta löytyy paljon testejä korroosiosta. Näiden testien lopputulokset ovat aina menneet siihen, että ruostumattomien teräksien kanssa hitsausseamat ovat jälkikäsiteltävä, jotta saavutettaisiin hyvä lopputulos.

High intensity -komponenttien korrosio ei pitäisi olla ongelma, kun koneympäristö on kuiva ja komponenteissa kulkee kuiva ja kuuma ilma. Korroosiota voi kuitenkin esiintyä huonosta käsittelystä tai varastoinnista.

5.3 Liitokset

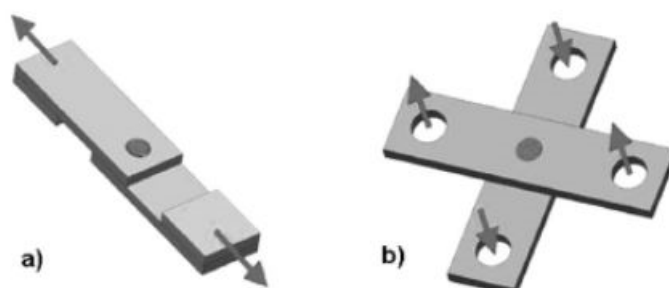
EN 1.4003 materiaalille löytyi tutkimus hitsauksen kestoista ja niille on tehty vetokokeita. Tästä työstä selitetään paremmin myöhemmin. Tox-liitoksille ei löytynyt EN 1.4003 materiaalille testejä, joten päätimme tehdä vetokokeet ja selvittää, paljonko ne kestävät vetoa. Vetokokeet suoritettiin Materitest FMT – ST/ D 250/220 kN -vetokoneella (Kuva 7), joka sijaitsee Turun ammattikorkeakoulun tiloissa.



Kuva 7. Materters FMT – vetokone.

- Tox-liitoksen vetokokeet

Tox-liitoksille päätettiin tehdä pistehitsille soveltuvat vetokokeet eli ristivetokoe ja leikkausvetokoe (Kuva 8). Vetokoetta varten hankittiin materiaaliksi 2 mm EN 1.4003, joka saatiin alihankkijalta. Materiaali leikattiin Turun ammattikorkeakoulun tiloissa haluttuun kokoon. Ristivetokoetta varten piti valmistaa työkalu, jotta saataisiin haluttu veto liitokselle. Tox-liitokset tehtiin alihankkijan toimesta, tox-liitos suoritettiin 238 Bar voimalla eli noin 74 kN. Puristetun liitoksen aineenpaksuutta ei onnistuttu mittaamaan, sillä sen syvyys oli yli 1 mm. Puristetun liitoksen aineenpaksuudelle käytetään mittaa x.



Kuva 8. a) Leikkausvetokoe b) Ristivetokoe (Sciolo 2016).

Tox-liitoksia tehdessä ristivetokoetta varten tuli ongelma vastaan, sillä koekappaleet olivat liian suuria emmekä onnistuneet tekemään tox-liitoksia suoraan keskelle levyjä. Teimme kuitenkin 3 koekappaleita kumpaakin testiä varten. Leikkausvetokeissa käyttämämme koekappaleet olivat leveydeltään 50 mm ja pituudeltaan 150 mm ja ristivetokokeessa käyttämämme koekappaleiden yhden levyn mitat olivat 100 mm leveä ja 240 mm pitkä.

Vetokokeiden suorittamiseen taulukossa 12 on esitetty käytetyt nopeus- ja voimavot. Ristivetokokeita suorittaessa ilmeni hieman heittoa tuloksissa (liite 2). Tämä johtui siitä, kun kaikki liitoslevyt eivät olleet samoin päin eivätkä tox-liitokset olleet kaikki keskellä. Levyjen valmistamisen jälkeen huomasimme myös, että standardissa SFS-EN ISO 14273/14272 on määritelty koekappaleiden mitat jotka eivät vastaa tässä vetokokeissa käytettyjä kappalekokoja.

| Esikiristysvoima | Esikuormitusnopeus | Testausnopeus | Nopeus myötöalueella |
|------------------|--------------------|---------------|----------------------|
| 0,50 kN | 0,017 mm/s | 0,050 mm/s | 0,05 mm/s |

Taulukko 12. Vetokokeen suoritusarvot.

Vetokokeesta saatiin suuntaan antavia tuloksia, sillä kokeita ei ole tehty standardin mukaisesti. Taulukot 13 ja 14 kertovat kuinka paljon voimaa tarvitaan liitoksen rikkomiseen, tuloksien käyrät ovat liitteessä 2.

Leikkausvetokokeen tuloksia

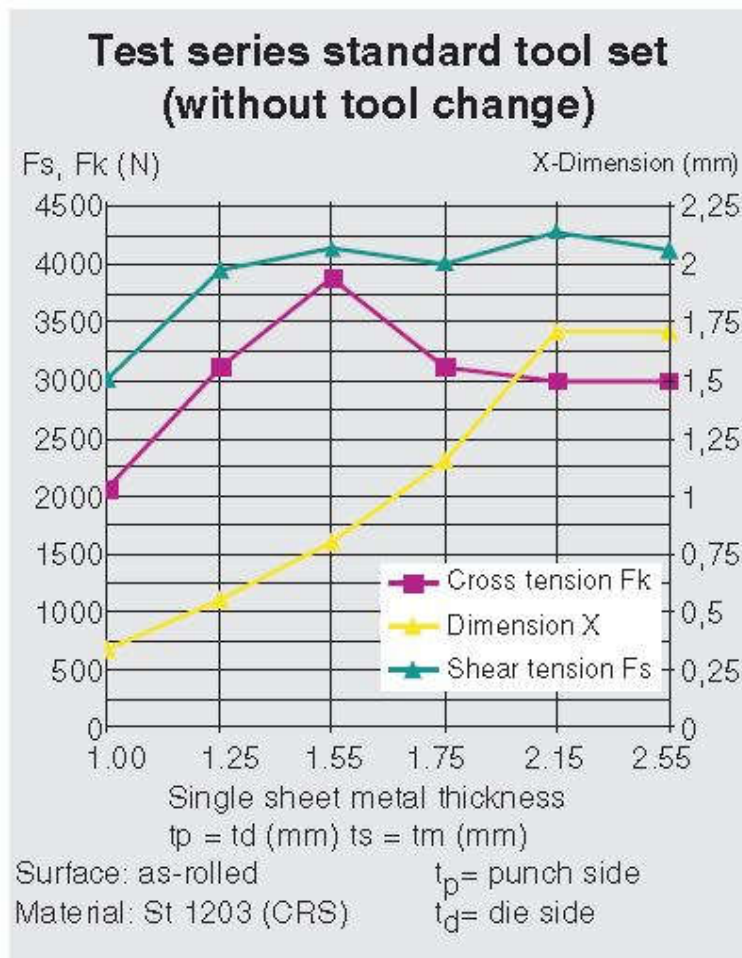
| Ristivetokoe | Koekappale 1 | Koekappale 2 | Koekappale 3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Maksimi voima | 4.68 kN | 5.12 kN | 4.95 kN |
| Aseman siirtymä | 7.83 mm | 11.44 mm | 12.96 mm |

Taulukko 13. Ristivetokokeen tuloksia.

| Leikkausvetokoe | Koekappale 4 | Koekappale 5 | Koekappale 6 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Maksimi voima | 4.83 kN | 5.06 kN | 4.55 kN |
| Aseman siirtymä | 2.45 mm | 2,34 mm | 3.12 mm |

Taulukko 14. Leikkausvetokokeen tuloksia.

Kuvio 2 on esitetty tox-liitos konevalmistajan testin tulokset kylmävalssattu teräs DC01 materiaalille. Valmistajan ilmoittamia tuloksia voidaan verrata itse tekemiini testeihin, jolloin voidaan nähdä samankaltaisuuksia tuloksissa. Tuloksien samankaltaisuudet ovat nähtävissä suoraan valmistajan kuviosta 2 sekä itse tekemiäni testien tulostaulukoista 13 ja 14. Esimerkiksi valmistajan tuloksista näemme, että materiaalipaksuuden ollessa noin 2 mm ja liitoksen paksuuden ollessa 1,7 mm saavutetaan ristivetokokeella 3 kN veto ja leikkausvetokokeella 4,25 kN veto ennen liitoksen hajoamista. Omissa kokeissani sain tuloksien keskiarvoiksi ristivetokokeessa 4,9 kN ja leikkausvetokokeessa 4,8 kN. Tuloksista näemme, että ristivetokokeella aseman siirtymä on huomattavasti suurempi kuin leikkausvetokokeella. Tämä johtuu siitä, että materiaali venyy liitoksen ympäriltä ennen liitoksen hajoamista. Ristivenymisen suuruuteen vaikuttaa kuinka tiheästi liitokset tehdään levyille. Tuloksiin vaikuttavat myös millaisella puristuksella tox-liitokset tehdään sekä vetokokeiden yhdenmukaisuus.



Kuvio 2. Konevalmistajan julkaisemat tulokset (Tox Pressotechnik 2017, 4).

- Vetokokeet hitsatulle sauvalle

T. Anttilan (Ferrittisten ruostumattomien terästen hitsauksessa syntyvien mikroran- teiden vaikutus lämpövyöhykkeen mekaanisiin ominaisuuksiin) opinnäytetyössä on tehty vetokokeet EN 1.4003 hitsatulle sauvalle SFS-EN 10002-1 standardin mukai- sesti. Materiaali paksuus oli 2 mm ja koekappaleita oli 3 eri lämmöntonulla tehtyjä sauvoja, kuten 0.149 kJ/mm, 0.224 kJ/mm ja 0,346 kJ/mm. Vetokokeessa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 13. (Anttila, T. 2010, 34;46.)

| Esijännitys | Nopeus, E arvon määritys | Testinopeus | Nopeus, myötö- alue |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------------------|
| 4 N/mm ² | 20 N/mm ² s | 0,0033 1/s | 0,00075 1/s |

Taulukko 15. T. Anttilan opinnäytetyön vetokokeessa käytetyt arvot. (Anttila, T. 2010, 41).

T. Anttilan vetokokeen tulokset ovat taulukossa 16, jossa E on kimmokerroin, $R_{p0.2}$ on myötölujuus, R_m on murtolujuus, A_t on murtovenymä ja A_g on tasavenymä.

| Materi- aali | Lämmön tuonti | E (GPa) | $R_{p0.2}$ (MPa) | R_m (MPa) | A_t (%) | A_g (%) |
|-----------------|------------------|------------|---------------------|----------------|--------------|--------------|
| 1.4003 | Pieni | 184 | 374 | 527 | 16,3 | 10,2 |
| 1.4003 | Keski | 192 | 372 | 527 | 16,2 | 10,7 |
| 1.4003 | Suuri | 168 | 369 | 506 | 9,9 | 5,9 |

Taulukko 16. Vetokokeen tulokset. (Anttila, T. 2010, 42).

Anttilan tuloksissa EN 1.4003 materiaali sauvat katkesivat perusaineesta, toisin sanoen hitsiliitos on perusainetta lujempi. Pienen ja keskisuuren lämmöntuonnin välillä lujuus- ja venymäarvoissa ei ollut eroja. Suurella lämmöntuonnilla lujuusarvot putosivat paljon. Suurella lämmöntuonnilla venymäprosentit putosivat melkein puoleen verrattuna pieneen ja keskisuureen lämmöntuontiin. (Anttila, T. 2010, 41.)



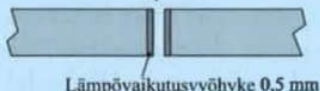

T. Anttilan johtopäätökset vetokokeista EN 1.4003 materiaalista. ”Verrattaessa hitaamattomien verrokkisauvojen tuloksiin voidaan nähdä, että kaikilla lämmöntuontiarvoilla myötö- ja murtolujuus on noin 20 MPa suurempi kuin verrokkisauvoilla riippumatta verrokkisauvan valssaussuunnasta. Kuitenkin suurimmalla lämmöntuontiarvolla lujuusarvot tipahtivat lähes verrokkisauvojen tasolle. Tasa- ja murtovenymät olivat puolestaan hieman verrokkisauvojen venymiä alempana (4–5 %), lukuun ottamatta suurta lämmöntuontiarvoa, jolla venymäarvot putosivat reilusti. Suurella lämmöntuontiarvolla lujuuden ja sitkeyden menetyksen aiheuttaa todennäköisesti martensiitin kasvava raekoko.” (Anttila, T. 2010, 53.)

6 MATERIAALIN VALMISTUSOHJEET

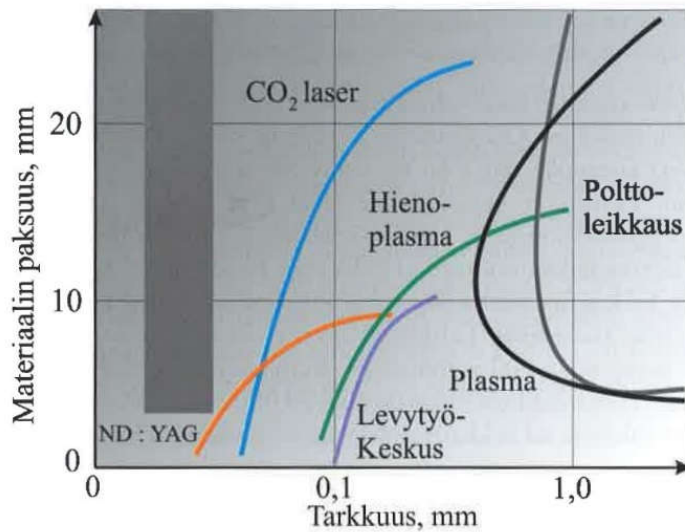
6.1 Leikkaukset

Leikkausmenetelmää valittaessa on mietittävä mitä vaatimuksia asetetaan valmistettaessa tuotetta. Vaikuttavia tekijöitä voivat olla leikkausmenetelmien lämmöntonin vaikutukset materiaaliin. Itse materiaali ja materiaalin paksuus vaikuttavat leikkausmenetelmiin, kun asetetaan rajoja leikkauksien tarkkuudelle ja pinnanlaadulle. Taulukoista voi vertailla eri leikkausmenetelmien suhteellista lämmöntonin (Taulukko 17) ja eri paksuisille materiaaleille leikkaustarkkuuksia (Kuva 10).

High intensityssä on käytetty pääasiassa 1–3 mm vahvuuksia levyjä. Vesisuihkuleikkausta suositellaan käytettäväksi, kun materiaalia paksuudet ovat 8–100 mm, tästä syystä ei käsitellä vesisuihkuleikkausta. Polttoleikkausta käytetään yleisemmin, kun levyn paksuudet ovat 10 – 300 mm, ja polttoleikkauksen suuren lämmöntonin johdosta se ei sovellu ruostumattomille teräksille.

| Leikkausmenetelmät | | |
|--------------------|--------------------------|---|
| | Suhteellinen lämmöntonin | Lämpövyöhykkeen ja railon leveys, [mm] |
| Vesisuihkuleikkaus | 0 | Railon leveys 0,5 mm  |
| Polttoleikkaus | 100 | Railon leveys 3,0 mm Lämpövaikutusvyöhyke 2,0 mm  |
| Plasmaleikkaus | 10 | Railon leveys 1,0 mm Lämpövaikutusvyöhyke 0,5 mm  |
| Laserleikkaus | 1 | Railon leveys 0,2 mm Lämpövaikutusvyöhyke 0,1 mm  |

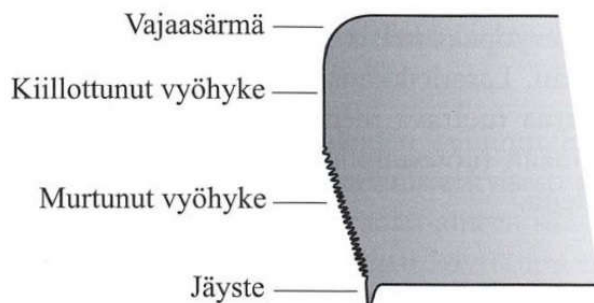
Taulukko 17. Lämmöntonin suhteellisuus termisillä leikkausmenetelmillä (Matilainen ym. 2010, 204).



Kuva 9. Leikkausmenetelmien tarkkuusvertailua (Matilainen ym. 2010, 201).

6.1.1 Mekaaninen leikkaus

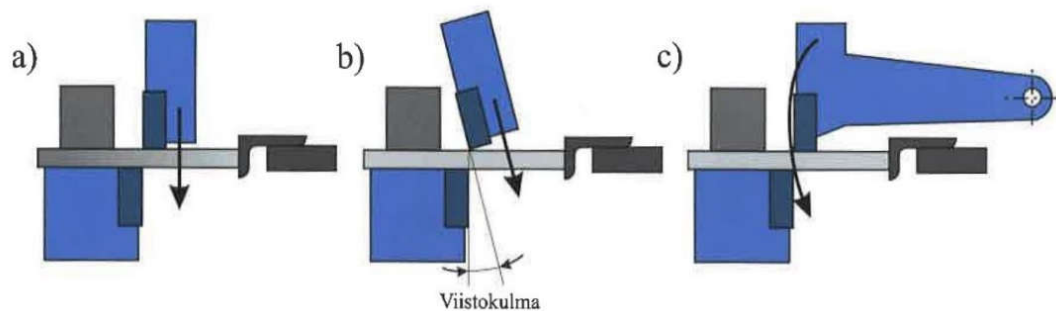
Mekaanisessa leikkaamisessa työkaluna käytetään yleensä suoralinjaista terää tai lävistintä. Lävistin on työkalu, jolla voidaan tehdä reikiä eli leikataan jonkinlainen suljettu muoto. Leikkauksessa terä painuu levyn pintaan synnyttäen vajaasärmän. Terän tunkeutuessa syvemmälle levyyn muodostuu kiillottunut vyöhyke, materiaalin paksuudesta ja kovuudesta sekä leikkauvälistä riippuen kiillottunut vyöhyke voi olla noin 20–60 % levynpaksuudesta. Materiaalin muodonmuutoskyvyn ylittyessä, levyn alaosa murtuu ja alaterän lähelle muodostuu jäyste. Leikkauksen yhteydessä syntyvät vyöhykkeet on esitetty kuvassa 11. (Matilainen ym. 2010, 170.)



Kuva 10. Leikatun pinnan vyöhykkeet (Matilainen ym. 2010, 170).

- Suuntausleikkaus

Suuntausleikkauksen tarkkuutena voidaan pitää keskimääräisesti arvoa 0,1 mm. Suuntausleikkaus voidaan tehdä yhdensuuntaisena leikkauksena, viistoleikkauksena ja heilurileikkauksena (Kuva 12). Heilurileikkaus on näistä menetelmistä harvinaisin. Viistoleikkauksessa yläterä on pienessä kulmassa alaterään nähden jolloin terät kuluvat huomattavasti vähemmän kuin yhdensuuntaisessa leikkauksessa. (Matilainen ym. 2010, 170.)



Kuva 11. a) Yhdensuuntainen leikkaus. b) Viistoleikkaus. c) Heilurileikkaus. (Matilainen ym. 2010, 171).

Leikkausta valmisteltaessa tulee materiaalin mukaan valita oikea leikkausväli ja leikkausvoima.

Materiaalin ollessa alle 16 mm leikkauksen viistokulmalla ei ole niinkään merkistä.

Oikeanlaisella leikkausvälillä vaikutetaan pinnan laatuun ja liuskan kaareutumiseen. Leikkausväli tulee materiaalin paksuuden ja materiaaliominaisuuden mukaan. Leikkausväli ferriittisille teräksille suositellaan olevan 10–15 % materiaalinpaksuudesta.

Leikkausvoiman laskemiseen tarvitaan lähtötietoina leikkauskulma α , levyjen paksuus s ja leikattavan levyn murtolujuus R_m . Pääleikkausvoima P_1 lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$P_1 = \frac{s^2}{2} \times \cot \alpha \times 0,8 R_m$$

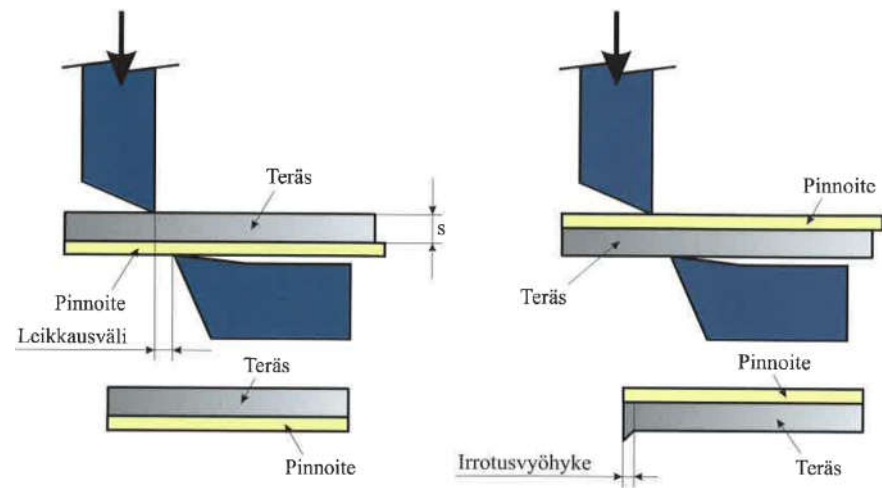
Tätä kaavaa suositellaan käytettäväksi ainoastaan karkeaan arviointiin, sillä kyseisessä kaavassa ei oteta huomioon leikkausväliä eikä huomioida terän tylsymistä. (Matilainen ym. 2010, 174–175.)

Onnistuneeseen leikkaukseen on otettava huomioon leikkaava kone ja leikattava materiaali. Koneen terien on oltava oikeassa asennossa, ja eivätkä ne saa olla tylsiä. Taulukosta 18 käy ilmi yleisimmät virheet, joita leikatessa voi aiheutua ja joita tulisi välttää.

| Virheen aiheuttaja | Virhetyyppi | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|------------|
| | Kiertyminen | Tasokaareutuminen | Taipuminen |
| Leikkauslaitteisto | | | |
| Suuri leikkauskulma | X | X | X |
| Pieni leikkausväli | | X | |
| Teräpalkin jousto | | X | |
| Terien tylsyys | X | | X |
| Terien väärä asento | | X | |
| Pieni leikkauksenopeus | X | | |
| Liian pieni pidätysvoima | | X | |
| Materiaali | | | |
| Materiaalin pehmeys | X | | |
| Materiaalin sisäiset jännitykset | X | X | X |
| Materiaalin huono laatu | | X | |
| Leikattava kappale | | | |
| Levyn paksuus | X | | X |
| Leikattavan liuskan kapeus | X | X | X |
| Leikattavan levyn pituus | X | X | X |

Taulukko 18. Yleisimmät virheet ja virheiden aiheuttajat suuntausleikkauksessa (Matilainen ym. 2010, 172).

Muovipinnoitetuilla levyillä leikkaaminen onnistuu samalla tavalla kuin ilman pinnoitetta, mutta pinnoitteen leikkaussuunta leikatessa kannatta huomioida etukäteen. Pinnoitteen ollessa ylöspäin, säästetään pinnoite irtoamasta eikä se naarmuunnu niin herkästi. Pinnoitteen pidettäessä alapuolella, leikkaustapahtumassa jäyste uppoaa pinnoitteen sisään eikä jää ulospäin töröttämään (Kuva 13). Tehtaalla levyt yleensä pinnoitetaan pinnoite ylöspäin, jolloin levyjä joutuu kääntämään. Levyjen kääntäminen on hankalaa ja hidasta toimintaa mikä johtaa lisäkustannuksiin. (Matilainen ym. 2010, 176.)

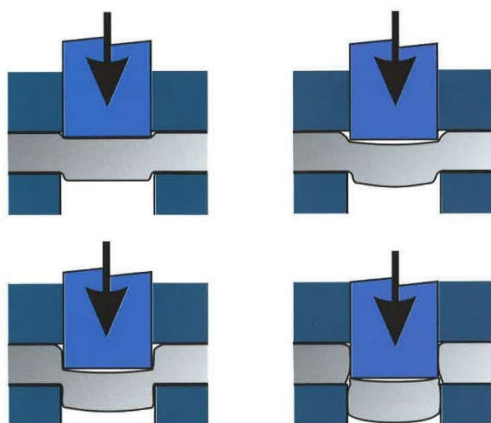


Kuva 12. Muovipinnoitetun ohutlevy leikkaaminen suuntausleikkurilla. (Matilainen ym. 2010, 177).

- Lävistäminen

High intensity -suuttimien reiät tehdään lävistämällä. Lävistäminen tulee edullisemmaksi kuin laserilla tehdyt reiät koska reiät ovat samankokoisia ja paljon reikiä sisältävät osat ovat nopeampi tehdä lävistämällä. On ollut tapauksia, joissa lävistetyissä rei'issä on ollut jäystettä ja se on saanut suuttimen pitämään kovaa ääntä. Asia saatiin korjattua senkkaamalla reiät, joten valmistettaessa suuttimia mahdolliset jäysteet rei'istä täytyy puhdistaa pois.

Kuvassa 14 on esitetty vaiheittain lävistämisprosessin kulkua. Pistin osuu ensin leikkattavaan materiaaliin ja alkaa leikata, kunnes materiaalin alaosa murtuu ja ylimääräinen osa irtoaa. Saadakseen hyvänlaatuista leikkausjälkeä on tärkeää valita käytettävät työkalut lävistämisprosessia varten. Lävistysprosessia suorittaessa on huomioitava materiaali, leikkausvälitys ja lävistysvoima. (Matilainen ym. 2010, 179.)



Kuva 13. Lävistämisen vaiheet. (Matilainen ym. 2010, 180).

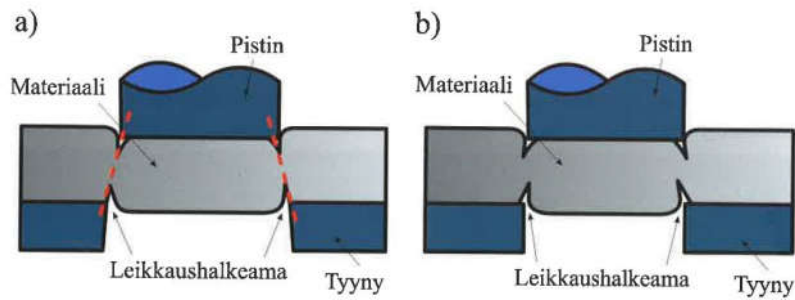
Lävistyksen kannalta suunnittelussa on tärkeää huomioida leikattavien muotojen standardisuus ja leikattavien sarjojen suuruus. Myöskin suunnittelussa on otettava huomioon taivutuksien mahdolliset vaikutukset lävistettävään muotoon ja jopa sen repeämiseen. Nyrkkisääntönä pidetään, että reiän ulkoreunan ja taivutuksen sisäsaiteen välillä tulisi olla vähintään kaksi kertaa materiaalin paksuinen kaistale ehjää levyä. (Matilainen ym. 2010, 187.)

Onnistuneeseen lävistykseen täytyy asettaa oikeanlainen työkaluvällys. Työkaluvällyksellä tarkoitetaan pistimen ja tyynyn kokonaishalkaisijoiden välistä eroa. Oikealla työkaluvällyksellä varmennetaan työkalujen toimivuus ja saadaan pidettyä jäyste pienenä. Kokonaisvällyksenä yritetään pitää 10–30 % materiaalinpaksuudesta. Taulukossa 19 on esitetty yhden työkaluvalmistajan suositukset kokonaisvällykselle materiaalin mukaan, joka on ruostumattomille teräksille 20 %. Kuvassa 15 on havainnollistettu optimaalinen ja huonoleikkausvällys. Kuvan a-kohdassa leikkaushalkeama on yhtenäinen, joka parantaa laatua ja työkalunkestävyyttä. Kuvan b-kohdassa leikkausvällys on liian pieni, tällöin leikkaushalkeamia tarvitaan kaksi ja enemmän leikkausvoimaa. Tämä aiheuttaa työkalun liiallista kulumista. (Matilainen ym. 2010, 185.)

| Materiaali | Kokonaisväli [%] | | |
|-------------------|------------------|-------|---------|
| | Minimi | Paras | Maksimi |
| Ruostumaton teräs | 15 | 20 | 25 |

Kokonaisväli = (% x materiaalin paksuus)/100

Taulukko 19. Pistimen ja tyynyn kokonaisvällys ruostumattomalla teräksellä (Matilainen ym. 2010, 186).



Kuva 14. a) Optimaalinen leikkausvälys. b) Liian pieni leikkausvälys. (Matilainen ym. 2010, 185).

Lävistyslaitteistoilla on tietty maksimivoima jolla se voi lävistää materiaalin, eikä tätä saa ylittää. Tästä syystä täytyy laskea materiaaliin tarvittava lävistysvoima. Lävistysvoiman laskemiseen tarvittavia arvoja ovat D , joka on reiän halkaisija, s , joka on materiaalin paksuus, f , joka on materiaalikohtainen tekijä ja se on ruostumattomilla teräksillä 1.4 sekä R_m , joka on lävistettävän materiaalin murtolujuus. Suorakaiteen muotoisilla on D tilalla $a + b$ jotka ovat työkalujen sivujen pituudet. (Matilainen ym. 2010, 187.)

Lävistysvoima laskemiseen kaavat pyöreille ja suorakaiteen muotoisille.

$$F = \pi \times D \times s \times f \times R_m \quad \text{Pyöreälle työkalulle}$$

$$F = 2 \times (a + b) \times s \times f \times R_m \quad \text{Suorakaiteen muotoiselle työkalulle}$$

6.1.2 Laserleikkaus

Laserleikkausmenetelmiä ovat polttoleikkaus, sulattava leikkaus, höyrystävä leikkaus tai näiden yhdistelmät. Lasersädettä käytetään sulattamaan leikattava materiaali ja säteen kanssa leikkauskaasu poistaa ylimääräisen materiaalin leikkausrailosta. Ruostumattomissa teräksissä käytetään sulattavaa laserleikkausta, jota kutsutaan myös tyypileikkaukseksi.

Laserleikkauksen etuna on leikkauksen tarkkuus, leikkausnopeus ohuilla materiaaleilla ja erittäin kapea lämpövaikutusvyöhyke. Huonona puolena laserleikkausmenetelmässä on korkeat investointikustannukset ja toisinaan tapa tuottaa ylläatua, joka ei ole kustannustehokas. (Matilainen ym. 2010, 159.)

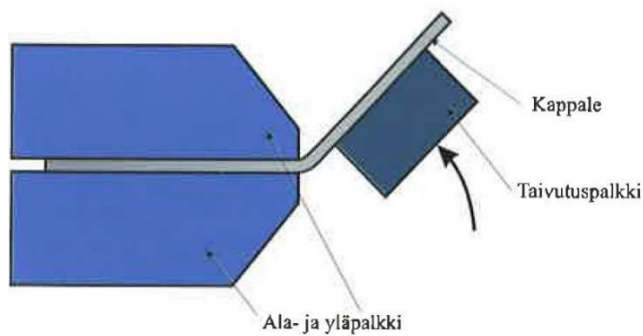
6.1.3 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkausta käytetään, kun laserin pinnanlaadulle ja tarkkuudelle ei ole tarvetta. Keskitytään hienosädeplasmaleikkaukseen, sillä sitä käytetään High intensity -suuttimien valmistamiseen. Hienosädeplasmaleikkaukseen verratessa laserleikkausmenetelmää voidaan pitää kilpailukykyisenä tietyillä materiaalipaksuuksilla (3–8 mm). Hienosädeplasman lämpövaikutusvyöhyke on kapeampi kuin muilla plasmaleikkausmenetelmillä. Hienosädeplasma on parhaimmillaan leikattaessa ohuita levyjä suhteellisen alhaisilla leikkausnopeuksilla.

Plasmaleikkauksen etu on laitteiston hinta laserlaitteistoon nähden, leikkausnopeudet ovat suhteellisen nopeat ohutlevyissä ja leikkauspintoihin ei muodostu oksideja. Huonona puolena verratessa laserleikkaukseen on, ettei plasmaleikkaus ole yhtä tarkka ja se aiheuttaa suuremman lämpövaikutusvyöhykkeen. (Matilainen ym. 2010, 154.)

6.2 Särmäys ja taivuttaminen

Taivuttaminen on levyaihion tasomaista muovaamista. Levyjen taivuttamiseen käytetään esimerkiksi taivutuskonetta ja särmäyspuristinta. Yleisimmin käytetään särmäyspuristinta sen joustavuuden ansiosta ja siihen voi vaihtaa erimuotoisia ja -kokoisia teriä sekä sillä voidaan valmistaa monimuotoisia kappaleita. Taivutuskonetta käyttäessä taivutus on hellävaraisempi kuin särmäyspuristimella, koska levyn liukumista ei tapahdu.

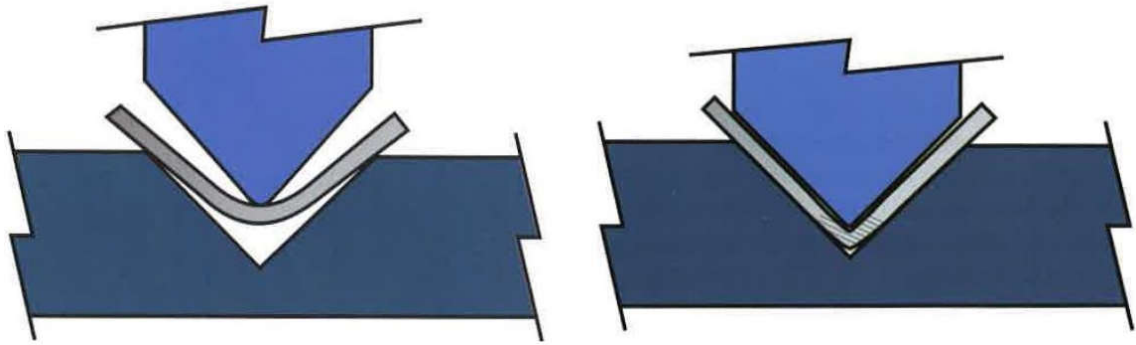


Kuva 15. Taivutuskoneen osat ja toiminnan peruseriaate (Matilainen ym. 2010, 239).

Särmäys toteutetaan yleensä vapaataivutuksena tai pohjaaniskutaivutuksena. Särmäyksessä on otettava huomioon särmäyspuristimen puristusvoima, joka vaihtelee särmäyspuristimien valmistajan mallien mukaan. Tarvittava puristusvoima vaihtelee levyn materiaalista ja paksuudesta johtuen. Taivuttaessa on myös otettava huomioon levyn valmistusominaisuudet. Levyn valssaussuunta voi vaikuttaa levyn ulkopinnan halkeamiseen, esimerkiksi valssaussuuntaan nähden poikittain taivutettuna saadaan pienempi taivutus säde kuin pitkittäin.

Vapaataivutuksessa levyaihiota taivutetaan kolmipistetaivutuksena alatyökalun v-aukon kulmien ja ylätyökalun suhteen, mutta ylätyökalun liike lopetetaan ennen kuin levy osuu alatyökalun pohjaan. Tätä menetelmää yleensä käytetään, kun haluttu kulma on alle 90° . Etuna vapaataivutuksessa on, ettei työkalun muoto vaikuta levyyn syntyvään muotoon.

Pohjaaniskutaivutuksessa ylätyökalu painuu kokonaan alatyökalua vasten ja välissä oleva levyaihiota muotoutuu ala- ja ylätyökalun muotojen mukaan. Pohjaaniskutaivutuksessa vaaditaan 3–5 kertaa enemmän kuin vapaataivutusmenetelmällä. Pohjaaniskutaivutuksen etuna on sillä saavutettava pysyvä muodonmuutos ja onnistuessaan voidaan eliminoida takaisinjousto melkein kokonaan. (Matilainen ym. 2010, 241.)



Kuva 16. Vasemmalla vapaataivutus ja oikealla pohjaaniskutaivutus (Matilainen ym. 2010, 241).

Taivutuksessa tarvittavan puristusvoiman laskemiseen on monia laskentakaavoja. Kuvasessa 18 on yksi esimerkki miten tarvittavan voiman voi laskea. Parhaimman tuloksen saamiseksi tarvitaan teoreettista sekä käytännön kokemusta ja hyvään lopputulokseen vaikuttaa myös käytössä olevien työkalujen kunto. (Matilainen ym. 2010, 252.)

$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{V}$$

R_m = levyn murtolujuus, N/mm²
 s = levyn paksuus, mm
 C = vakio (1,2 ... 1,5)
 b = taivutettava pituus, mm
 V = V-aukon leveys, mm

Kuva 17. Taivutuksessa tarvittava puristusvoima (Matilainen ym. 2010, 252).

Taivutuksen tarkkuudeksi saavutetaan yleensä vähintään $\pm 0,5$ mm. Onnistuneeseen taivutukseen vaikuttavat tekijät ovat työkalujen kunto, taivutuskulman tarkkuus ja särmän suoruus, takaisinjousto sekä vapaataivutuksessa vastimen uran ja painimen kärkisäteen suhde. Eniten vaikuttavat tekijät ovat muun muassa takaisinjousto, materiaaliominaisuudet ja työkalut. Tarkkuuteen vaikuttava tekijä on myös se, että särmäyspuristimen jous-tojen seurauksena pitkien levyaihioiden taivutuksessa voima ei jakaannu tasaisesti koko kappaleen matkalle, jolloin taivutuksen kyljet pullistuvat. Tästä aiheutuva keskellä oleva kulma ei ole sama kuin kulmissa ja tätä ongelmaa kutsutaan veneilmiöksi. Ongelma saadaan korjattua tekemällä esitaivutus keskelle ennen lopullista särmäysliikettä. Myöskään työkalu ei saa olla liian terävä, mikä saattaa aiheuttaa särmän repeämisen. (Matilainen ym. 2010, 244;253.)

Takaisinjousto ei ole suuri ongelma mutta sen ennustaminen on hankalaa, sillä siihen on monia vaikuttavia tekijöitä ja yksittäisten tekijöiden suuruutta on vaikea arvioida. Takaisinjoustoon on kehitetty useita laskentamalleja, jolla voi päästä tarkkoihin tuloksiin. Ongelmana tässäkin on jonkinasteiset vaihtelut esimerkiksi materiaalin myötölujuudessa, johon vaikuttaa esimerkiksi seosaineet ja valssaukset. Takaisinjouston arviointi on laskennallisesti hankalaa ja sitä pyritään hallitsemaan koetaivutuksilla ja mittaamalla takaisinjousto. (Matilainen ym. 2010, 245–247.)

Ferriittisille teräksille pienin taivutussäde on yhtä suuri kuin materiaalin paksuus, alle 1 mm levyissä voidaan käyttää taivutussäteeksi puolet materiaalinpaksuudesta mutta sen on oltava taivutettuna kohtisuoraan levyn valssaussuuntaan nähden. (Outokumpu 2012, 9.)

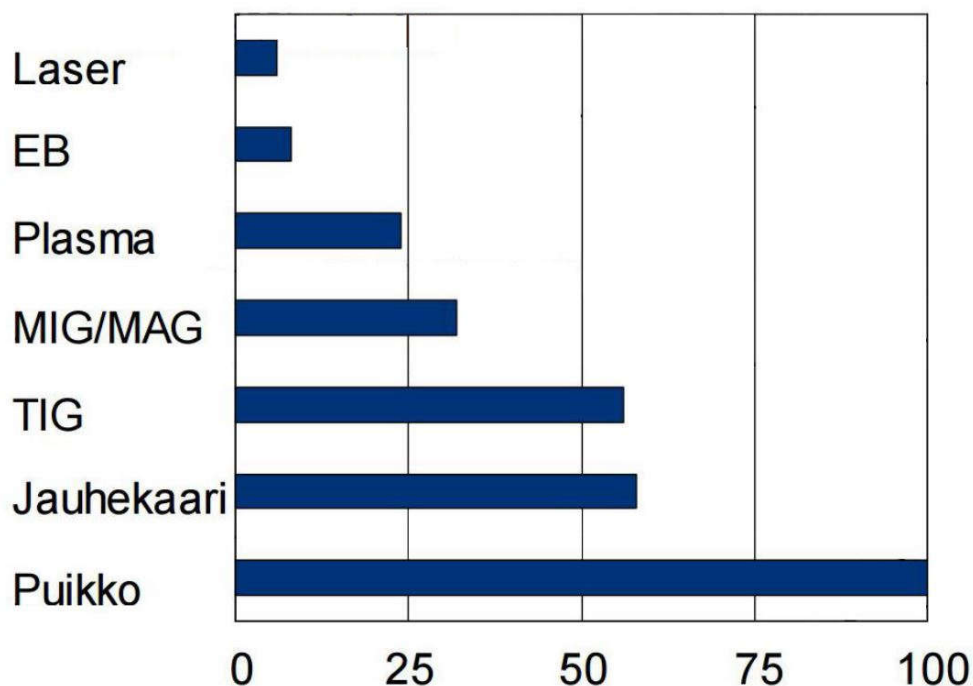
High intensity -kuivaimessa pienin käytettävä taivutussäde on 3 mm, joten tämä ei tuota ongelmaa tuotteen valmistuksessa.

6.3 Liitokset ja jälkikäsitely

6.3.1 Liitokset

Ferriittisen teräksen hitsaukseen suositellaan matalan lämmöntonin menetelmää. Jauhekaarihitsaus ei sovellu ferriittisille teräksille suuren lämmöntonin vuoksi. Esilämmitystä tulisi välttää, koska se kiihdyttää rakeenkasvua. Kuvassa 19 verrataan lämmöntonitua eri hitsausmenetelmillä.

Suhteellinen lämmöntuonti eri hitsausmenetelmillä



Kuva 18. Suhteellinen lämmöntuonti eri hitsausmenetelmillä. (Heikkinen, H-P 2011).

- **Plasma hitsaus**

Plasmahitsauksessa käytetään samaa suojakaasua kuin TIG hitsauksessa eli Argon suojakaasua. Suhteellista lämmöntuontia tarkastellessa plasmahitsauksen lämmöntuonti on hieman alhaisempi kuin MIG/MAG hitsatessa. (Heikkinen, H-P 2011.)

- **Puikkohitsaus**

Puikkohitsauksessa suositellaan käytettäväksi niukkavetyisiä emäspuikkoja vetyhalkeilun välttämiseksi. Tyypillisissä emäspuikoissa vetyä on 5–10 mg/100 g ja parhailla 3 mg/100 g. Suhteellinen lämmöntuonti on kaksinkertainen verrattuna MIG/MAG-hitsaukseen. Tällä on myös suuri vaikutus perusaineen ominaisuuksiin, kuten rakeenkasvuun. (Materiaalitekniikka luentomateriaali; Heikkinen, H-P 2011.)

TIG & MIG / MAG – Hitsaus

- **Lämpö**

Lämmöntuonti hitsauksessa EN 1.4003 -teräkseen on rajattu 1,0 kJ/mm. TIG- ja MAG-hitsauksessa pulssitus on hyvä keino pienentää lämmöntuontia. Hitsausta suorittaessa lämmöntuonnille suositellaan mahdollisimman alhaista arvoa. Esimerkiksi EN 1.4003 hitsattaessa 2 mm levyä, tulisi lämmöntuonti olla alle 0,35 kJ/mm (Outokumpu 2010, 91; Anttila, T. 2010, 46.)

- **Kaasu & lisäaine**

Vedyn pääsyä hitsiin tulee välttää, koska sen liukoisuus ferriittiin on vähäistä joka voi aiheuttaa kylmähalkeilua.

Suojakaasuissa ei saa käyttää vetyä ja typpeä. Suojakaasuna tulee käyttää Ar tai Ar-He -pohjaisia seoksia. Heliumia suojakaasussa käytetään tunkeuman parantamiseksi. MAG-hitsauksessa on tavallista, että suojakaasuihin on lisätty 2 % O₂ tai CO₂. Kuitenkaan tätä suurempia määriä ei suositella lisättäväksi. TIG-hitsauksessa on muistettava käyttää suojakaasun lisäksi juurikaasua, joka on myös argonia. Mig / Mag-manuaalihitsauksessa suojakaasun syöttönopeus on tyypillisesti 12–16 l/min ja Tigillä hitsatessa suojakaasun syöttönopeus on 4–8 l/min. (Outokumpu 2010, 45.)

Hitsauksen lisäaineena suositellaan käytettäväksi austeniittisia, kuten EN 13 ja EN 19 9L tai 18 8Mn. Emäspuikoilla saadaan hitsiaineen matala vetypitoisuus ja hyvä iskutikeys. Lisäaineet on varastoitava asiallisesti, koska kosteat puikot ja täytelangat lisäävät hitsin vetypitoisuutta. (Anttila, S. 2012; Heikkinen, H-P 2011.)

Puhdistus

Hitsattavat pinnat tulee aina ennen hitsausta puhdistaa rasvasta, öljystä ja muusta liasta. Puhdistus tulee tehdä liinalla tai sienellä joka ei jätä nukkaa hitsattavalle pinnalle. Puhdistuksessa on hyvä käyttää pesuaineita, esimerkiksi yleispesua varten tensidejä, etanolia tai asetonia. Rasvoin tai ruosteeseen voi käyttää natriumhydroksidia tai soodaa ja kalkin tai ruosteen poistoon voi käyttää fosforihappoa tai sitruunahappoa. Huonommissa pesuaineissa on korkeat kloridi- tai klooripitoisuudet ja näitä ei aineita ei tule käyttää. Pinnat pitää huuhdella ja kuivata hyvin huuhtelun jälkeen, sillä märkä pinta lisää hitsin happipitoisuutta. Mahdolliset laserleikkauksesta tulleet

päästövärit railopintoihin tulee poistaa kevyesti hiomalla ennen hitsausta. (Hitsaus-tekniikka 1/2013, 11.)

- **Tox-liitos**

Tox-liitokset eivät riko tai lävistä liitoskohtaa eivätkä vahingoita päällysteitä. Tox-liitokset eivät myöskään tuota yhtään lämpöä liitoksen yhteydessä jolloin materiaalikoostumus pysyy muuttumattomana liitoskohdassa. Tarkoittaen siis sitä, että liitoskohta pysyy korroosiokestoiltaan samana kuin muu materiaali. (Tox Pressotechnik 2016.)

Onnistuneen tox-liitoksen tekemiseen on määritelty tavoiteltavat puristusvoimat jotka ovat esimerkiksi 1.4301 materiaali vahvuuden ollessa 2 mm, tulisi puristusvoima olla noin 202 Bar ja noin 63 kN. Onnistuneen liitoksen näkee myös, kun pohjalle ilmestyy kolme pistettä (Kuva 20).



Kuva 19. Tox-liitos 203 Bar voimalla, materiaali EN 1.4003, materiaalinpaksuus 2 mm.

6.3.2 Jälkikäsittely

Hitsauksen jälkikäsittelyllä pyritään parantamaan korroosionkestoa. Korroosiokestävyyden parantamiseksi pyritään saavuttamaan materiaalin normaali koostumus ja paikkaamaan oksidikerroksen rikkoumat. Seuraavaksi käsitellään toimenpiteitä mitkä voivat olla mahdollisia tehdä High intensitylle.

- **Mekaaninen käsittely**

Hitsauksen jälkeen tulee suorittaa harjaus jolla voi poistaa näkyvät hapettumat ja suurimmat jäysteet. Harjausta tehdessä on tärkeää välttää vieraiden partikkeleiden, esimerkiksi raudan joutumista ruostumattoman teräksen pinnalle. Toisin sanoen harja pitää olla ruostumatonta terästä eikä samaa harjaa saa käyttää muiden terästen tai metallien harjaamiseen. Korroosionkestävyyden palauttaminen materiaaliaineen tasoon edellyttää harjauksen jälkeistä peittausta. (Lukkari ym. 2016, 205; Heikkinen, H-P 2011.)

- **Kemikaalinen käsittely**

Väärin toteutettu peittäus altistaa tuotteen raerajakorroosiolle tai epätasaiselle lopputulokselle, siksi on tärkeää toteuttaa peittäus oikealla liuossuhteella ja oikealla ajalla. Liian laimea peittäus voi johtaa siihen, ettei kromiköyhä kerros ole poistunut pinnalta kokonaan. Jet-Steelin määrittelemässä taulukossa (Taulukko 20) on esimerkki toteutukseen. Peittäusaineen optimi fluorivetyhappomäärä on 1–2 % ja passivoinnin aikana EN 1.4003 ei saa altistaa epäpuhtauksille 48h sisällä peittäuksesta, kuten vesisateelle.

| | |
|---------------|----------------------|
| laatu: | 1.4003 (4003) |
| peittäusaine: | 5 % + 20 % |
| peittäusaika: | 2 - 4min |
| huuhtelu: | vesi-fosforihappo |
| pesu: | ionisoitu vesi, 80°C |
| passivointi: | ~3vrk, ulkoilma |

Taulukko 20. Jet-Steel Oy määrittelemät peittäusarvot (Korhonen 2016).

Peittäus on otettava huomioon jo suunnittelussa ja valmistuksessa. Onnistuneeseen peittäukseen tuotteen täytyy olla avoin tai siinä on riittävän suuret aukot ja oikeassa paikassa hapon liikkumiseen ja huuhteluun. Ratkaiseva tekijä peittäuksessa on, että happo voidaan pestä asianmukaisesti pois. Hapon jäädessä tuotteeseen alkaa se syövyttää materiaalia. Tästä syystä High intensity -kuivaimen suuttimille ei voida tehdä upotuspeittäusta. Peittäuksessa happo tunkeutuu levyjen väliin ja hapon poishuuhtelu ei onnistu. Kanavistojen osalta on mahdollista suorittaa peittäus. Tästäkin on otettava huomioon mahdolliset hitsausvirheet esimerkiksi halkeamat, reu-

nahaavat tai huokokset. Näihin imeytyy happoa joita ei saada pois vesi- tai pesuainepesulla. Happo tulee aikanaan pois, jättäen tuotteisiin ruskeita valumajälkiä. (Korhonen 2016.)

Kuivaimen kaikki osat voidaan myös tehdä mustasta raudasta lämpötilojen ollessa matalat ja tästä syystä voitiin olettaa, että korrosio ei ole ongelma. Näin ollen on todettu, ettei peittäus ei ole välttämätön vaan siihen riittää pelkkä hitsauskohtien harjaus. Ilman peittäusta ei voida kuitenkaan saavuttaa materiaalin perusominaisuuksia ja tällöin se jää herkemmin korroosiolle alttiiksi. Hitsausliitoksiin on kuitenkin tehtävä vähintään harjaus.

6.4 Varastointi ja käsittely

Varastoinnin ja käsittelyn tavoitteena on, ettei tuotteissa ole minkäänlaisia likaantumisvaurioita. Käsittelyssä pyritään säilyttämään materiaalin pinnat alkuperäistä tehdaspintaa vastaavana. Materiaalipinnanlaatu käsittelyineen toteutetaan tuote- ja asiakasvaatimusten mukaan. Yleisimmät vaurioitumistavat ovat varastoinnissa tullut kosteusvauriot, käsittelyssä naarmuuntuminen ja vieraiden aineiden tarttuminen pintaan. Käsiteltäessä ruostumatonta terästä kovakouraisesti passiivikalvo voi vaurioitua jolloin teräs on herkempi korroosioitumaan.

6.4.1 Varastointi

- **Vastaanotto**

Materiaalia vastaanottaessa on tarkistettava mahdolliset pintojen vauriot, jotka vaativat tarvittaessa korjausta tai hankittava uusi tilalle.

- **Varastointi sisätilassa**

Teräkset tulisi vähintään olla kosteudelta suojassa. Ilmasta tulevien epäpuhtauksien ja kosteuden päästyä levyjen väliin, aiheutuu levyjen pintaan kirjavuutta. Kirjavuus voi olla hankala poistaa tavanomaisilla konepajan menetelmillä. Ruostumatonta materiaali on varastoitava erillään ruostuvasta materiaalista.

- **Varastoalustat**

Varastoinnissa käytettävät varastopukit ja alustat on oltava ruostumattomia tai on käytettävä suojalevyä. Sama koskeen myös varastointia betonilattiaa vasten.

- **Välivarastointi**

Välivarastoinnissa on myös noudatettava edellä mainittuja huomioita. Tämän lisäksi on suojattava ruostumattomat kappaleet hiomapölyltä, suoralta hiomasuihkulta ja mekaaniselta vauriolta. Jos materiaalin päällä joudutaan liikkumaan, on ne suojattava likaantumiselta ja vastaavasti hiotut pinnat suojattava muovikalvolla.

6.4.2 Valmistus ja käsittely

Valmistus ja käsittely tulisi suorittaa omassa rajatussa tilassa, näin välttyttäisiin turhilta naarmuuntumisilta ja vierasruosteelta.

- **Nostot**

Materiaalien nostot tulisi tehdä nostovöillä ja levyjen nostoelimissä tulee käyttää noston aikana ruostumattomia suojalevyjä.

- **Työkalut**

Suojaamatonta ruostumatonta terästä käsiteltävä vain liasta ja pölystä puhtailta, ruostumattomilla tai vastaavilla suojaetuilla työkaluilla sekä apuvälineillä. Epäpuhtaista työkaluista tarttuu likaa ruostumattoon teräkseen, josta tulee vierasruostetta. Yleensä lika on metallia, mitä työkaluilla on aiemmin työstyetty.

- **Työtasot**

Ruostumatonta terästä käsiteltäessä työkappaleiden ja työtasojen tulee olla puhtaita ja ruostumattomia.

- **Kulutustavarat**

Käytettävä vain ruostumattomille teräksille tarkoitettuja välineitä, ettei työkappaleeseen synny rautahiukkasten aiheuttamia vaurioita. Esimerkiksi hiomalaikat ruostumattomille teräksille on merkattu sinisellä merkillä.

- **Lähetys ja asennus**

Tässä on noudatettava samoja periaatteita kuin edellä on mainittu, jotta materiaalin puhtaus ja vauriottomuus säilyisi. (Lukkari ym. 2016, 208; Materiaaliteknikka luontomateriaali, 45–46.)

7 SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAT ASIAT

- Materiaaliprofiili

Materiaaliprofiilin luontia Catia V5 & Catia V6 varten tarvittavat tiedot. Ferrittisillä teräksillä ilmoitetaan venymisrajan arvot sekä pitkittäin että poikittain valssaus-suuntaan nähden

| Title | Steel Name Nomenclature | Material group Description | Standard Domains | Family |
|-----------|-------------------------|--|------------------|----------|
| EN 1.4003 | 3Cr12 | Stainless steels for Plates, strips, sheets and sheet plates:(Engineering/Structural steels) | EN 10088-2 | Official |

| Density (kg/m ³) | Young's modulus (N/mm ²) | Poisson's ratio | Yield strength (N/mm ²) | Coefficient of thermal expansion (Kdeg) |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---|
| 7700 | 220 | 0.32 | 230 / 320 | 1.04*10 ⁻⁵ |

Taulukko 21. Materiaaliprofiili (Stainless-lintels 2016; Valtanen, E. 2007, 1013–1014).

- Materiaalin ominaisuudet

EN 1.4003 omaa suuremman lujuuden ja paremman lämpölaajenemiskertoimen verrattuna EN 1.4301. Muokattavuus uudessa materiaalissa on parempi kuin vanhassa EN 1.4301. EN 1.4003 taas omaa huonomman korroosion keston, joten uuden materiaalin käytössä täytyy huomioida materiaalin varastointi ja tuotteiden toimitukset työmaille sekä työmaille tapahtuva varastointi.

- Lujuusominaisuudet

High intensity -kuivaimeen materiaalin kevennyksiä ei saatu, vaikka lujuusominaisuudet ovatkin paremmat vanhaan materiaaliin nähden. Tulevassa projektissa jossa EN 1.4003 materiaali tullaan käyttämään, olisi hyvä tehdä uudet lujuuslaskelmat kanavistolle ja tarkistaa olisiko mahdollista vähentää joustoliittimien käyttöä. Joustoliittimien määrän vähentämisellä voitaisiin saavuttaa lisäsäästöjä.

- Lämpölaajeneminen

EN 1.4003 omaa suuremman lämpölaajenemiskertoimen kuin austeniittinen, jolloin materiaalin lämmitessä High intensity -kuivain laajenee huomattavasti vähemmän. Myöskin EN 1.4003 suurempi lämmönjohtokyky verratessa austeniittiseen vakauttaa High intensity -kuivaimen käytössä tapahtuvia lämpövetelyitä.

Esimerkkinä paperikonelinjan leveyden ollessa 7250 mm, jolloin suuttimien leveys olisi xxx mm ja mitoituslämpötila olisi xxx °C. Suuttimien lämpölaajeneminen on uudella materiaalilla olisi noin pienempi kuin vanhalla materiaalilla.

Modernisointiprojekteissa tämä on merkittävä hyöty, sillä tällaisissa projekteissa tilasta on usein puutetta.

- Särmäykset

EN 1.4003 materiaalille voidaan tehdä yhtä suuret taivutussäteet kuin materiaalin paksuus. Uudella materiaalilla on pienempi takaisinjousto kuin vanhalla materiaalilla. Tämä vaikuttaa lähinnä High intensity -kuivaimen valmistuksessa, kuitenkin suunnittelussa se ei teetä muutoksia vanhaan materiaaliin nähden.

- Lävistyksen ja leikkaukset

Leikkaus- ja lävistämisprosessin kannalta ei suunnittelussa tapahdu muutosta vanhaan materiaaliin nähden.

- Liitokset

Suunnittelussa hitsattavuuteen ei tarvitse muuttaa suunnitelmia vaan materiaalin muutos vaikuttaa tuotteen valmistuksessa, jolloin täytyy huomioida lämmöntuonti ja hitsauksen lisäaineet sekä jälkikäsitteily.

Tox-liitoksien tekeminen onnistuu ja niitä pystytään tekemään samalla tavalla uuteen kuin vanhaan materiaaliin; tässäkin huomio kääntyy enemmänkin valmistukseen.

- Varastointi

EN 1.4003 materiaalille herkästi tulee pintakorroosiota, jos varastointi on huono. Asiakkaalle tämä näyttää huonolta. Yleensä materiaali säilytetään ja tuotteet toimitetaan valmistajalta asiakkaalle asianmukaisesti, ongelmia esiintyy lähinnä silloin kun tavara on työmaalla väärin varastoituna. Työmaalla paketit avataan ja tarkistetaan ja osa tavaroista asennetaan ennen muita samassa laatikossa olevia osia, jolloin paketit jäävät auki jolloin tuotteet altistuvat esimerkiksi kosteudelle.

Suunnittelussa voitaisiinkin mahdollisesti tehdä ohjeistus tai liittää kuviin miten asianmukainen varastointi kuuluisi tehdä uuden materiaalin myötä.

Esimerkiksi; mikäli paketti avataan, tulisi se sulkea asianmukaisesti, jotta välttäisiin kosteuden pääsystä tuotteisiin tai viedä avatusta paketista kaikki tavarat sisätiloihin.

- Hinta

Uuden materiaalin myötä kustannussäästöt tulevat lähinnä materiaalin lisäainehinnasta, jotka olivat 1/2017 noin 30 % säästöt vanhaan materiaaliin nähden. Uuden materiaalin myötä High intensity -kuivaimen valmistukseen ei koidu lisäkustannuksia. Suunnittelussa tämä voidaan huomioida tarjoustähtäessä asiakkaalle.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valita soveltuvampi sekä hinta-laatusuhteeltaan kannattavampi materiaali High intensity -kuivaimeen ja tehdä siitä ohjeistus. Materiaalivaihtoehdot tulivat Valmetin aiemmin teettämästä opinnäytetyöstä (Ruostumattoman teräksen EN 1.4301/1.4307 korvaaminen ilmakeivaimessa, liikka Laitalainen) ja tässä työssä tehtävänä oli etsiä tarvittavat tiedot kyseisistä materiaaleista ja niiden kautta arvioida niiden soveltuvuutta käyttökohteeseen.

Ensimmäisenä vertailin materiaalien ominaisuuksia, saatavuutta ja hintaa. Näiden tietojen perusteella valitsin materiaalin jatkokäsitteltäväksi. Selvitin aikaisemmat mahdolliset tehdyt testit paperikoneympäristöstä. Selvitin myös lämmönkeston paperikoneympäristössä ja tein itse vetokokeita tox-liitoksiin liittyen. Yhtenä opinnäytetyöni tavoitteena oli myös tehdä käsittelyyn ja valmistukseen ohjeistuksia. Käsittelyssä kävin läpi varastoinnin ja käsittelyn valmistuksen aikana. Valmistuksessa selvitin, onko mahdollista tehdä tarvittavia särmäyksiä. Selvitin myös hitsauksessa huomioon otavat asiat ja hitsauksen jälkikäsittelyn sekä leikkaukset. Opinnäytetyöhöni liittyi myös mahdollisten kustannussäästöjen laskeminen, jonka lisäksi tuli selvittää, onko mahdollista ohentaa materiaalia kanavaosissa lisäsäästöjen toivossa.

Tämän projektin lopputuloksena päädyin käyttämään EN 1.4003, sillä sen materiaali lujuus oli parempi ja sitä oli paremmin saatavilla. Suunnittelua varten tein materiaali-profiilin, jonka voi laittaa 3D-suunnitteluohjelmaan. Selvityksissä kävi ilmi, että kyseistä materiaalia oli käytetty aikaisemminkin kanavistossa ja se ei ole kärsinyt juurikaan korroosiosta sekä kestää kanavissa vallitsevan lämmön. Särmäyksessä ja leikkauksissa materiaali ei tuota mitään ongelmia eikä aiheuta muutoksia tämän hetkisiin menetelmiin. Hitsauksissa pitää huomioida lämmöntuonti, joka täytyy pitää mahdollisimman alhaisena, ja hitsaussaumamat on vähintäänkin harjattava, mikäli hitsaussaumoihin pääsee käsiksi. Käsittelin myös hieman peittausta mutta ainakaan suuttimiin sitä ei ole mahdollista tehdä ja totesin myös, että kanavaosiin sitä ei ole välttämättä tarpeellista tehdä. Laskin kulut kustannussäästöjen toivossa ja selvitin, olisiko kanavistoissa mahdollista käyttää ohuempaa materiaalia. Totesin kuitenkin siihen jo olemassa olevien ohjeiden pitävän paikkaansa eikä ohuemman materiaalin käyttö ei ole mahdollista laskematta varmuuskerrointa. Säästöjä kuitenkin saavutettiin materiaalin vaihdoksesta vakaammasta ja hal-

vemmasta kilohinnasta johtuen. Valmet oli tilannut vuonna 2016 High intensity -kuivaimen suuttimia ja valmistajalta selvitettiin, että lisäkuluja ei syntynyt tuotetta valmistettaessa. Materiaalista valmistus ja käsittely tapahtuvat samalla tavalla kuin aikaisemmalla-kin materiaalilla.

Yhtenä ongelmana vetokokeita tehdessäni oli se, että en ollut perehtynyt tarpeeksi vaadittuihin standardeihin ja toxauslaitteistoon ennen koekappaleiden valmistusta. Toxausta tehdessä koekappaleet osoittautuivat liian suuriksi eikä tox-liitosta onnistuttu tekemään keskelle koekappaletta. Näiden ongelmien takia vetokokeiden tuloksissa ilmeni jonkin verran epäjohdonmukaisuuksia.

Uudessa materiaalissa ongelmana on lähinnä sen lämmöntuonnista johtuva hauraus ja korroosion kesto. Tässä tapauksessa, jossa ympäristö on lämmin sekä kuivaimessa kulkee kuuma ja kuivailma, ei tästä koidu ongelmia.

Materiaalin vaihdosta saavutetaan hyvät säästöt ja valmistusmenetelmät eivät paljon muutu aikaisemmasta materiaalista.

LÄHTEET

Anttila, S. 1/2012. Ferriittisten ruostumattomien terästen hitsattavuus ja hitsialueen muovattavuus. Viitattu 9.1.2017. http://www.ohutlevy.com/pdf/s18-22severi_anttila.pdf

Anttila, S; Lauhikari, V & Heikkinen, H-P. 1/2013. Hitsaus tekniikka artikkeli. Viitattu 8.12.2016

Anttila, T. 2010. Ferriittisten ruostumattomien terästen hitsauksessa syntyvien mikrorakenteiden vaikutus lämpövyöhykkeen mekaanisiin ominaisuuksiin. Viitattu 10.1.2017 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24967/Anttila_Tuomas.pdf?sequence=1

Aspegren, A; Palosaari, M; Anttila, S & Heikkinen, H-P. 4/2011. Hitsaus tekniikka artikkeli. Viitattu 22.12.2016

Heikkinen, H-P. 2011. Outokumpu Ferriittiset ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Viitattu 9.12.2016 <http://www.tokem.fi/loader.aspx?id=530747f2-c446-4569-ac12-72dca788248d>

Korhonen, S. 2016. Jet-Steel Oy blogi peittauksesta. Viitattu 22.12.2016. <http://jets-teeloy.blogspot.fi/2016/03/peittaus.html>

Kyröläinen, A. & Kauppi, T. 2016, Hitsauksen materiaalioppi osa 1. Orivesi: Oriveden Kirjapaino. Viitattu 15.12.2016

Lukkari, J. 4/2011. Hitsaus tekniikka artikkeli. Viitattu 9.12.2016, 06.02.2017

Lukkari, J; Kyröläinen, A; Kauppi, T. 2016, Hitsauksen materiaalioppi osa 2. Orivesi: Oriveden Kirjapaino. Viitattu 15.12.2016 ; 21.12.2016

Matilainen, J; Parviainen, M; Havas, T; Hiitela, E; Hultin, S. 6/2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy. Viitattu 4.1.2017, 9.1.2017

Outokumpu 2016. Ruostumattoman teräksen muistiinpanolehti. Viitattu 8.12.2016 http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Outokumpu-Moda-range-stainless-steel-datasheet.pdf?_ga=1.215695763.524577920.1476686247

Outokumpu 5/2016. Ferriittisten ruostumattoman terästen käyttökohteita. Viitattu 15.12.2016 <http://www.tokem.fi/loader.aspx?id=96e201f7-c250-45ef-9c0e-fa9e871fd19c>

Outokumpu, Ferriittiset teräkset, 2012. Viitattu 9.1.2017. [http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Ferritic Stainless Steel 1.4003 1.4512 1.4016 1.4510 1.4509 1.4521 Datasheet.pdf](http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Ferritic%20Stainless%20Steel%201.4003%201.4512%201.4016%201.4510%201.4509%201.4521%20Datasheet.pdf)

Outokumpu. 2010. Welding Handbook. Viitattu 10.1.2017

Pettersson, H. 2002 Ruostumattomien teräksien korroosio paperikoneympäristössä. PDF. Viitattu 16.12.2016

Scielo 2016 kotisivut, Viitattu 10.1.2017 <http://www.scielo.br/img/revistas/si/v14n3/a07fig10.gif>

Sorsa, J. 1.Painos 2015. Materiaalitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy. Viitattu 15.12.2016

Stainless-lintels, kotisivut 2016. Viitattu 10.1.2017 http://www.stainless-lintels.co.uk/ldx2101_cat/LDX2101_cat_low%2090_91.pdf

Stainless-Lintels. Ruostumattomien teräksien arvoja. Viitattu 20.12.2016 http://www.stainless-lintels.co.uk/ldx2101_cat/LDX2101_cat_low%2091.pdf

Tox Pressotechnic, laitevalmistajan pdf esitys. Viitattu 23.01.2017 https://www.tox-de.com/assets/countries/EN/pdf/TOX_Joining_Systems_80_en.pdf

Tox Pressotechnik 2016. Kotisivut. Viitattu 22.12.2016. <https://www.tox-us.com/applications/clinchng/overview/>

Valmet Oyj 2016. kotisivut. <http://www.valmet.com/products/board-and-paper-mills/coating-drying/air-dryers/>. Viitattu 15.12.2016

Valtanen, E. 14.Painos 2007. Tekniikan Taulukkokirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. Viitattu 20.12.2016

Valtanen, E. 2007. Tekniikantaulukkokirja. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy. Viitattu 10.1.2017

Liite 1



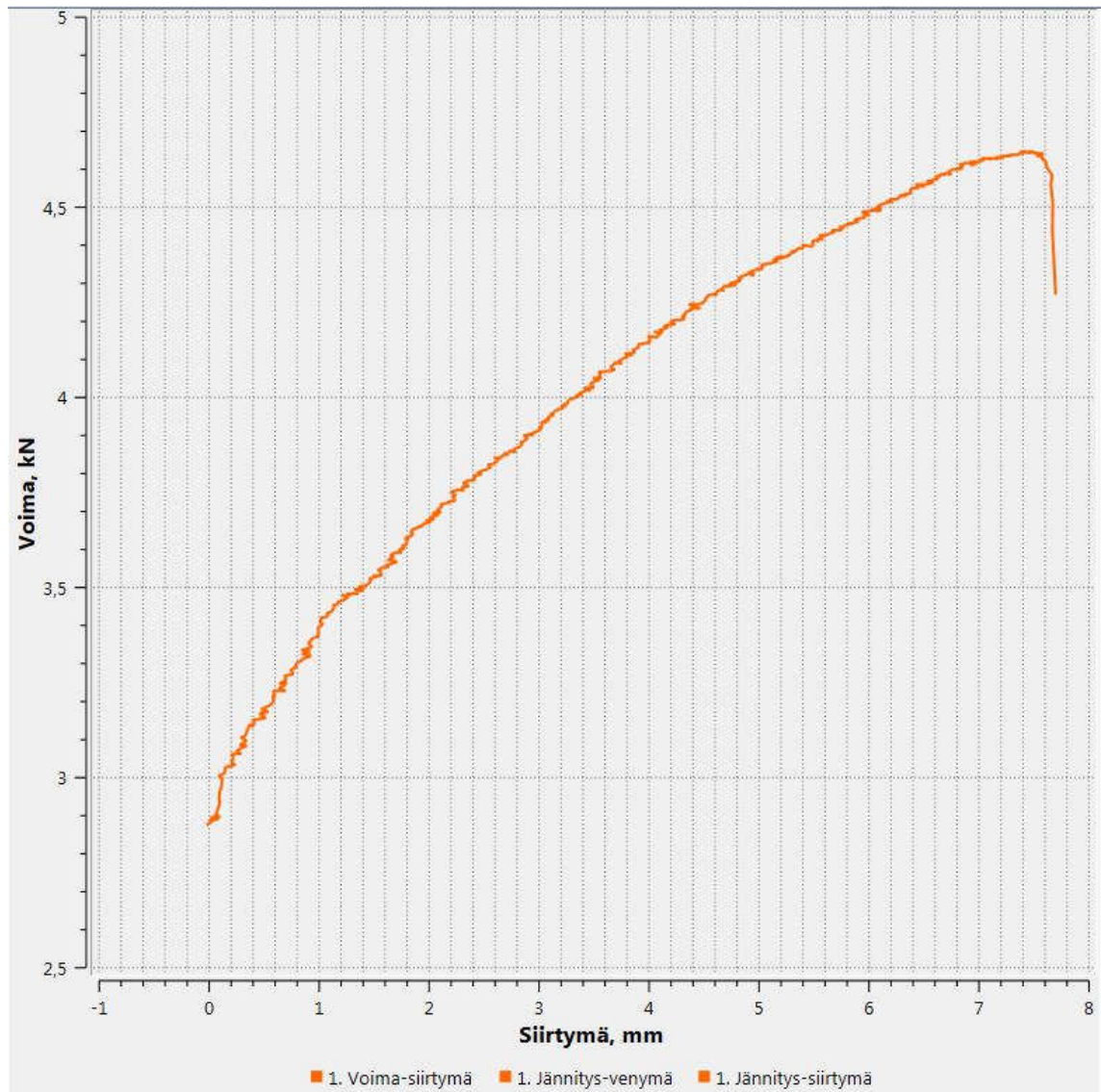
Kuukausikohtaiset seosainelisät litteille tuotteille

Kuukausikohtaiset seosainelisät Tammikuu 2017

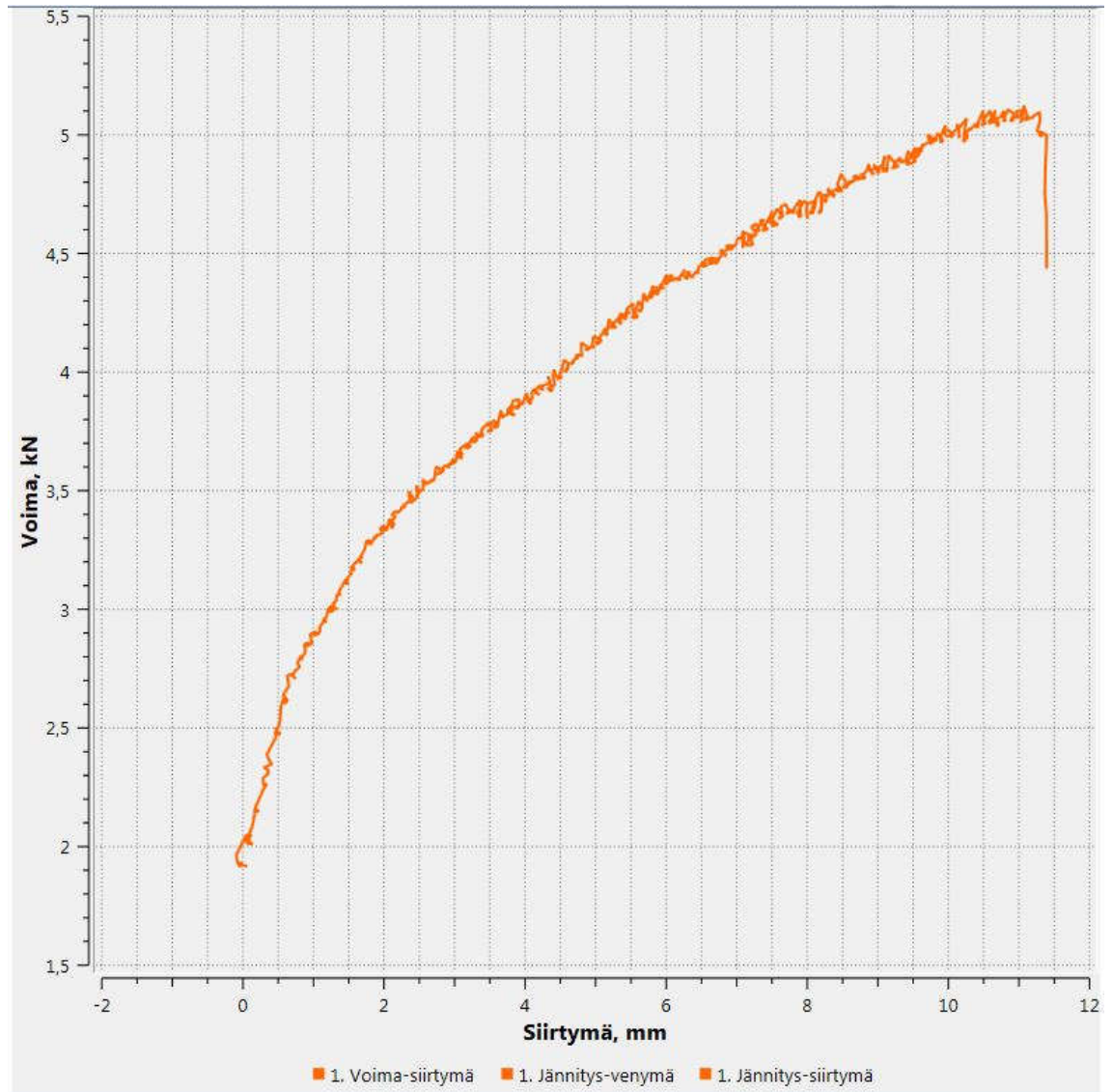
| Standardivastaavuus | | | Valuutta / tonnia | | | | | | | | | Päivitetty: 2016-12-21 | |
|---------------------|--------|--------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------------------|--|
| Outokumpu | EN | ASTM | EUR | GBP | USD | SEK | NOK | DKK | CZK | PLN | HUF | RUB | |
| Moda | | | | | | | | | | | | | |
| Moda 410L/4003 | 1.4003 | 410L | 527 | 446 | 549 | 5147 | 4753 | 3917 | 14237 | 2339 | 164432 | 35341 | |
| Moda 430/4016 | 1.4016 | 430 | 624 | 528 | 647 | 6096 | 5630 | 4639 | 16864 | 2770 | 194767 | 41836 | |
| Moda 439/4510 | 1.4510 | 439 | 627 | 530 | 651 | 6128 | 5660 | 4664 | 16954 | 2785 | 195811 | 42059 | |
| Moda 409/4512 | 1.4512 | 409 | 507 | 429 | 528 | 4958 | 4579 | 3773 | 13716 | 2253 | 158406 | 34037 | |
| Moda 430Ti/4520 | 1.4520 | | 632 | 535 | 657 | 6177 | 5705 | 4701 | 17088 | 2807 | 197363 | 42399 | |
| Moda 4589 | 1.4589 | | 729 | 617 | 762 | 7124 | 6580 | 5422 | 19708 | 3238 | 227609 | 48929 | |
| Core | | | | | | | | | | | | | |
| Core 304/4301 | 1.4301 | 304 | 1340 | 1134 | 1410 | 13100 | 12099 | 9970 | 36239 | 5953 | 418504 | 90032 | |
| Core 305/4303 | 1.4303 | 305 | 1619 | 1370 | 1707 | 15823 | 14614 | 12043 | 43774 | 7192 | 505514 | 108775 | |
| Core 304L/4306 | 1.4306 | 304L | 1460 | 1235 | 1537 | 14267 | 13177 | 10858 | 39468 | 6484 | 455794 | 98065 | |
| Core 304L/4307 | 1.4307 | 304L | 1340 | 1134 | 1410 | 13100 | 12099 | 9970 | 36239 | 5953 | 418504 | 90032 | |
| Core 301/4310 | 1.4310 | 301 | 1261 | 1067 | 1326 | 12323 | 11381 | 9379 | 34090 | 5600 | 393693 | 84687 | |
| Core 441/4509 | 1.4509 | 441 | 742 | 628 | 773 | 7256 | 6702 | 5522 | 20073 | 3298 | 231834 | 49819 | |
| Core 321/4541 | 1.4541 | 321 | 1459 | 1234 | 1537 | 14259 | 13170 | 10852 | 39447 | 6480 | 455542 | 98010 | |
| Supra | | | | | | | | | | | | | |
| Supra 316/4401 | 1.4401 | 316 | 1873 | 1585 | 1974 | 18307 | 16908 | 13933 | 50645 | 8320 | 584877 | 125844 | |
| Supra 316L/4404 | 1.4404 | 316L | 1873 | 1585 | 1974 | 18307 | 16908 | 13933 | 50645 | 8320 | 584877 | 125844 | |
| Supra 316L/4432 | 1.4432 | 316L | 2000 | 1693 | 2109 | 19550 | 18056 | 14880 | 54086 | 8886 | 624614 | 134398 | |
| Supra 444/4521 | 1.4521 | 444 | 973 | 823 | 1016 | 9510 | 8783 | 7238 | 26309 | 4322 | 303857 | 65311 | |
| Supra 316Ti/4571 | 1.4571 | 316Ti | 1899 | 1606 | 2002 | 18555 | 17137 | 14122 | 51332 | 8433 | 592813 | 127553 | |
| Forta | | | | | | | | | | | | | |
| Forta LDX 2101 | 1.4162 | S32101 | 922 | 780 | 960 | 9011 | 8323 | 6858 | 24929 | 4095 | 287928 | 61866 | |
| Forta DX 2304 | 1.4362 | S32304 | 1225 | 1036 | 1282 | 11972 | 11057 | 9111 | 33119 | 5441 | 382498 | 82232 | |
| Forta DX 2205 | 1.4462 | S32205 | 1594 | 1349 | 1672 | 15579 | 14388 | 11857 | 43099 | 7081 | 497776 | 107034 | |
| Dura | | | | | | | | | | | | | |
| Dura 420/4021 | 1.4021 | 420 | 518 | 439 | 539 | 5066 | 4679 | 3856 | 14016 | 2302 | 161871 | 34780 | |
| Dura 420/4034 | 1.4034 | 420 | 518 | 439 | 539 | 5066 | 4679 | 3856 | 14016 | 2302 | 161871 | 34780 | |
| Therma | | | | | | | | | | | | | |
| Therma 4828 | 1.4828 | | 1701 | 1440 | 1793 | 16629 | 15358 | 12656 | 46002 | 7557 | 531246 | 114305 | |
| Therma 253 MA | 1.4835 | S30815 | 1563 | 1323 | 1645 | 15277 | 14110 | 11627 | 42263 | 6943 | 488077 | 105000 | |
| Therma 314/4841 | 1.4841 | 314 | 2446 | 2069 | 2581 | 23900 | 22074 | 18190 | 66118 | 10862 | 763546 | 164308 | |

Taulukko 22. Outokumpun materiaalin seosainehinnasto.

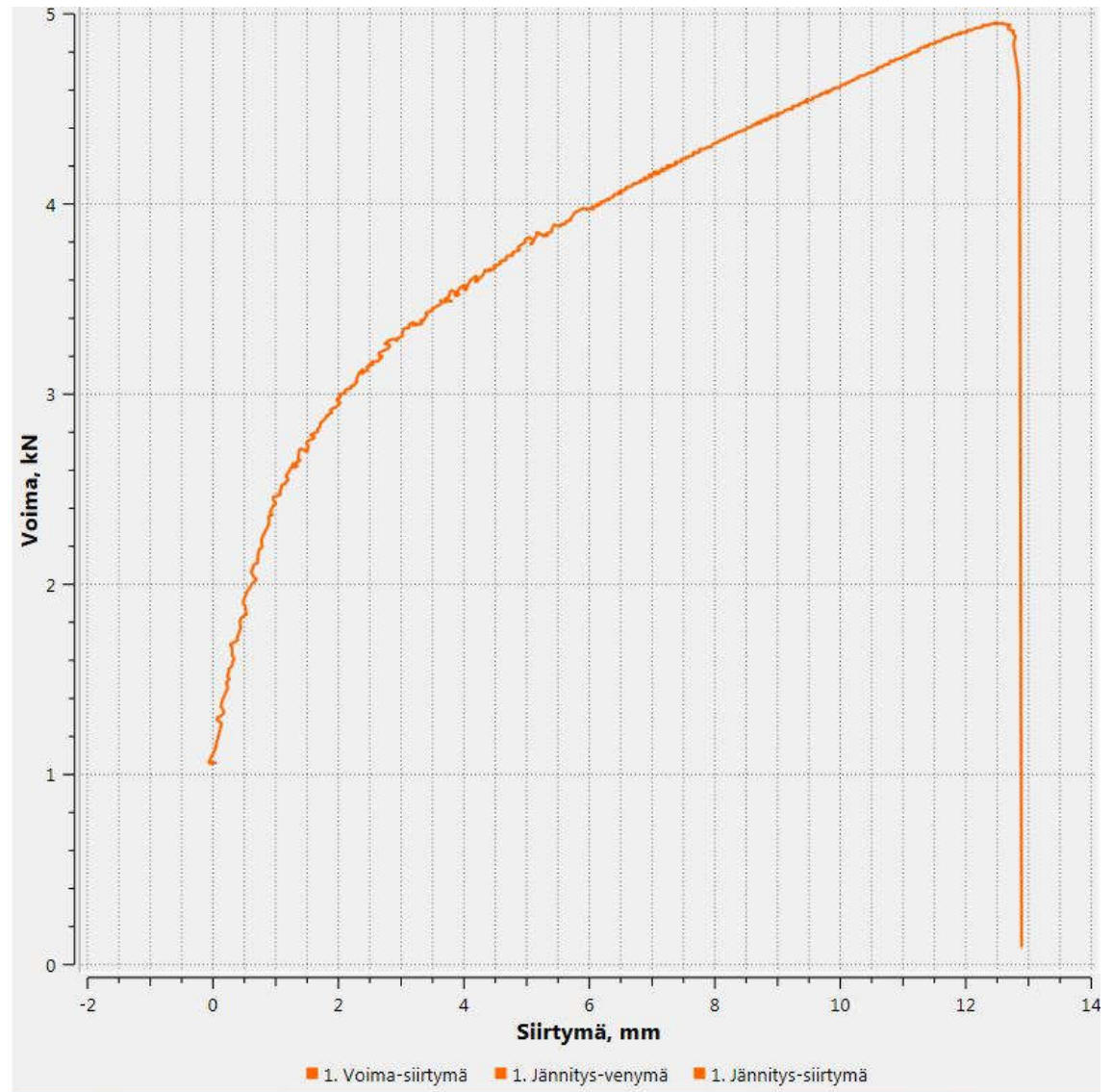
Liite 2



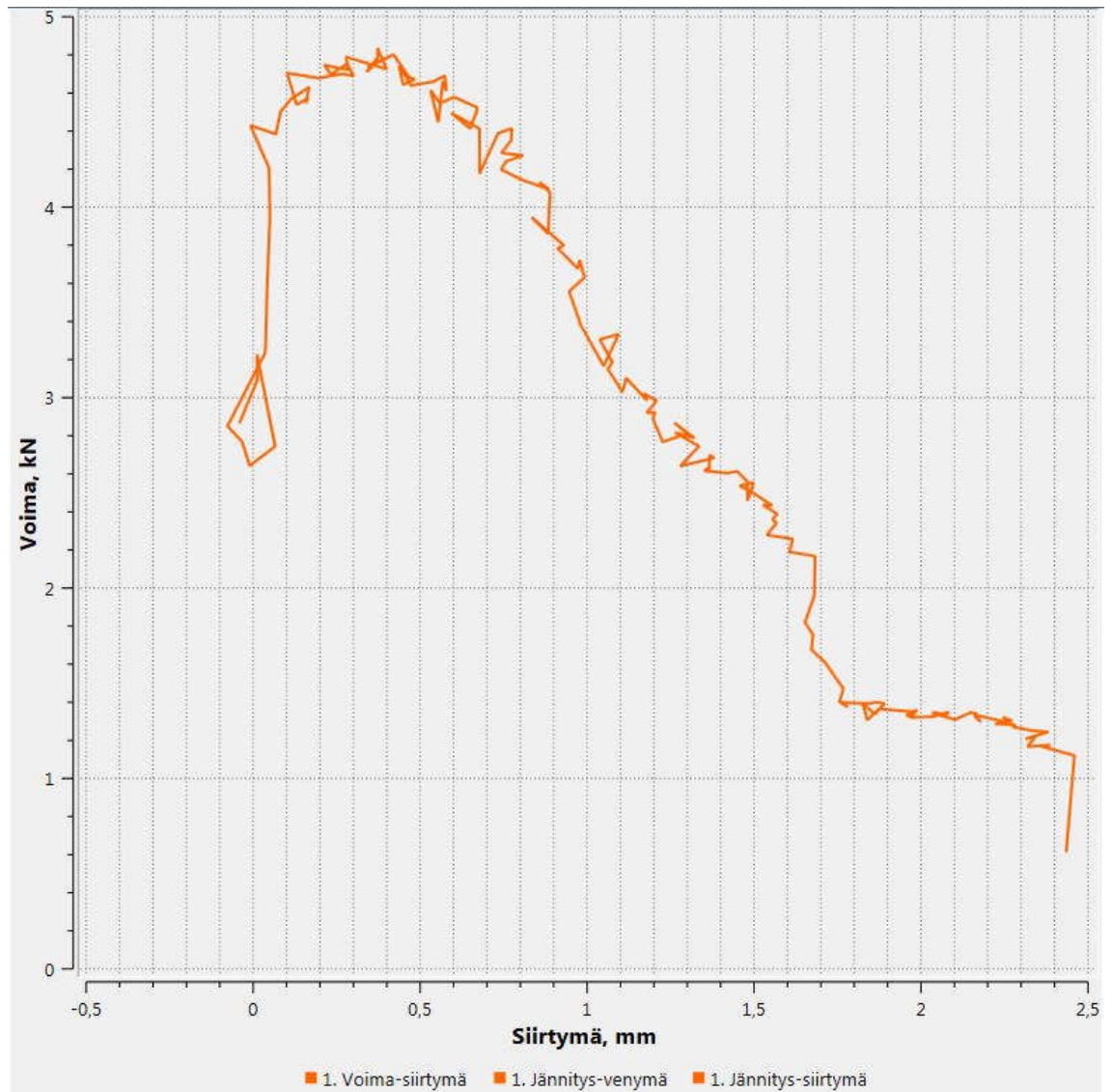
Kuvio 3. Ristivetokokeen koekappale 1 tulos.



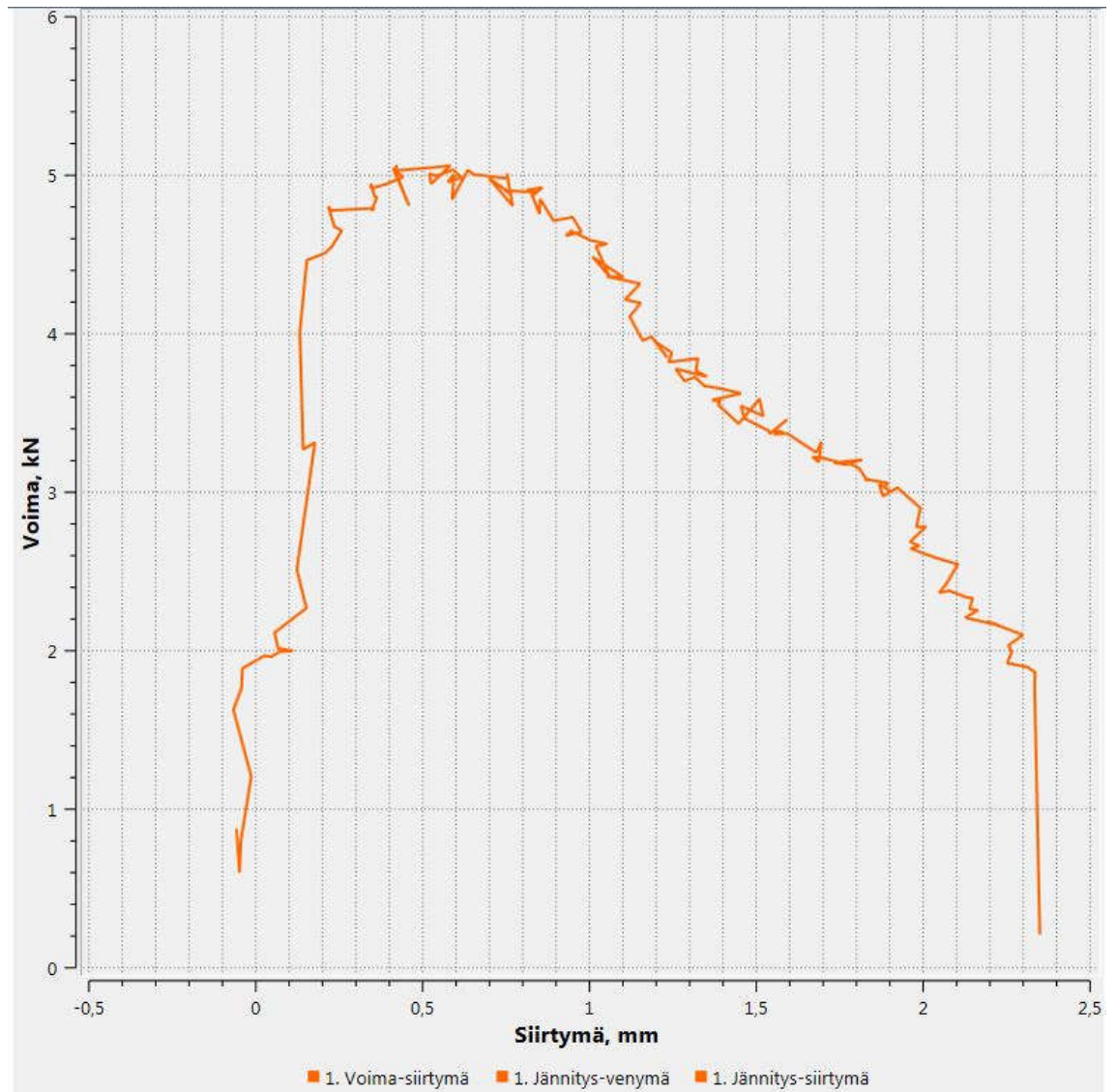
Kuvio 4. Ristivetokokeen koekappale 2 tulos.



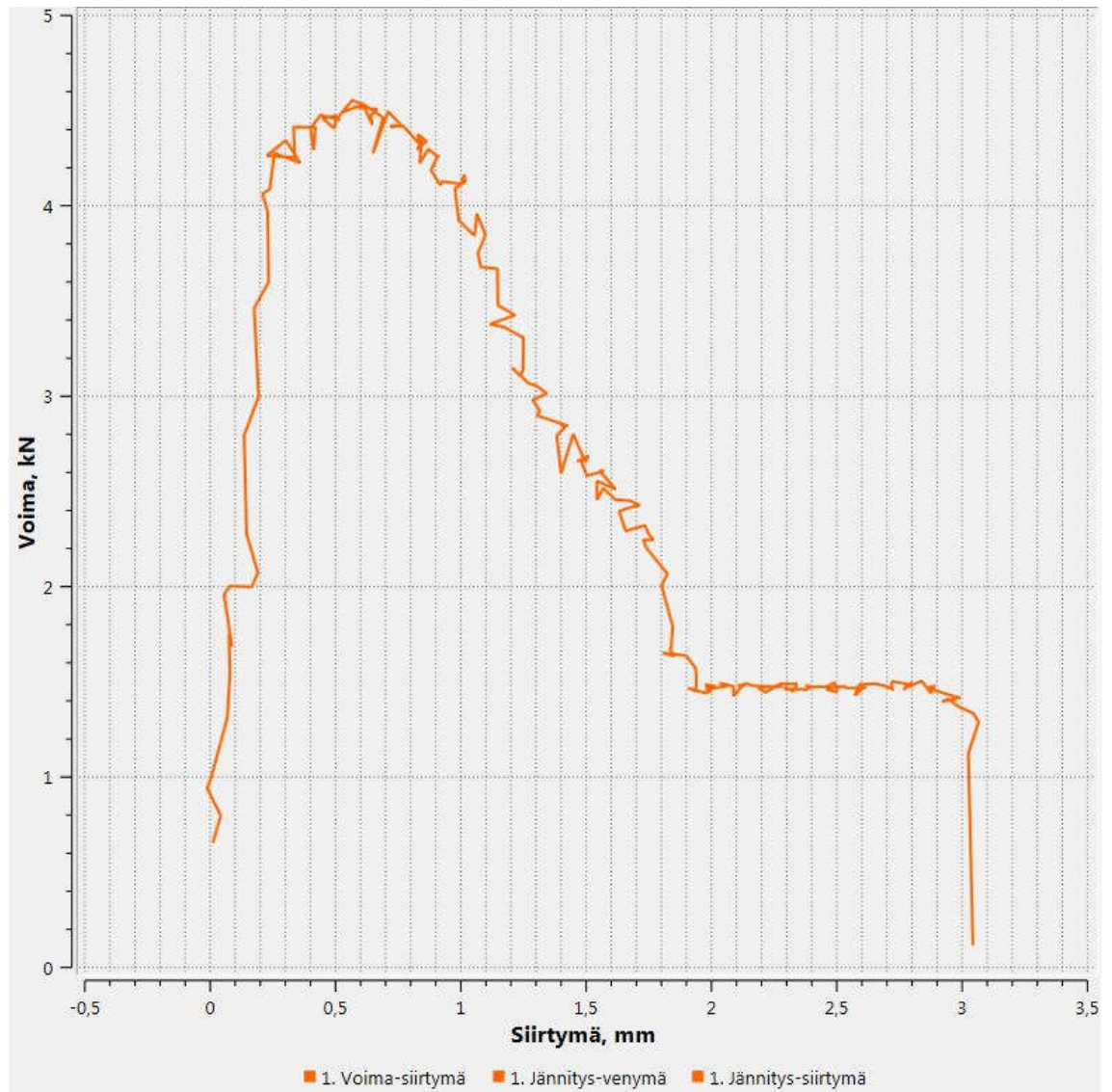
Kuvio 5. Ristivetokokeen koekappale 3 tulos.



Kuvio 6. Leikkausvetokokeen koekappale 4 tulos.

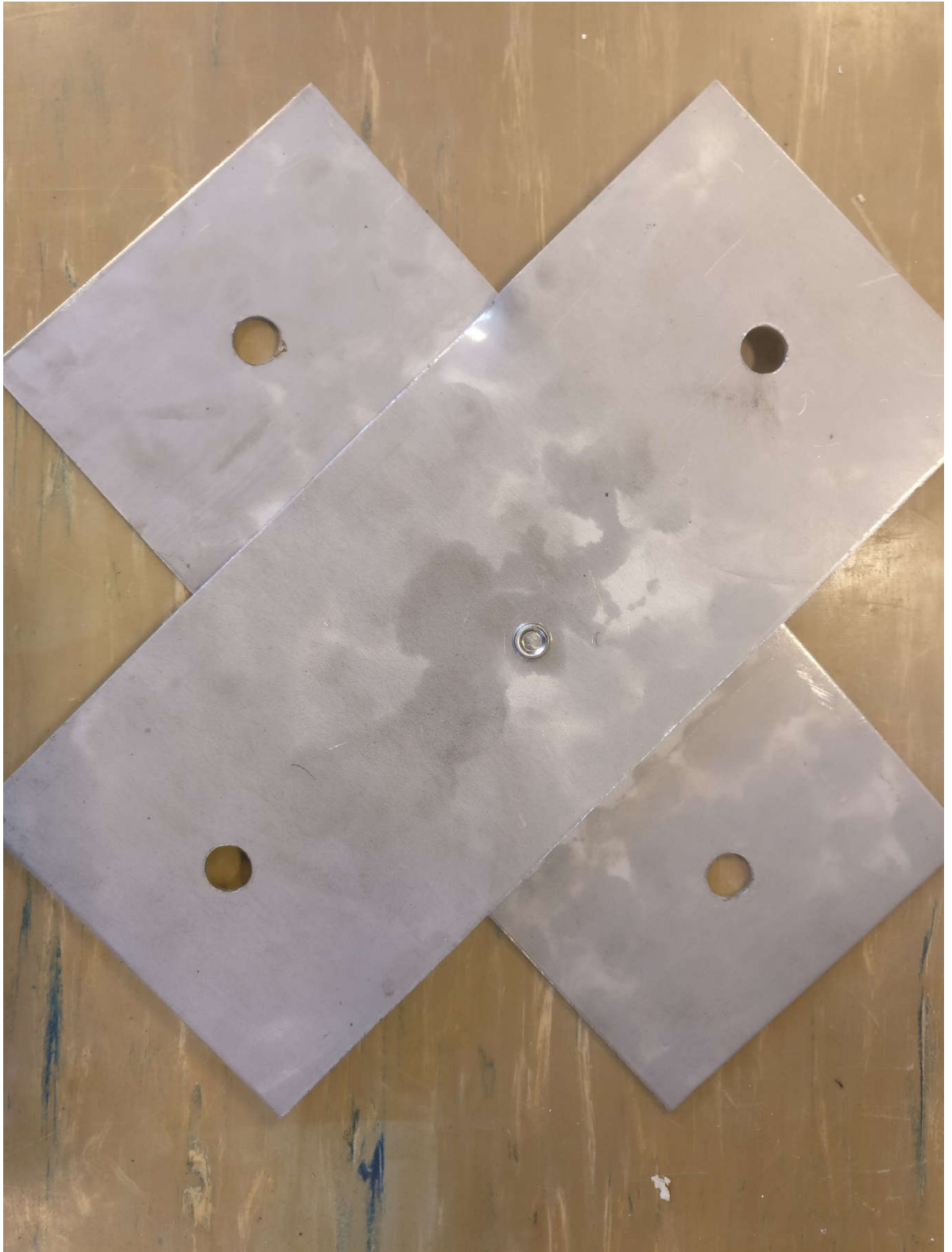


Kuvio 7. Leikkausvetokokeen koekappale 5 tulos.



Kuvio 8. Leikkausvetokokeen koekappale 6 tulos.

Liite 3



Kuva 20. Ristivetokokeen vetokappale liitettynä.



Kuva 21. Ristivetokokeen koekappale vetokokeen jälkeen.



Kuva 22. Leikkausvetokokeen koekappaleet ennen ja jälkeen vetokoetta.