

# MDF-PUUVALMIIN KALUS- TEOVEN TASOHIOMINEN

Leveänauhahiomakoneella

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Niklas Heiska	
Työn nimi MDF-puuvalmiin kalusteoven tasohiominen leveänauhahiomakoneella	
Päiväys 18.4.2013	Sivumäärä/Liitteet 66/2
Ohjaaja(t) päätoiminen tuntiopettaja Risto Pitkänen, projekti-insinööri Kalle Kiviranta	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Mellano Oy, kehitysinsinööri Tomi Rissanen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö on tehty Mellano Oy:n Lapinlahden tehtaalle. Työn keskeisimpiä tavoitteita oli kuvata uuden pintakäsittelylinjan hiontaprosessi ja mitata sen nykytila, sekä löytää ne hionnassa vaikuttavat tekijät, joilla on suurin merkitys pinnankarheuden muodostamisessa. Työssä on sovellettu Six Sigma johtamis- ja laatumenetelmiä ja käytetty apuna Minitab tilastollista tietokoneohjelmaa.</p> <p>Tutkimus tehtiin kolmessa vaiheessa. Ensin kuvattiin hiontaprosessi ja mitattiin sen nykytila eli mitattiin kuinka prosessi muuttaa MDF-levyn pinnankarheutta. Hiontaprosessin pinnankarheusmittaukset suoritettiin kolmessa vaiheessa, ensin puuvalmiista kappaleesta, sitten ensimmäisen hiontaprosessin jälkeen ja lopuksi toisen hiontaprosessin jälkeen. Toisessa vaiheessa tutkittiin, miten hiominen kahdella eri karheudella heijastuu eri mittareihin. Mittaukset perustuivat painoon, paksuuteen, kostuvuuteen ja absorptioon, sekä virrankulutukseen. Lisäksi arvioitiin mittareiden toimivuutta ja luotettavuutta. Kolmantena ja viimeisenä vaiheena suunniteltiin ja ajettiin Taguchi-koe, jossa testattiin eri tuotantoparametrien vaikutusta pinnankarheuteen ja ennen kaikkea pinnankarheuden hajontaan. Koesuunnitelma ja tilastolliset analyysit tehtiin Minitab-ohjelmalla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville kuinka nykyinen hiontaprosessi muuttaa MDF-levyn pinnankarheutta ja miten hiominen käyttämällä kahta eri karheutta heijastuu eri mittareihin, sekä miten luotettavaa dataa mittarit antavat. Tulokset kertovat eri hiontaparametrien merkityksen ja vaikutuksen MDF-Levyn pinnankarheuteen.</p>	
Avainsanat Six Sigma, Minitab, Hionta, MDF, Pinnankarheus	
Osittain salainen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Wood Technology			
Author(s) Niklas Heiska			
Title of Thesis Plane Sanding of MDF Furniture Doors with Wide Belt Sanding Machine			
Date	18 April 2013	Pages/Appendices	66/2
Supervisor(s) Mr Risto Pitkänen, Full-Time Teacher; Mr Kalle Kiviranta, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Mellano Oy, Mr Tomi Rissanen, Development Engineer			
<p><b>Abstract</b></p> <p>This final year project was made for Mellano Oy's Lapinlahti Production plant. The fundamental aim of this project was to describe and measure the sanding process as well as to find the main factors that affect surface roughness. The project was carried out using Minitab statistical software and applying six sigma's new generation lead and quality methods.</p> <p>The final year project was executed in three stages. Firstly, the sanding process was described and the present state of the process was measured in three steps. First without sanding, then sanding with first sanding process and finally with second sanding process. The measures tell how the sanding process affects the surface roughness of the MDF plates. At the second stage, the effect of sanding with two different roughnesses was studied with different measurement systems. Measurements were based on weight, thickness, wettability, absorption and current consumption. Also the measurement systems were estimated. Thirdly and finally, the Taguchi design of the experiment was planned and executed, where the effects of different production parameters were measured with respect to the surface roughness and especially surface variance. The design of the experiment and statistical analysis were made by Minitab software.</p> <p>As a result, it was found out how the sanding process effects the surface roughness of MDF plates and how sanding with two different roughnesses reflects in different measurement systems as well as how reliable data the measure systems give. The results tell the significance of different sanding parameters and how they affect the surface roughness of MDF plates.</p>			
Keywords Six sigma, Minitab, Sanding, MDF, Surface roughness			
Partly secret			

## MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET

SPC	Tilastollinen prosessin ohjaus (Statistical Process Control)
$R_a$	Pinnankarheuden aritmeettinen keskiarvo [ $\mu\text{m}$ ]
$R_t$	Pinnankarheuden arvo, perustuu mittausalueella olevien huipujen ja laaksojen maksimietäisyyksiin [ $\mu\text{m}$ ]
$R_p$	Pinnankarheuden arvo, korkeimman huipun etäisyys keskilinjasta [ $\mu\text{m}$ ]
$R_q$	$R_a$ -arvoa vastaava RMS-arvo, funktion $z$ neliön juuri [ $\mu\text{m}$ ] $R_v$ pinnankarheuden arvo, matalimman laakson etäisyys keskilinjasta [ $\mu\text{m}$ ]
$R_y$	Pinnankarheuden arvo, maksimiprofiilinsyvyys [ $\mu\text{m}$ ]
$R_z$	Pinnankarheuden arvo, matalimman laakson etäisyys korkeimmasta huipusta [ $\mu\text{m}$ ]

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tausta ja tavoitteet .....	8
1.2	Yritys .....	8
2	SIX SIGMA .....	10
2.1	Toteutus .....	11
2.2	Vaiheet .....	12
2.2.1	Määrittely .....	12
2.2.2	Mittaus .....	13
2.2.3	Analysointi .....	13
2.2.4	Parannus .....	13
2.2.5	Ohjaus .....	14
2.3	Työkalut .....	14
2.3.1	Ohjauskortit SPC .....	15
2.3.2	Koesuunnittelu .....	16
2.3.3	Luotettavuuden määritteleminen (Gage R&R) .....	17
2.4	Ohjelmat .....	18
2.4.1	Minitab .....	18
2.4.2	Quality companion 3 .....	19
3	HIONTA .....	20
3.1	Hiomanauha .....	20
3.1.1	Taustamateriaali .....	21
3.1.2	Hiomajyväset .....	22
3.1.3	Lisäkäsittelyt .....	24
3.1.4	Kiinnitystavat .....	24
3.1.5	Sidosaineet .....	25
3.2	Hiontamenetelmät ja laitteet .....	25
3.2.1	Käsihionta .....	25
3.2.2	Leveänauhahiomakone .....	26
3.2.3	Harjahiomakone .....	29

3.2.4 Profiilihiomakone .....	29
3.3 Hiomatavat .....	30
3.3.1 Kalibrointi- ja poistohionta .....	30
3.3.2 Puunhionta .....	30
3.3.3 Välihionta .....	30
3.4 Hiontavirheet .....	31
3.5 Hiomanauhan kuluminen .....	31
4 PINNANLAADUN MITTAAMINEN JA MITTAUKSEN LUOTETTAVUUS .....	33
4.1 Pinnankarheus .....	33
4.1.1 Mekaaninen mittaus .....	34
4.1.2 Optinen mittaus .....	35
4.2 Surftest SJ-201 P .....	36
5 PINTAKÄSITTELYLINJA PROSESSIN VAIHEET .....	37
5.1 Pintakäsittelylinja .....	37
5.1.1 Hiontaprosessi .....	38
5.1.2 Hiontaprosessin nykytilanne .....	38
5.1.3 Maalaus ja kuivaus .....	41
6 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN .....	42
6.1 Koekappaleet .....	42
6.2 Mittaukset .....	42
6.2.1 Pinnankarheus .....	43
6.2.2 Paino .....	44
6.2.3 Paksuus .....	45
6.2.4 Absorptio .....	46
6.2.5 Kostuvuus .....	47
6.2.6 Virrankulutus .....	47
6.2.7 Visuaalinen pinnanlaatu .....	48
6.3 Mittalaitteen luotettavuuden selvittäminen (Gage R&R) .....	48
6.4 Mittaus tulokset .....	51
6.5 Mittalaitteiden analysointi .....	55
6.5.1 Pinnankarheus .....	55

6.5.2 Paino .....	55
6.5.3 Paksuus .....	56
6.5.4 Absorptio .....	56
6.5.5 Kostuvuus .....	56
6.5.6 Visuaalinen tarkastelu .....	56
7 KOESUUNNITTELU .....	57
7.1 Muuttujien selvitys.....	57
7.2 Menetelmän valinta.....	58
7.3 Taguchi-kokeen suorittaminen .....	59
7.4 Analysointi .....	60
7.5 Konfirmaatio ja optimointi .....	63
8 TULOSTEN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	64
LÄHTEET .....	65
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tausta ja tavoitteet

MDF-levy on pinnasta tiheämpää kuin keskeltä. Levyn rikottu pinta aiheuttaa kuidun nousua, joka tuntuu pintakäsittelyn jälkeen pinnankarheutena. Kuidun nousun vähentäminen mahdollistaisi helpomman pintakäsittelyn varsinkin, jos käytettävissä on vesiohenteiset pintakäsittelyaineet. Pinnankarheuden täytyy olla pohjamaalaukseen mentäessä riittävän pieni, jotta välihionnassa ei hiota pohjamaalattua kalvoa puhki. Puhki hiottu kalvo aiheuttaa lisää kuidun nousua, mikä tuntuu taas seuraavassa pintakäsittelykerroksessa.

Tämän opinnäytetyöntyön tarkoituksena on tutkia hiontaprosessia ja hionnassa vaikuttavia tekijöistä, sekä etsiä eri mittareita joilla hiontaa pystytään mittaamaan. Työssä kuvataan Mellanon Lapinlahden tehtaan uuden pintakäsittelylinjan hiontaprosessi ja mitataan sen nykytila. Tehdään koesuunnitelma vanhalle pintakäsittelylinjalle, jossa muutetaan hiontaparametreja, sekä etsitään eri mittaustapoja hionnan havainnollistamiseen. Työssä edetään Six Sigma vaiheiden mukaan ja käytetään eri työkaluja ja menetelmiä ongelmien ratkaisemiseksi. Tavoitteena tutkia kuinka uuden pintakäsittelylinjan hiontaprosessi muuttaa MDF-puuvالميin kalusteoven pinnankarheutta ja löytää ne parametrit joilla on suurin vaikutus hionnan pinnankarheuden hajontaan, sekä testata että analysoida eri mittaustapoja jolla hionnan vaikutusta pystytään tutkimaan.

### 1.2 Yritys

Mellano Oy on yksi PRT-Forest konsernin seitsemästä tytäryhtiöstä. PRT-Forest Oy on erikoistunut mekaaniseen puunjalostukseen. Konsernin toimialoja ovat puutalo-, hirsitalo-, kaluste-, ikkuna-, liimapuu- ja sahateollisuus. Mellano Oy liitettiin tytäryhtiöön vuonna 1992. (PRT-Forest.)

Mellano Oy valmistaa kodin kiintokalustekomponentteja ja on yksi Suomen johtavista valmistajista. Yrityksellä on toimipisteet Lapinlahdella ja Pieksämäellä. Pieksämäen tehdas valmistaa kalusterunkoja, kalvo-ovia, tasoja ja liukukaapin ovia. Lapinlahden tehdas valmistaa maalattuja MDF-Kalusteovia. (Konserniesite. 2011.)



Tunnuslukuja 2011 (Vuosikertomus. 2011):

Toimitusjohtaja:	Janne Lehtonen
Liikevaihto:	14,509 Milj. euroa
Liikevaihdon muutos:	22 %
Osuus konsernin bruttoliikevaihdesta:	9 %
Liikevoitto:	0,700 Milj. euroa
Investoinnit:	0,977 Milj. euroa
Sijoitetun pääoman tuottoaste:	11 %
Henkilöstö keskimäärin:	138

Yrityksessä käytetään Six Sigma liiketoiminnan kehittämisideoita ja menetelmiä. Tuotanto on imuohjattua ja sitä seurataan tilastollisella prosessin ohjauksella.

## 2 SIX SIGMA

*Six Sigma on uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä, joka jatkaa ja syventää W. E. Demingin luomaa pitkää perinnettä (TQM). Six Sigma integroi yhteen liiketoiminnantuloksen, tuotteen sekä tuotanto- ja palveluprosessit. Six Sigmassa hyödynnetään voimakkaasti nykyaikaista tietoteknologiaa ja tilastollisia ohjelmistoja. Tämä antaa uusia mahdollisuuksia ja ulottuvuuksia liiketoiminnan parantamiseen ja laatuongelman ratkaisuun. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 7.)*

Six Sigmaa on mahdollista soveltaa yhtä hyvin teollisten liiketoimintaprosessien, kuin tuotantoprosessienkin parantamiseen. Se sopii yhtä hyvin palvelu- ja hallintoprosesseihin riippumatta siitä onko tarkoituksena tehdä liiketulosta vai ei. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 31.)

Six Sigmalla vaikutetaan neljälle osa-alueelle.

- 1) Parannetaan asiakastytyväisyyttä.
- 2) Lyhennetään läpimenoaikoja.
- 3) Vähennetään vikoja.
- 4) Vähennetään ei-jalostusarvoa lisäävän työn määrää.

Näitä osa-alueita muuttamalla voidaan lisätä dramaattisesti liiketoiminnan tulosta, sekä muuttaminen mahdollistaa myös uusien asiakkaiden saamisen uusilta markkinoilta. Parannukset näkyvät hyvin useissa mittareissa, joita nimitetään kreikkalaiseksi sigmaiksi. Sigma kuvaa tilastomatemastaattista standardipoikkeamaa tilastollisin termein. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 17–18.)

*”Six Sigmalla on tarkoituksena vaihtelun pienentäminen, jotta saavutetaan mahdollisimman pieni standardipoikkeama”. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 18.)*

Tämä tarkoittaa, että saadaan lähes kaikki tuotteet tai palvelut vastaamaan asiakkaan odotuksia. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 18).

Six Sigma on mitta jolla vertaillaan prosessien, tuotteiden, palvelujen ominaisuuksien, laitteiden, koneiden, osastojen ja yritysten laatutasoa toisiinsa. Six Sigma on myös suorituskyytavoite, joka tarkoittaa että jokaista miljoonaa virhemahdollisuutta kohden syntyy 3,4 virhettä. Sen sijaan, että laatua mitattaisiin virheprosentteina tai miljoonasosina, lasketaan se sigmoissa. Six Sigma on filosofia, jossa keskeinen sanoma on jatkuva tiedon, laadun ja suorituskyyvyn parannus. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 19.)

Kolmen sigman tasolla toimiessa puolet kymmenosaisesta tai -vaiheisesta tuotteesta tai palvelusta onnistuisi kerralla. Jos katsotaan tuhat osasen tai vaiheiden tuotteen

tai palvelujen onnistumista, lähes jokaista tuotetta joudutaan kolmen sigman laatutallalla korjaamaan useaan kertaan. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 19.)

Six Sigmassa lasketaan jokaiselle kriittiselle tuote- ja palveluominaisuudelle sigma-arvot suorituskyyvaatimustasoa vastaan. Vaatimustason eli spesifikaation asettaa asiakas, tuottaja tai molemmat. Vaatimustasoa ei ole aina selkeästi ilmaistu, mutta vaatimustasot ovat aina määritettävissä ja näin voidaan laskea tuotteelle ja palvelulle sigma-taso ja käynnistää suorituskyyvyn parannus. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 23.)

Six Sigma on kestävän kehityksen strategia, jossa liiketoiminnan tulosta kasvatetaan vähemmillä resursseilla. Six Sigma perustuu virheiden väliseen keskinäisvaikutukseen niin tuotteiden ja palveluiden suunnittelussa, valmistuksessa, tuotetun tuotteen laadussa, luotettavuudessa, läpimenoajassa, varastoissa, kuin uusinta ja korjaustöissäkin. Six Sigma tarjoaa työkalut kyyvkkyyden parantamiseen, jotta voidaan samalla alentaa kustannuksia kuin laatu paranee. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 23.)

Six Sigma pohjautuu kolmeen voimavaraan ja energiaan (Karjalainen & Karjalainen 2002, 24):

- 1) Ihmisen luovuuteen, sekä kyyvyn keksiä uusia teorioita ja testata niitä.
- 2) Jokaisen prosessin kyyvyn synnyttää sen itsensä parantamiseen tarvittavaa informaatiota.
- 3) Jaksoiseen ja vaihettavaan parannusmetodiikkaan.

## 2.1 Toteutus

Six Sigma täytyy olla toteutettu ja suunniteltu määrätietoisesti, jotta menetelmän edut olisivat maksimaaliset. Organisoinnin ja eri vaiheiden täytyy liittyä toisiinsa saumattomasti. Six Sigma vaatii koulutetun organisaation, jossa jokaisella on oma roolinsa ja tehtävänsä (taulukko 1). (Karjalainen & Karjalainen 2002, 68.)

Taulukko 1. Henkilöstön roolit ja tehtävät (Karjalainen & Karjalainen 2002, 69)

Rooli	Tehtävä
Champion	Määrittelee projektin
Master Black Belt	Ohjaa Six Sigma ryhmiä
Black Belt	Kokopäiväinen ongelmanratkaisija, johtaa ratkaisuryhmää
Green Belt	Tiimin jäsen

## 2.2 Vaiheet

Yritysten toiminta on erilaista, joten on mahdotonta kertoa miten yrityksen tulisi aloittaa Six Sigman toteuttaminen. Six Sigman toteuttamiseen on olemassa kolme vaihtoehtoa, näillä vaihtoehtojilla määritetään Six Sigman laajuus ja syvyys. Yksi tapa on lähestyä ongelmaa koko liiketoiminnan muutoksen kautta. Toinen tapa on valita jokin liiketoiminnan tarve ja toteuttaa strateginen parannus. Kolmas tapa on ongelmanratkaisu, joka on näistä lähestymistavoista kevyin ja hyvin verkkainen vaihtoehto. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 57–58.)

Six Sixmassa edetään hyvin loogisesti vaiheittain. Vaiheet muodostavat polun jota kutsutaan Roadmap:ksi. Roadmap muodostuu viidestä eri vaiheesta, jotka muodostavat läpimurtostrategian joilla tavoite saavutetaan. Menetelmä perustuu prosessista tai palvelusta saatuun tietoon ja tilastolliseen ongelmanratkaisumenetelmään, jossa käytetään lukuisia erilaisia tilastollisia työkaluja. Jokaisessa vaiheessa ideat ja tosiasiat vuorottelevat, sekä jokainen vaihe täydentää toinen toisiaan. Jokaisessa vaiheessa saadaan prosessista uutta tietoa ja samalla ongelma-alueet, eli syytekijät supistuvat. Jokaisessa vaiheessa käytössä on lukuisia määriä ongelmanratkaisutyökaluja, joilla tietoa jalostetaan. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 54.)

### 2.2.1 Määrittely

Ensimmäinen vaihe on määrittelyvaihe, jossa kartoitetaan ongelmat ja asiakasvaatimukset. Ongelman ja asiakasvaatimuksen määrittely määrää projektin tarkoituksen ja laajuuden. Määrittelyllä tarkoitetaan oliota, joka virtaa prosessin läpi ja näitä olioita voivat olla

- elävä: työntekijä, asiakas, potilas, eläin
- eloton (esine): dokumentti, osa, yksikkö, moduuli, aine
- abstrakti: sähköposti, puhelut, tilaukset, tarpeet, kauppa.

Tavoitteena on tunnistaa ensisijainen olio, jota aletaan vaiheittain muuttaa. Määrittelyllä ulostulolle vaatimus ja sille hyväksyttävä taso, sekä tehdään datankeräyssuunnitelma. (Karjalainen & karjalainen 2002, 46.)

Määrittelyvaiheen askeleet (Karjalainen 2010)

- luo projekti
- määrittele prosessi
- määrittele asiakkaan vaatimukset
- määrittele avain prosessin ulostulon muuttujat.

## 2.2.2 Mittaus

Toisena on mittausvaihe, jolla aloitetaan varsinainen ongelmanratkaisu. Mittausvaihe voidaan jakaa kolmeen pääkategoriaa (Karjalainen & Karjalainen 2002, 47–48):

- 1) Ulostulo tai seuraus eli prosessin lopputulos: ulostulon mittaus fokusoi välitömiä tuloksia ja seuraukset ovat pidempiaikaisia vaikutuksia.
- 2) Prosessi: asiat jotka voidaan jäljittää ja mitata. Nämä asiat yleensä auttavat tiimiä aloittamaan ongelman syiden havaitsemisen.
- 3) Input: asiat jotka tulevat prosessiin sisään ja muuttavat ulostuloa.

Mittausvaiheen askeleet (Karjalainen 2010)

- ymmärrä prosessi
- arvio prosessin input riskit
- kehitä ja arvio mittaussysteemi
- nykyisen suorituskyvyn mittaus.

## 2.2.3 Analysointi

Kolmannessa vaiheessa etsitään pääsyitä prosessin mittausvaiheessa saadusta tiedosta ja poistetaan suuri osa tekijöistä, jotka olivat ennen analyysia potentiaalisia vaikuttavia tekijäehdokkaita. Käytössä on tilastollisia ja graafisia testejä tekijöiden poistamiseksi. Mikäli ongelma ratkaistaan näillä tiedoilla, voidaan siirtyä suoraan ohjausvaiheeseen, muussa tapauksessa edetään parannusvaiheeseen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 48–50.)

Kuinka erottaa tärkeimmät tekijät muiden joukosta ja saada tekijä muuttumaan niin, että ulostulo  $Y$  muuttuu haluttuun suuntaan, halutun määrän, siten että ratkaisu on käytännön läheinen ja toteutettavissa halvalla. Pitää tunnistaa sellaiset askeleet, jotka lisäävät tuotteen arvoa ja joista asiakas on valmis maksamaan. Pitää välttää arvoa lisäämättömiä askeleita, kuten mm. virheet, valmistelu, tarkastus, kuljetus, odotus, viive. Analysointivaiheen askeleet (Karjalainen 2010.)

- dataa analysoimalla priorisoi avain input muuttujat
- tunnista hukka.

## 2.2.4 Parannus

Neljännessä vaiheessa kokeillaan ja sovelletaan ratkaisuja, joihin mittaus- ja analyysivaiheen tulokset viittasivat. Parannusvaiheen päätyökalu on koesuunnittelu (DoE), jolla pienennetään vaihtelua ja tehdään optimointi. Muodostetaan teoria tekijöistä joiden arvellaan aiheuttavan prosessin vaihtelu.

Muunnetaan teoria tilastolliseksi ongelmaksi ja todistetaan tai hylätään oletamus tilastollisilla testeillä. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 51–52.)

Parannusvaiheen askeleet (Karjalainen 2010)

- varmistetaan Input tekijät
- suunnitellaan parannus
- pilotoidaan uusi prosessi.

### 2.2.5 Ohjaus

Viidennessä ja viimeisessä vaiheessa löydetty ja testatut ratkaisut otetaan käyttöön. Luodaan prosessijohtamisen menetelmät ja laatujohtamismenetelmät, joilla varmennetaan saatujen tulosten pysyvyys. Siirrytään ennaltaehkäisyyn ja proaktiiviseen ohjaukseen, sekä kehitetään suunnitelmat kuinka tuloksia ylläpidetään. Suunnitellaan millaisia menettelyjä, ohjeita ja mittauksia tarvitaan johtamisessa. Six Sigmassa Ohjaukseen ja valvontaan käytetään tilastollista prosessin ohjausta (SPC). (Karjalainen & Karjalainen 2002, 52–53.)

Ohjausvaiheen askeleet (Karjalainen 2010)

- viimeistele ohjaus suunnitelma
- varmenna pitkänajan suorituskyky.

## 2.3 Työkalut

Six Sigma työkalut voidaan jaotella karkeasti viiteen luokkaan (Karjalainen & Karjalainen 2002, 55):

- 1) Ideoiden luontiin ja informaation organisointiin
  - aivoriihi, syyn & seuraus, prosessikartta, FMEA, jne.
- 2) datan keräämiseen
  - näytteenotto, VOC, QFD, MSA, jne.
- 3) prosessin ja datan analysointiin
  - kyvykkyysanalyysi, prosessikaaviot, käyrät ja kuvaajat, jne.
- 4) tilastolliseen analyysiin
  - regressio, anova, multi-vari, koesuunnittelu (DoE, taguchi), jne.
- 5) ratkaisun soveltamiseen ja prosessin johtamiseen.
  - projektin johtamistyökalut, PPA, FMEA, SPC, ISO 9000, jne.

Yksittäin laskettuna Six Sigma–menetelmien ja työkalujen määrä nousee toiselle sadalle. Taulukossa 2 on kuvattu tässä opinnäytetyössä käytetyt työkalut ja menetelmät

Taulukko 2. Projektissa käytetyt työkalut ja menetelmät (Karjalainen & Karjalainen 2002, 92–168)

Nimi	Kuvaus
Histogram	Tehokas graafinen menetelmä datan jakauman kuvaamiseen. Histogrammi on hyvä vasta kun pisteitä yli 30 ja ne esittävät datan muotoa, keskittymistä ja jakaumaa.
BoxPlot	Esittää datan muotoa, keskittymistä ja jakaumaa. Se esittää parhaiten dataa silloin, kun näyte on 10–30 arvoa
Normality test	Datan tulisi seurata suoraa, jos näytedata on normaalin. Piirretyt pisteet, jotka poikkeavat viivoista, viittaavat suureen vinouteen.
Graphical Summary	Graafinen yhteenveto sisältää boxplotin, histogrammin, normaalikäyrän, luottamusvälit ja tilastotaulut.
P-arvo	Vaihtelee 0-1 välillä. P-arvoa käytetään testaamaan nollahypoteesia. Mikäli P-arvo on vähemmän kuin valittu Alfa taso (tyypillisesti 0,05) saattaa se indikoida, että 0-hypoteesi täytyy hylätä ja olettaa että data ei seuraa normaalijakaumaa.
Pareto	Pylväsdiagrammi kumulatiivisella käyrällä. Pareto auttaa fokuoittamaan niihin syihin, joilla on suurin vaikutus, jos ne ratkaistaan. Esittää ongelmien suhteellisen tärkeysjärjestyksen yksinkertaisesti, nopeasti tulkittavasti ja visuaalisessa muodossa.
Aivoriihi	Aivoriihi on prosessi, jossa mietitään esimerkiksi miten luoda uusia ratkaisuja, löytää mahdolliset aiheuttajat ongelmiin tai keksiä tapoja mitata vikoja. Perustarkoituksena on saada aikaan lista mahdollisista tehtävistä tai ratkaisuista.
Syy- ja seuraus-kaavio	Graafinen työkalu, joka tunnistaa ja organisoii kaikki mahdolliset syyt, jotka vaikuttavat ulostuloon. Kutsutaan myös yleisesti kalanruotokaavioksi.
Multi-vari	Graafinen työkalu joka kuvaa kuinka input muuttujien vaihtelu vaikuttaa ulostulonmuuttujaan tai vasteeseen. Auttaa seulomaan mahdollisen vaihtelun lähteitä historiallisesta datasta.
Korrelaatio ja regressio	Määrittää muuttujien välisen yhteyden asteen. Mahdollistaa inputin ja outputin vertailun, sekä kahden inputin tai outputin vertailun keskenään. Käytetään määrittämään muuttujien välinen funktionaalinen suhde.
XY- Matriisi	Auttaa pisteyttämään X:n vaikutusta Y:n ja antaa prioriteettikertoimen kullekin X:lle

### 2.3.1 Ohjauskortit SPC

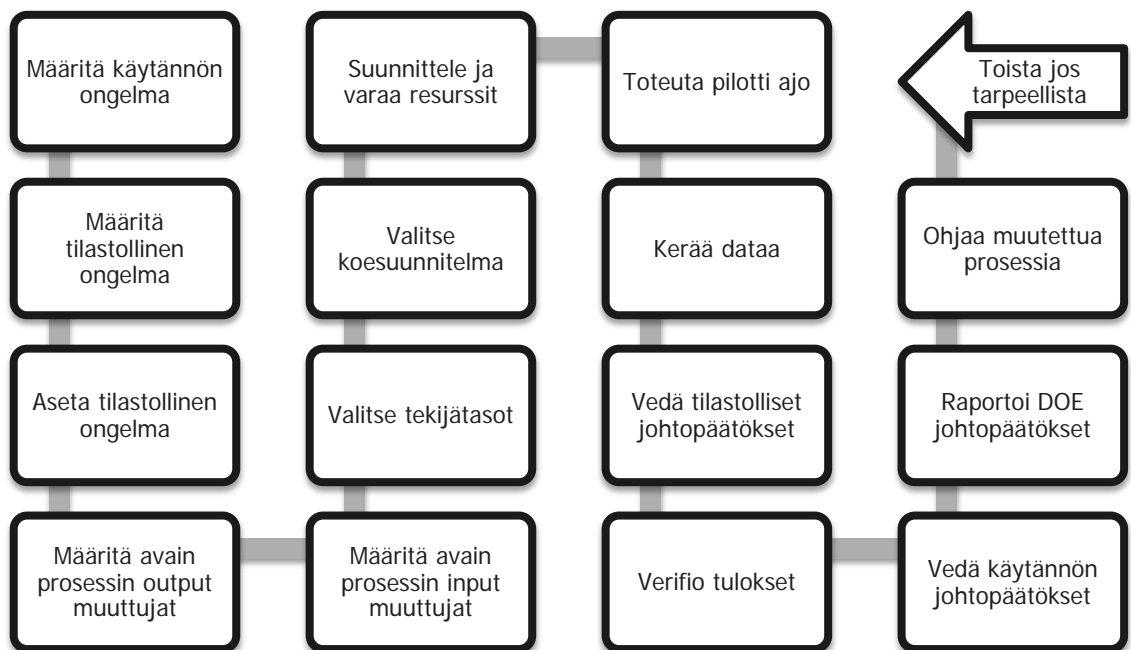
Ohjaus kortit ovat graafisia kortteja, joilla pystytään monitoroimaan, ohjaamaan ja stabiloimaan prosessin suorituskykyä tutkimalla vaihtelua ja sen lähteitä. Prosessista otetaan näytteitä ja korttiin merkitään pistein ominaisuutta kuvaavat arvot, jotka edustavat prosessin tilaa. Valvontakortissa on keskiviiva ja kaksi valvontarajaa. Rajat heijastavat satunnaisvaihtelun luonnollisia rajoja ja sijaitsevat keskiviivan molemmin puolin. Ohjauskortit kuvaavat siis prosessin suorituskykyä. Mikäli arvot sijaitsevat valvontarajojen sisäpuolella, eikä niillä ole erityistä suuntautumista katsotaan prosessin olevan stabiili ja ohjauksessa. Ohjauskortit mahdollistavat ei luonnollisten pistekuvioiden tunnistamisen, sekä erottelevat satunnaissyyt ja erityissyyt toisistaan. Ohjauskorttityyppejä on monenlaisia eri käyttötarkoituksiin. (Kume 1998, 92.)

Syyt voidaan jakaa kahteen osaan (Karjalainen 2010):

- 1) Yleissyyt, jotka aiheuttavat 94–98 % vaihtelusta ja joille ei ole kansanomaista käsitettä "syy" kohina, satunnainen, systeemi.
- 2) Erityissyyt aiheuttaa 2-6 % vaihtelusta ja jonka voimme sanoa olevan systeemin ulkopuolinen virhe. Johtuen materiaalista, poikkeavasta lämpötilasta, yms.

### 2.3.2 Koesuunnittelu

Koesuunnittelulla pystytään selvittämään tekijöiden vaikutusta prosessiin ja sitä käytetään ulostuloon vaikuttavien tekijöiden vaikutusten ja keskinäisvaikutusten ymmärtämiseksi. Koesuunnittelu on testi tai sarja testejä, joilla määrätietoisesti tehdään muutoksia prosessiin. Kuviossa 1 on esitetty koesuunnittelun vaiheet. (Karjalainen & Karjalainen 2002,163.)



Kuvio 1. Koesuunnittelun vaiheet (Karjalainen & Karjalainen 2002,165)

Koesuunnitelmassa on kaksi osaa (Karjalainen 2010):

- 1) Tekijämatriisi, joka kuvaa tekijät ja niiden tasot, joita kokeessa tullaan käyttämään.
- 2) Suunnitelmamatriisi, joka kuvaa kuinka muuttujatasojen tasoja yhdistetään koeajossa.

Koesuunnitelma mahdollistaa monien tekijöiden tutkimisen yhtäaikaaisesti, sekä on ainut keino tutkia keskinäisvaikutuksia ja näin pystytään ratkaisemaan monimutkaisiakin ongelmia. Koesuunnittelumenetelmä on eräs tehokkaimmista menetelmistä



prosessien oppimiseen ja parantamiseen. Koesuunnittelu yhdistää insinööritietämyksen ja tilastollisen analyysin.

Kokeet hierarkiajärjestyksessä

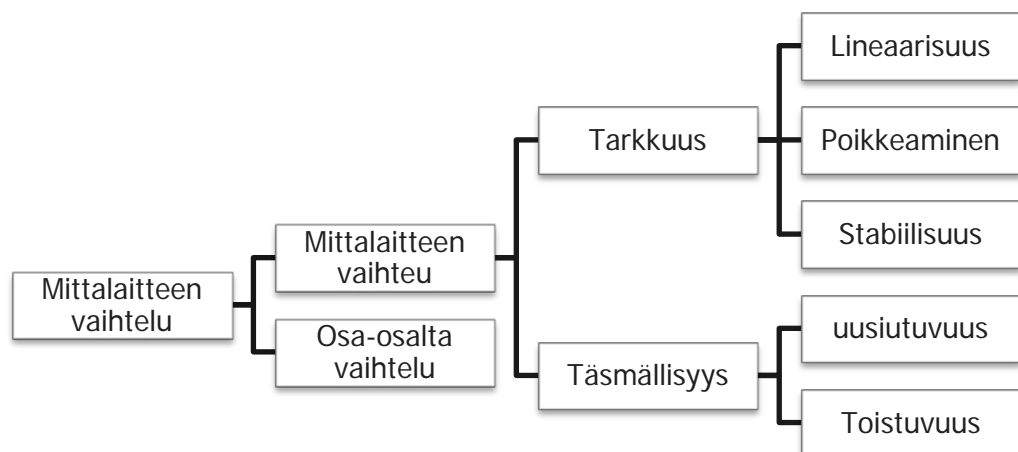
- 1) yksitekijä kerrallaan (OFAT)
- 2) harava kokeet (osatekijäkokeet, Taguchi)
- 3) karakterisointikokeet (täysfaktorikokeet)
- 4) optimointikokeet (vastapintamenetelmät, EVOP).

Siirryttäessä listassa alaspäin, kokeessa syntyy enemmän tehokasta tietoa, mutta kokeiden koko ja kustannukset kasvavat, sekä kokeista tulee monimutkaisempia. Tärkeää on huolellisesti määrittää tarvittavan informaation laatu, jotta voidaan parantaa prosessia ja tuotetta. (Karjalainen 2010.)

Kokeet on tärkeää suorittaa yhtä huolellisesti alusta loppuun ja jos vaarana on, että näin ei tapahdu ja syntyy niin sanottu Bias eli kynnysvaikutus, kannattaa kokeet suorittaa satunnaisjärjestyksessä. (Karjalainen 1990, 72.)

### 2.3.3 Luotettavuuden määritteleminen (Gage R&R)

On tärkeää varmistaa, että mittalaitteella pystytään mittaamaan yhdenmukaisesti, tarkasti ja että mittalaite on riittävä erottelemaan mitattavat osat toisistaan. Mittausjärjestelmän tutkimus tarjoaa informaatiota kuinka monta %:a vaihtelusta tulee mittauksen virheestä. Mittausjärjestelmän arviointi on huomioitava kaikissa tehokkaissa datankeräys ja analysointi-menetelmissä. Ei ole mahdollista arvioida todellista prosessin suorituskykyä, jos ei tiedetä onko prosessia mittaava mittalaite luotettava. Gage R&R tunnistaa ja määrittää eri vaihtelujen lähteitä, jotka vaikuttavat mittausjärjestelmään. Kuvassa 2 on esitetty eri vaihtelun lähteitä (Karjalainen & Karjalainen 2002, 143.)



Kuvio 2. Mittalaitteen vaihtelun lähteitä (Karjalainen 2010.)

Mittalaitteen vaihtelu voidaan jakaa kahteen lajiin, prosessista tulevaan osa-osalta vaihteluun ja mittaussysteemistä tulevaan vaihteluun. Mittasysteemin vaihtelun ollessa suurta, verrattuna osa-osalta vaihteluun, mittaussysteemi ei kerro paljon tosiasiallisesta tilanteesta. Mittaussysteemin virheet voidaan luokitella kahteen luokkaan tarkkuuteen ja täsmällisyyteen. Tarkkuus kuvaa eroa mittauksen ja osan todellisen arvon välillä ja täsmällisyys kuvaa vaihtelua joka nähdään, kun mitataan samaa osaa toistuvasti samalla laitteella. Tarkkuus voidaan jakaa vielä kolmeen komponenttiin. Lineaarisuuteen, joka kertoo kuinka osien koot vaikuttavat mittaussysteemin poikkeamiseen. Poikkeamiseen, joka kertoo mittaussysteemin poikkeamista. Stabiilisuuteen, joka kertoo kuinka hyvin systeemi suoriutuu ajan suhteen. Täsmällisyys tai mittauksen vaihtelu voidaan rikkoa kahteen komponenttiin. Uusittavuuteen, joka havaitaan kun eri operaattorit mittaavat samaa osaa käyttäen samaa laitetta. Toistettavuuteen, joka havaitaan kun sama operaattori mittaa samaa osaa toistuvasti samalla laitteella. (Karjalainen 2010.)

Usein kuvitellaan, että kalibrointi poistaa tai vähentää virhettä. Kalibroinnilla voidaan vähentää poikkeavuus virhettä, mutta toistotarkkuuteen sillä ei ole suoranaista vaikutusta. (Karjalainen & Karjalainen 2002,143.)

## 2.4 Ohjelmat

Tämän päivän laadunparannusprojektit ovat monimutkaisempia kuin ennen. Menetelmät vaativat, että tehdään yhä syvällisempiä datan analyysejä, sekä tuotetaan mitattavia tuloksia. Datan analysointi vaatii yhä enemmän ominaisuuksia, kyvykkyyttä ja tehoa ohjelmistolta. (Six Sigma.)

### 2.4.1 Minitab

Minitab ohjelma on luotu vuonna 1972 Pennsylvanian Yliopistossa. Tiedekunnan jäsenet Dr. Barbara F. Ryan, Dr. Thomas J. Ryan ja Dr. Brian L. Joiner kehittivät tietokoneohjelmistopakettin opiskelijoille, jotta tilastotieteestä saatiin kiinnostavampi ja mielekkäämpi. Ohjelman pohjana oli tällöin USA:n tilastokeskuksen käyttämä Minitab-ohjelmisto. Pian ohjelmasta tuli johtava tilastollinen ohjelma akateemiseen opetukseen. Minitab -ohjelmisto on avannut uuden luvun laadun tilasto-ohjelmissa. Kaikki tärkeät ja normaalisti käytettävät tilastomenetelmät ovat samassa paketissa. Minitab on ohjelmisto, joka sisältää (Quality Knowhow Karjalainen.):

- graafisen analyysin konseptit
- perustilastot
- regressioanalyysijä
- ANOVA
- SPC, ohjauskortit

- kyvykkyysanalyysit
- Gage R&R – uusittavuus, toistettavuus, lineaarisuus- ja biastutkimukset, sekä attribuuttimittaussysteemin arviointiin tarkoitetut konseptit
- multivariteknikka
- aikasarja-analyysit
- ei-parametriset testit
- näyteteho ja –koko.

#### 2.4.2 Quality companion 3

Täydentää omana ohjelmana Minitab-ohjelmistoa, tuomalla tilastollisten työkalujen lisäksi myös projektin suunnittelun, hallinnan ja toteuttamisen, sekä siihen liittyvät niin sanotut kevyemmät työkalut. (Quality Knowhow Karjalainen.)

### 3 HIONTA

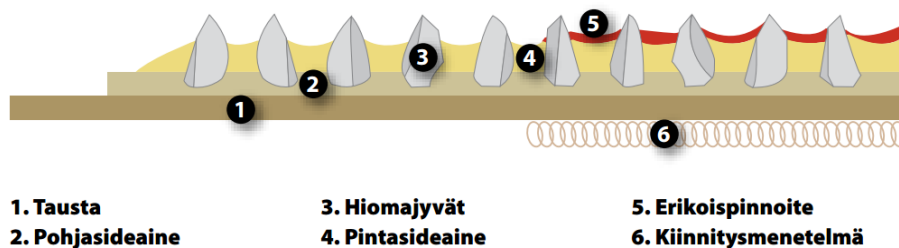
Hionnan tarkoitus on antaa työkappaleelle oikea muoto, dimensiot ja pinnan tasaisuus, ennen lopullista pintakäsittelyä. Maalauksen kannalta on oleellista hiomalla saavutettu puupinnan tiiviys, jota kuvaa käytännössä sen sileys. Voidaan sanoa, että hionta on puolet pintakäsittelystä. Puuta hiotaan yleensä syiden suuntaan, koska poikittain hionta aiheuttaa puuhun syvemmät hiontaurat. (Kiviranta.)

Monet tekijät vaikuttavat toivotun lopputulokseen saavuttamiseen kaikissa pinnan käsittelyvaiheissa. Kaikkein tärkeintä on valita oikea hiomanauha, oikeaan hiontavaiheeseen ja pitää hiomanauhat terävinä, sekä välttää hiomanauhan tukkeutumista. Hiomapapereissa nauhan karkeus ilmoitetaan numeerisilla arvoilla. Karkeusasteet vaihtelevat puun eri hiontavaiheissa P16 - P1000, missä pienimmät numerot tarkoittavat karkeampaa ja suuremmat numerot hienompaa karheutta. Karkea raekoko hioo enemmän kuin hieno ja käyttöikä on myös pitempi. Mitä karkeampaa hiontaa voidaan tietyssä työstössä käyttää, sitä halvemmaksi hiontatyö tulee hiottua kappaletta kohti. Toisaalta lakan kulutus ja välihionnan tarve kasvaa mitä karkeampi pinnoitettava alusta on. Hiontojen välissä ei saa olla yli P100 heittoa, jos seuraava paperi ylittää tämän sen karkeus ei riitä leikkaamaan aiempaa naarmua ja maalin kuivuessa viimeistään hiontajäljet tulevat näkyviin. Hionta karhealla paperilla tuottaa voimakkaan tikunnousun, joka sitoo pääosan pohjalakasta varsinaisen pinnan yläpuolelle ja tällöin välihionnassa joudutaan tikunkatkaisun ohella hiomaan pois iso osa pohjamaalia. (Puun teollinen pintakäsittely 2009, 15-16; Kiviranta).

Oikein toteutettu nauhahionta varmistaa että (Tehokasta puunhiontaa 2012, 32)

- hiottu pinta on sileä ja tasainen
- saadaan koko kappaleesta kauttaaltaan saman paksuinen
- kuidun nousu on mahdollisimman vähäistä
- pölyn tuotto on vähäistä
- saavutetaan parhaat mahdolliset kustannussäästöt.

#### 3.1 Hiomanauha



Kuva 1. Hiomamateriaalien rakenne (Tehokasta puunhiontaa 2012, 33)

Hiomanauha koostuu kuvan 1 mukaisesta rakenteesta. Hiomanauhoissa on merkintä, joka ilmaisee käyttötarkoituksen (esim. metalli tai puu), hionta tavan (märkä tai kuiva hionta), sekä hiomapaperin karkeuden. Hiomanauhan karkeus on merkitty nauhoihin mesh-lukuna. Luku tulee siitä, kuinka monta silmää on neliötuumalla siinä seulassa josta rakeet menevät läpi. Eri karkeuksista hiomanauhaa käytetään eri käyttötarkoitukseen (taulukko 4). (Kiviranta.)

Taulukko 3. Hiomanauhan karheus ja käyttökohde (Kiviranta)

Mesh-luku	Käyttö
24 - 50	Höylä- ja sahapintojen esihionta (voimakas hionta 2,0 – 0,5 mm )
60 - 100	Vähäisempi hionta (1,0 - 0,3 mm)
80	Pehmeän puun esihionta
100	Keskikovan puun esihionta ja pehmeän puun jälkihionta
120	Kovan puun esihionta ja keskikovan puun jälkihionta
150	Kovan puun jälkihionta
150 - 180	Maalattujen pintojen välihionta
180 - 220	Pintakäsittelyn pohjustuksen hionta
320 - 360	Lakattujen pintojen välihionta ja maalauksen jälkihionta
400 - 1000	Lakattujen pintojen Jälkihionta

### 3.1.1 Taustamateriaali

Taustamateriaali toimii hiomapinnan tukimateriaalina ja välittää hiomakoneen tehon työstettävälle pinnalle. Suuremmat hiomajyvät vaativat enemmän tehoa hiomakoneelta, koska jyvien aiheuttama materiaalin poisto on suurempi, myös tausta materiaalilta vaaditaan suurempaa kestävyyttä. (Tehokasta puunhiontaa 2012, 33.)

Kankaista taustamateriaalia käytetään välihionnassa ja muotoiltuja osia hiottaessa. On tärkeää käyttää ohutta ja joustavaa hiomanauhaa. Nauhan joustavuus helpottaa muotoiltujen pintojen ja reunojen hiomista. Taustamateriaalin ohuus varmistaa, että hiomajyvien pinnasta saadaan hyvin tasainen, mikä puolestaan edesauttaa erittäin sileän lopputuloksen saavuttamista. (Tehokasta puunhiontaa 2012, 34.)

Paperisia taustamateriaaleja käytetään leveänauhahiontaan tarkoitetuissa tuotteissa. Antistaattinen taustapaperi pitää sekä koneen, että hiontayksikön pölyttömänä. Jos hiottavasta pinnasta halutaan erityisen sileää, kalvotaustaisen hiomamateriaalin käyttö on hyvin suotavaa.

Paperin painolla on suora vaikutus sen kestävyys- ja vahvuuteen. Erikoistuotteissa on käytetty eri taustamateriaalien yhdistelmiä, kuten erityistä paperitaustaa, joka on vahvistettu kuitukankaalla. (Tehokasta puunhiontaa 2012, 35.)

### 3.1.2 Hiomajyväset

Hiomajyväset ovat varsinaiset terät hionnassa. Oikean hiomajyvän valinta oikeaan käyttökohteeseen varmistaa hyvän lopputuloksen, sekä tuotteen pitkän käyttöiän. Hiontajyvästen tulisi luonnollisesti olla mahdollisimman teräväsärmäisiä. Muodoltaan parhaana pidetään raetta, jonka pituus on 2-3 kertaa sen korkeus. Paras vaihtoehto on hiomajyvä, joka olisi terävä ja kova, mutta ei hauras. Kaikkia näitä ominaisuuksia ei voida yhdistää samaan materiaaliin, joten on tärkeää löytää oikea materiaali oikeaan käyttötarkoitukseen. (Kiviranta.)



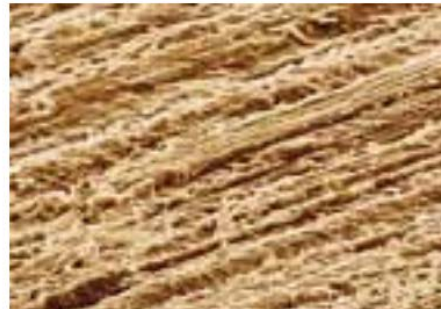
**Alumiinioksidihiomajyvä pehmeää puulajia hiottaessa.**



**Piikarbidi kovaa puulajia hiottaessa.**



**Puupinta hionnan jälkeen alumiinioksidia käytettäessä.**



**Puupinta hionnan jälkeen piikarbidia käytettäessä.**

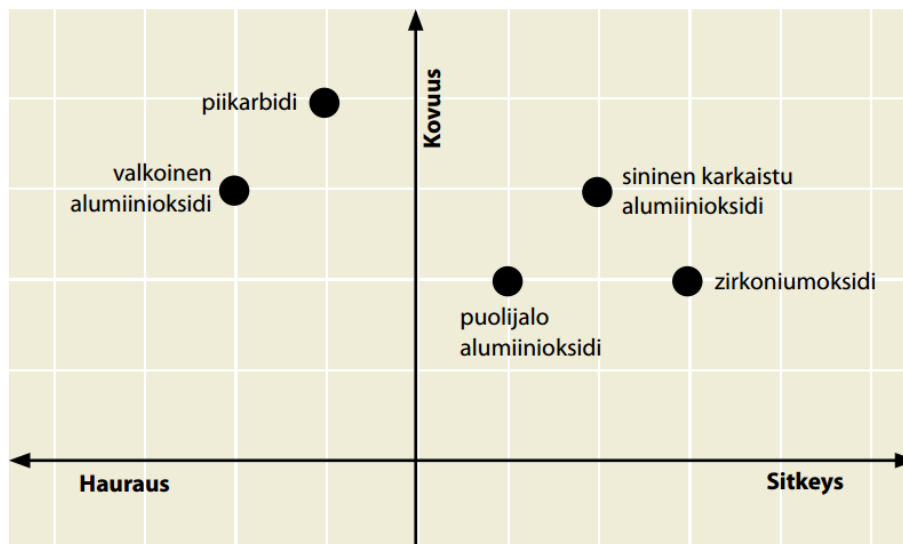
Kuva 2. Hiomajyvien vertailu (Tehokasta puunhiontaa 2012, 37)

Alumiinioksidi ei muodosta kovin teräviä leikkuukulmia, koska se lohkeilee satunnaisesti. Se on sitkeää ja säilyttää leikkuukykynsä verraten kauan. Kovuus mohsin asteikolla 9 – 9,4. Puunhionnassa käytetään yleensä alumiinioksidi hiomajyviä.

Piikarbidi on eräs kovimmista tunnetuista materiaaleista kovuus 9,7. Murskattaessa syntyy teräviä ja tasaisia työstökulmia, koska piikarbidi lohkeilee kiderajoja pitkin. Piikarbidi on kovuudestaan huolimatta haurasta. Soveltuu työstötapauksiin, jossa

puulaji on kovaa kuten tammen ja MDF:n kaltaisten materiaalien hionnassa, tai mikäli halutaan poistaa vain hyvin ohut kerros. Piikarbidi hiomajyvien muodon ansiosta hiotavasta pinnasta saadaan parempi kuin alumiinioksidilla. Kuvassa 2 nähdään piikarbidin ja alumiinioksidi hiomajyvän muodostaman pinnan ero. (Kiviranta.)

Hiomajyvä	Käyttökohde
Alumiinioksidi	
• valkoinen	väri, lakka, puu
• puolijalo	yleiskäyttö (puu, kevyet metallit, kaikenlaiset hiomakoneet)
• karkaistu	metalli, kovat puut ja värit
Piikarbidi	väri, lakka, kiillotus, MDF, vaneri, kovat puulajit
Zirkoniumoksidi	vaativa /aggressiivinen metallin hionta



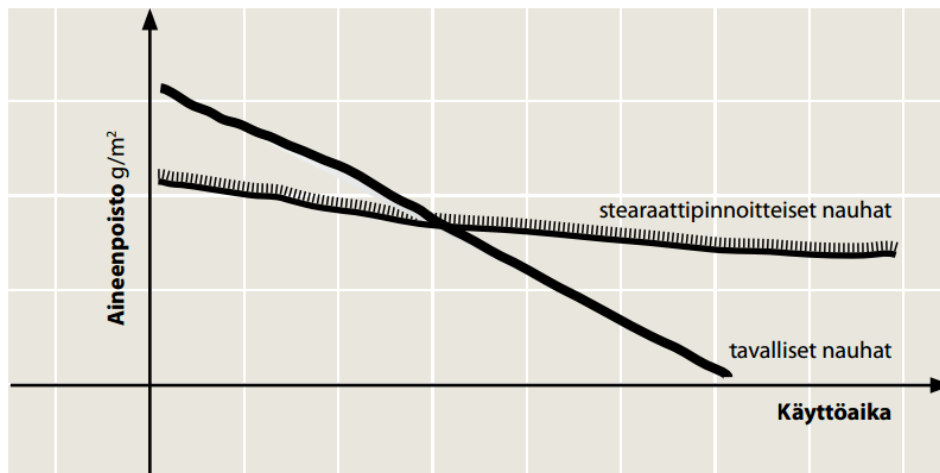
Kuvio 3 Hiomajyvien ominaisuudet ja käyttökohteet (Tehokasta puunhiontaa, 38)

Hiomajyvän valinta vaikuttaa, sekä pinnan rakenteeseen, että hionnan lopputulokseen. Hiomajyvät voivat olla joko luonnonaineita, tai synteettisiä aineita. Synteettisillä mineraaleilla päästään kovempaan ja kestävämpään lopputulokseen luonnonhiekkiaan verrattuna (kuvio 3). (Tehokasta puunhiontaa 2012, 39.)

Tuotteen tehoon vaikuttaa siinä olevien hiomajyvien määrä. Tiheällä sirottelulla päästään tehokkaaseen aineenpoistoon ja avoimella sirottelulla hiomanauhan tukkeutuminen on vähäistä. Hiomajyviä on monen kokoisia ja niitä käytetään eri tarkoituksiin. Erikokoiset jyvät erotellaan valmistusprosessin aikana. Hiomatuotteet voidaan valmistaa jyväkoon perusteella eri standardien, kuten FEPA, ANSI ja GOST mukaisesti. Suurin ero standardeilla näkyy hienompien jyvien luokittelussa. (Tehokasta puunhiontaa 2012, 39.)

### 3.1.3 Lisäkäsittelyt

Tuotteille voidaan tehdä myös erityinen stearaattipinnoitekäsittely, joka pidentää tuotteen käyttöikää (kuvio 4). Stearaatti on usein sinkkiä tai kalsiumia. Stearaattipinnoite kuluu pois käytön aikana, jolloin se estää tukkeutumisen ja pidentää tuotteen käyttöikää. Stearaattipinnoite vähentää alkuhiontaa ja sen vuoksi sillä saa hiottavasta pinnasta tasaisemman koko tuotteen käyttöajan. Stearaattikäsitellyillä hiomanauhoilla saadaan paras lopputulos pintakäsiteltyjä tuotteita hiottaessa. (Tehokasta puunhiontaa 2012, 41.)



Kuvio 4. Stearaattipinnoitteen hyöty (Tehokasta puunhiontaa 2012, 41)

Antistaattinen käsittely vähentää merkittävästi pölyongelmia. Hiontapinnasta saadaan puhdas ja pölytön, joten pintakäsittelyn lopputulos on parempi. Pienempi pölymäärä parantaa myös työskentely-ympäristöä. Hiontatuotteiden antistaattinen vaikutus voi olla myös toisistaan poikkeava. Toisissa tuotteissa on ainoastaan antistaattinen taustamateriaali ja toisissa on lisäksi antistaattinen sideaine. (Tehokasta puunhiontaa 2012, 42.)

### 3.1.4 Kiinnitystavat

Pääasiallisia kiinnitysmenetelmiä on kaksi – PSA ja Grip. PSA:ssa käytetään tahmeaa liimaa. PSA liimautuu kiinni useisiin eri pintoihin jo kevyellä kosketuksella. Sitä käytetään pyöröjen ja vastaavien tuotteiden kiinnittämiseen tasaisille taustapinnoille. Grip-kiinnityksessä käytetään tarramateriaalia, joka on kiinnitetty hiomatuotteen taustaan. Hiomatuotteen tarrasilmukat kiinnittyvät alustallan tarrakoukkuihin. (Tehokasta puunhiontaa. 2012, 43.)



### 3.1.5 Sidosaineet

Pohjasideaine ja pintasideaine ovat hartsikerroksia. Pohjasideaine on ensimmäinen kerros, johon hiomajyvät on kiinnitetty ja pintasideaine on lisäkerros, joka pitää hiomajyvät paikoillaan. (Tehokasta puunhiontaa. 2012, 36.)

Synteettisillä hartseilla saadaan huomattavasti kestävämpi ja laadultaan tasaisempi lopputulos luonnonliimojen sijaan. Joustavia hiomatarvikkeita valmistettaessa avaintekijänä on tuotteessa käytettävän hartsin määrä. Kun hartsia käytetään vähän, tuote on tehokas, mutta sen käyttöikä on lyhyempi. Mitä enemmän tuotteessa on hartsia, sitä pidempään se kestää käyttöä. (Tehokasta puunhiontaa. 2012, 36.)

### 3.2 Hiontamenetelmät ja laitteet

Hiontaa voidaan suorittaa monella eri menetelmällä ja jokaisessa menetelmässä käytävissä on useampia laitetyppejä. Taulukossa 5 on kuvattu näistä yleisimmät.

Taulukko 4. Hiontamenetelmät ja laitteet (Niklas Heiska)

Hionta menetelmä	Yleiset Laitetyypit
Tasainen hionta	Pitkänauhahiomakone Leveänauhahiomakone Poikittaisnauhahiomakone Harjahiomakone
Profiili hionta	Profiilinauha hiomakone Muotohiomakurso cnc koneeseen Hiomarullakone Reunahiomakone Reunaharjahiomakone
Käsihionta	Tasohiomakone Epäkeskohiomakone Nauha hiomakone Hiomasieni
Muu hionta	Pyöröhiomakone Rulla ja harjahiomakone

#### 3.2.1 Käsihionta

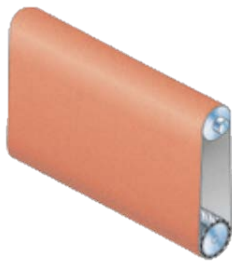
Käsihionnalla päästä paikkoihin, joita isoilla tuotantolinjan koneella ei pystytä hio-  
maan, kuten työstetyt urat ja syvennykset. Käsihionta vaatii tarkkuutta ja ammattitai-  
toa, jotta hionta suoritetaan oikein ja lopputuloksesta tulee hyvä. Käsihionta voidaan

suorittaa käsin pelkällä paperilla tai hiomasienellä. On myös käsin liikutettavia sähkö- ja paineilmatoimisia hiomakoneita. Hiomakoneet ovat joko taso-, nauha- tai epäkeskohiomakoneita. Tasohiomakoneessa liike on edestakaista, kun taas nauhahiomakoneessa nauha liikkuu yhteen suunta. Epäkeskohiomakoneessa liike on epäsäännöllisesti pyörivää. (Hakkarainen 2009.)

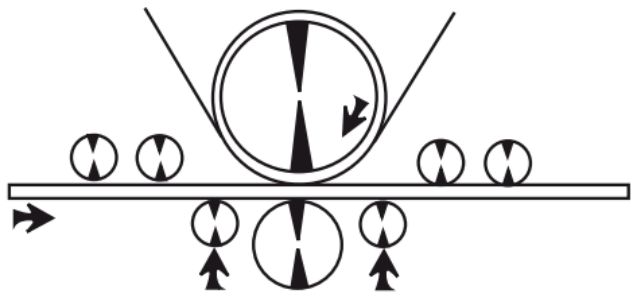
### 3.2.2 Leveänauhahiomakone

Leveänauhahiomakone on yksi eniten puun mekaanisessa jatkojalostuksessa käytössä oleva hiomalaite. Leveänauhahiomakone on kone, jossa on hiomayksiköitä peräkkäin. Hiomayksiköt voivat olla joko rumpu, talla, kombi tai poikittaisnauhayksiköitä. Leveänauhahiomakoneita on olemassa paljon eri variaatioita käyttötarkoituksesta riippuen. (Kiviranta.)

Rumpuyksikössä on kaksi telaa (kuva 3). Ylempi tela pyörittää hiomanauhaa kumitelan ympäri (kuva 4). Kumin kovuudella on merkitystä hionnan lopputulokseen. Kovaa kumia (80–90 shore-kovuus) käytetään kalibrointi hionnassa ja pehmeää (40–30 shore), kun halutaan hioa pintaa normaalisti. Ongelmia voi syntyä pehmeän kumin kanssa, jos kappaletta ei ole kunnolla kalibroituihin, kumi painuu kasaan ja reunat voivat vioittua. Kumissa tapahtuu jousi-ilmiö. Kumin painuessa kasaan hionnanvoimakkuus kasvaa. (IFS.)



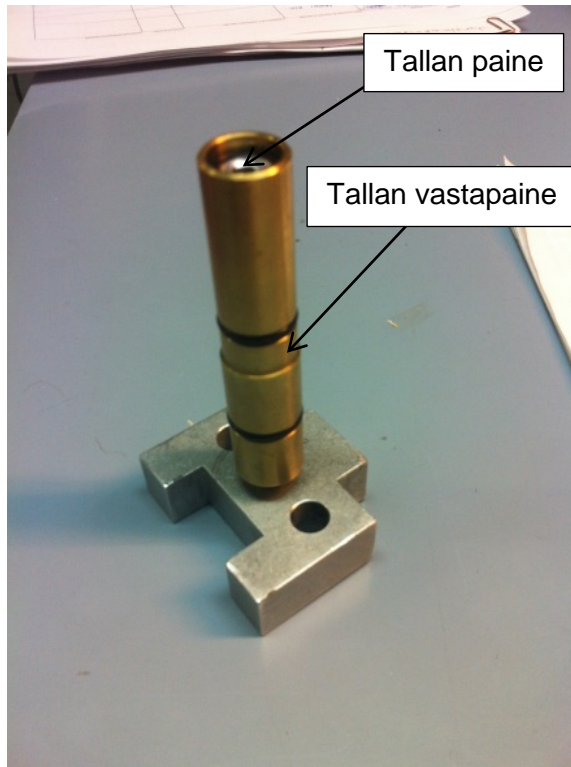
Kuva 3. Rumpuhiomakone  
(STW 300, 7)



Kuva 4. Rummun toimintaperiaate  
(Puun teollinen pintakäsittely 2009, 17)

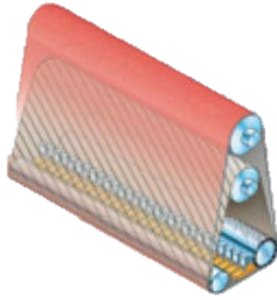
Talla yksikössä hiomanauha kulkee kahden alhaalla ja yhden ylhäällä olevan telan ympäri (kuva 5). Ylempi tela pyörittää hiomanauhaa. Alempien kahden telan välissä on paineilmapalkki, jossa tallat sijaitsevat. On olemassa monenlaisia talla ratkaisuja riippuen halutusta tarkkuudesta ja mekaniikasta (IFS.):

- Paineilma toiminen vai elektromagneettinen
- Jatkuva- vai vaihteleva paineinen.

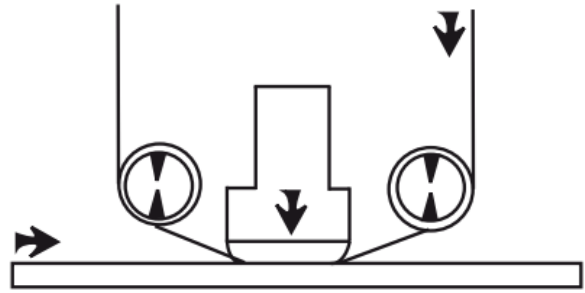


Kuva 5. Mäntä ja talla (Niklas Heiska)

Jatkuva paineisessa palkissa on talla, joka painaa hiomanauhaa hiottavaan kappaleeseen (kuva 7). Jatkuva paineinen talla joustaa 0,4-0,5 mm. Vaihteleva paineisessa palkissa on 32-64mm talloja, joissa jokaisessa tallalla on oma mäntä, joka painaa tallaa. (kuva 5) Mäntään kohdistuu myös vastapaine, joka nostaa tallan ylös ja toimii jousen tavoin antaen tallalle joustavuuden. Hionnan voimakkuus määräytyy paineen ja vastapaineen erotuksella. Talla ei paina suoraan hiomanauhaa, vaan välissä on pelti-huopa. Pellin joustavuudella määritellään pinnan myötäilyä ja huopa vähentää paineesta, sekä pyörimisestä aiheutuvaa kitkaa. Tallayksikkö voi olla myös varustettu laitteella, jota kutsutaan superfinis unit. Tämä tarkoittaa että peltihuovan ja hiomanauhan välissä pyörii painevyö, joka vähentää kuumenemista, pehmentää hiomista ja parantaa hiomanauhan puhtaana pysymistä. Vaihteleva paineinen talla joustaa jopa 2 mm. Tallalla saadaan aikaan pehmeämpi hiomapaine. Ennen tallayksikköä on sensori rullia, jotka tunnistavat kappaleen muodon. Näin ollen voidaan määrittää hiomennakot ja kevennykset, jotka tarkoittavat sitä, että pystytään hiomaan kappaleet vahingoittamatta reunoja. (IFS.)



Kuva 6. Tallahiomakone  
(STW 300, 7)



Kuva 7 Tallan toimintaperiaate  
(Puun teollinen pintakäsittely 2009, 17)

Kombiyksikkö koostuu rumpu- ja tallayksiköstä mahdollistaen molemmat, sekä kalibrointi, että normaali hionnan. Kombiyksikkö on suunniteltu vain lievään kalibrintihiontaan. Suurimmaksi osaksi siksi, että paineyksiköt ovat liian kaukana toisistaan tehden vaikeaksi varmistaa tarkkuuden ja virheettömyyden paneelin etu- ja takaosassa. (IFS.)

Poikittaisnauhayksikkö koostuu elektronisesti jaotellusta tallasta. Poikittaisnauha pyörii kohtisuoraan syöttö suuntaan nähden. Poikittaisnauha on varustettu aina paine vyöllä parhaimman lopputuloksen aikaansaamiseksi (kuva 8). (IFS.)



Kuva 8. Poikittaisnauha. (STW 300, 7)

Leveänauhahiomakoneessa on kuljetinhihna, joka liikuttaa kappaleita hiomayksiköiden läpi. Hiomanauhan etäisyyttä kappaleeseen säädetään, joko muuttamalla kuljetinhihnan etäisyyttä teloihin, tai telojen etäisyyttä kuljetinhihnaan. Pääsääntöisesti nauhat pyörivät syöttösuuntaa vastaan, mutta poikkeuksiakin löytyy. Hiomanauhan kireyttä säädetään telojen etäisyyttä muuttamalla. Telaa kallistelemalla hiomanauha saadaan kulkemaan leveyssuunnassa oikealla kohdalla. Hiominen suoritetaan karheasta nauhasta hienompaan. Yleensä koneet ovat oskiloivia, joka tarkoittaa sitä, että hiomanauha liikkuu edestakaisin sivuttaissuunnassa. Oskilointi parantaa hiontajälkeä, koska nauhasta ei synny liikkeen suuntaisia naarmuja. Se estää myös nauhan tukkeutumista ja näin ollen pidentää hiomanauhan käyttöikää. (Kiviranta; IFS).

### 3.2.3 Harjahiomakone

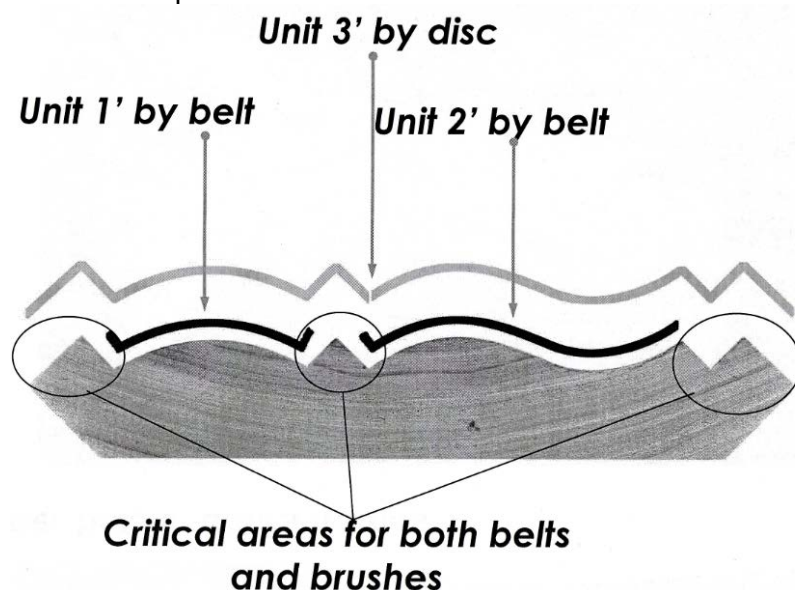
Hiomaharjalla tarkoitetaan yleensä harjaa, jossa on hiomanauhoja. Harjan kuidut sisältävät, joko alumiinioksidi, tai piikarbidi kiteitä. Kappaleet hiotaan yleensä myötä- ja vastapäivään, jotta poikittaisurien ylä- ja alapäävät tulevat hiotuksi. (Kiviranta.)

Tavallisia käyttökohteita harjoille ovat puutuotteiden hionta ennen pintakäsittelyä ja pintakäsittelyiden välissä, sekä työstössä pystyyn nousseiden puukuitujen katkaisussa, esimerkiksi levyjen kanteissa ja urissa. (Kiviranta.)

### 3.2.4 Profiilihiomakone

Reunahiomakoneista on monia sovelluksia käyttötarpeesta riippuen. Kuvassa 9 on esimerkki yhden profiilin hiontatavasta. Profiilihiomakone koostuu hiomanauha ja hiomakiekkoyksiköistä, sekä harjaus kiillotus yksiköistä. Kone voi olla automatisoitu tarkoittaen, että kone seuraa kulumista, repimistä ja siinä on mahdollisesti ajoitustoiminto. Hiomakiekko muotoutuu hiottaessa, eikä siis tarvitse tehdä profiilia myötäilevää vastakappaletta. Hiomaharjat eivät muotoudu kappaleen mukaan, mutta samalla harjalla voidaan hioa monen muotoisia kappaleita. Hiomanauha ja hiomakiekko toimiva eri tavoin, nauha tasoittaa ja kiekko viimeistelee. Profiili voidaan jakaa kolmeen osaan (IFS.):

- 1) Ensisijaiset pinnat, jotka huomataan ensisilmäykseltä. Määrittää yleensä 85 % tuotteen onnistumisesta.
- 2) Toissijaiset pinnat, jotka eivät näy ensisilmäykseltä. Voidaan huomata, jos poikkeavat paljon ensisijaisista pinnoista. Määrittää 15 % tuotteen laadusta.
- 3) Ei vaikuttavat pinnat, jotka eivät tule näkymään jälkikäteen kuten paneelin selkäpuoli.



Kuva 9. Paneelin hiontavaiheet. (IFS).

### 3.3 Hiomatavat

Puisia tuotteita valmistettaessa käytettävissä on paljon eri hiontatapoja, kuten kalibroitihionta, puunhionta, välihionta, poistohionta ja profiilihionta. Pintakäsittelyssä saatetaan tarvita näitä kaikkia. Pääasiassa pinnan laatuun vaikuttavat eniten puunhionta ennen pintakäsittelyä ja välihionta pohjakäsittelyn jälkeen. Näiden hiontojen tarkoituksena on viimeistellä puun pinta pintakäsittelyä varten ja tasoittaa pohjalakattu tai – maalattu kerros pintamaalausta varten. Vesiohenteiset pintakäsittelyaineet asettavat hionnalle erityishaasteita, koska vesi turvottaa puuta ja nostaa tikkuja pystyyn. (Puun teollinen pintakäsittely 2009, 15.)

#### 3.3.1 Kalibrointi- ja poistohionta

Kalibrointihionnalla tarkoitetaan kappaleen mitallistamista. Mitallistettu kappale on paksuudeltaan sama ja pinnat ovat samansuuntaiset sekä suorat. Poistohiontaa käytetään pääasiassa ennen uudelleenmaalausta, tai epäonnistuneen pintakäsittelyn poistossa. Kalibrointi- ja poistohionta suoritetaan normaalisti karkeudella P36 – P80, koska tällöin pyritään poistamaan mahdollisimman aggressiivisesti puu- tai maa-liainetta. (Puun teollinen pintakäsittely 2009,15.)

#### 3.3.2 Puunhionta

Puunhionnalla tarkoitetaan viimeistelyä ennen pintakäsittelyä. Mitä sileämpi pinnoitettava alusta on ennen pintakäsittelyä, sitä pienempi lakan kulutus ja välihionnan tarve. Höylätty, tai työstetty kappale on aina kevyesti hiottava ennen pintakäsittelyä. Työstetyssä kappaleessa syyt nousevat pystyyn ja tämä ilmenee pohjamaalauksen jälkeen pinnan karheutena. Pintakäsittely pitäisi tehdä mahdollisimman nopeasti hionnan jälkeen, kuitenkin viimeistään saman vuorokauden aikana. Jos kappaleet odottavat pintakäsittelyä, ne voivat likaantua ja ilmankosteus imeytyy puuhun aiheuttaen tikun nousua. Parhaimman lopputuloksen aikaan saamiseksi viimeistelyhionta tulisi liittää välittömästi pintakäsittelylinjan läheisyyteen. (Kiviranta.)

#### 3.3.3 Välihionta

Välihionnan tarkoituksena on tasoittaa puun kostumisesta aiheutuva kuitujen esiinnouso, sekä parantaa uuden pintakerroksen tarttuvuutta. Asianmukaisella välihionnalla varmistetaan paras mahdollinen pohja lopullista pintaa varten. Välihionnalla poistetaan tikun nousu, näppylät, liika maali ja muut pintakäsittely virheet, sekä varmistetaan hyvä tarttuvuus pintakäsittely kerrosten välille.

Mikäli käytetään happokoveitteisia aineita, täytyy välihionta suorittaa samana päivänä, muussa tapauksessa saattaa tarttuvuus olla huono. (Kiviranta.)

Huolellisesti tehty viimeistelyhionta ja kunnolla puhdistettu kappale, sekä tasainen pohjamaali vähentävät tarvetta pintavirheiden poistoon välihionnassa. Samanaikaisesti pienenevät pintakäsittelyaineiden kulutus ja hylkykappaleiden määrä, mikä näkyy kustannusten vähenemisenä. Välihionnalla on suuri vaikutus lopulliseen pintakäsittely tulokseen. (Kiviranta.)

### 3.4 Hiontavirheet

Hyvällä hionnalla voidaan saada huonommastakin pinnasta hyvä, mutta sama pätee myös toisinpäin. Tukkeutunut hiomanauha voi pilata täysin mahdollisuuden hyvään lopputulokseen. Merkittävimmät hiontavirheet ovat syntyneet liian vähäisestä hiomisesta, tai pinnan puhki hiomisesta. Hionnan huolellisuudella on myös suuri rooli pintakäsittelyn lopputuloksessa. (Kiviranta.)

Mikäli hionta suoritetaan liian karkealla hiomanauhalla, vaarana on hioa jo kertaalleen käsitelty pinta puhki, tai pintakäsittelyaine ei pysty täyttämään syviä hiontanaarmuja. Syvät naarmut aiheuttavat myös liikaimetyymistä, joka näkyy petsauksessa liian tummana sävynä. Vaikka hiottu kappale näyttäisi ja tuntuisi tasaiselta, virheet tulevat esiin vasta pohjamaalauksen jälkeen. (Kiviranta.)

### 3.5 Hiomanauhan kuluminen


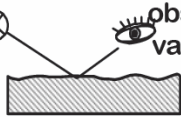

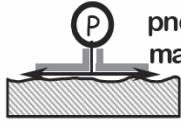



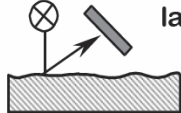
Kappaleen pinnanlaatu on tärkeä ominaisuus puutuotteissa. Hiomanauhan kunnolla on suuri vaikutus pintakäsittelyn lopputulokseen ja lopullisen pinnanlaatuun. Normaalisti hiomanauhan kuntoa tarkkaillaan manuaalisesti. Tällainen lähestymistapa on kiinni paljon yksilöistä ja johtaa helposti joko yli- tai ali käyttöön. Ali käyttö kasvattaa hiomakustannuksia ja yli käyttö vaikuttaa pahimmassa tapauksessa tuotteen laatuun. Hionnassa aiheutuneen korkean lämpötilan ja paineen vaikutuksesta hiomanauha kuluu ja murtuu aiheuttaen epätasaisia rakenteita. Kulumisesta aiheutuva murtuminen on itsestään teroittumisprosessi, mutta aiheuttaa hiomajyvän koon pienentymistä, jolla on vaikutus hiomanauhan käyttöikään. Toinen asia, joka vaikuttaa hiomanauhan käyttöikään, on puuaineksen tarttuminen hiomajyvien väliin aiheuttaen nauhan tukkeutumisen. Pöly täyttää hiomajyvien väliset kolot aiheuttaen profiilin muuttumista ja estäen pölyn kulkeutumista hiomajyvien välistä. Hiomanauhan kuluminen ei ole lineaarista, vaan sen kuluminen voidaan jakaa neljään jaksoon (Andres, Bhavin, Ferat & Richard 2007, 1–4):

- 1) Uuden nauhan terävät särmät kuluvat nopeasti.
- 2) Ylätasanko, jossa kuluminen on stabiili.
- 3) Kulumisjakso, jossa hiomanauhan kunto alkaa laskea.
- 4) Loppuun kulunut hiomanauha, jossa nauhan materiaalin poisto ei ole enää riittävä.



#### 4 PINNANLAADUN MITTAAMINEN JA MITTAUKSEN LUOTETTAVUUS

Pinnanlaatua voidaan tarkkailla lukuisten standardien avulla. Mittauksen tarkoituksena on tuottaa luotettavaa ja selvää dataa pinnanlaadusta. Pinnanlaadun arviointiin on olemassa monia menetelmiä ja laitteita kuvassa 10, näistä muutama. Mittausten perusteella tehdään johtopäätöksiä pinnan tasaisuudesta. Mittatulosten täytyy olla luotettavia, jotta tulosten perusteella voidaan todeta prosessissa tapahtuneen parannusta. (Hakkarainen 2009.)

	testing to destruction	contacting	non- contacting
manual / visual		tactile 	observation 
no reproduction of profile	touch in ink 	pneumatic 	reflection 
reproduction of profile	microtomic cut 	stylus 	laser 
			From A. Riegel

Kuva 10. Pinnanlaadun mittausmenetelmiä (Jakub & Martino 2005, 18)

##### 4.1 Pinnankarheus

Pinnan karheudella tarkoitetaan sitä, miten paljon pinnan muoto poikkeaa ideaalisesta tasomaisuudesta. Pinnankarheutta voidaan mitata, joko mekaanisesti, tai ainetta koskemattomilla laitteilla. Mekaanisista laitteista yleisin on neulamenetelmään perustuva laite. Ainetta koskemattomat laitteet ovat yleensä optisia, kuten esimerkiksi laserit. Optisilla valon heijastumiseen, tai interferenssiin perustuvilla laitteilla, päästään mekaanisesti koskettavia laitteita parempaan tarkkuuteen. (Kiviranta.)

Pinnan karheus määrää suurelta osin pinnoitteen lopullisen sileyden. Puutuotteen pinnan karheuden voidaan olettaa johtuvan kolmesta tekijästä, jotka vaikuttavat samanaikaisesti lopulliseen pinnan sileyteen. (Kiviranta.):

- 1) Puun anatominen rakenne, jota voidaan kuvata täysin sileäksi leikatun pinnan mikroskooppisena karkeutena. Ns. primääripinnan karkeuteen vaikuttavat puun rakenne, etenkin kevät- ja kesäpuun ero, työstötapa ja leikkaussuunta.
- 2) Työstön aiheuttama epätarkkuus, joka johtuu mm. asetteesta tai tylsistä teristä.
- 3) Koko kappaleen pinnan muotovirhe, joka johtuu esim. kieroutumisesta.

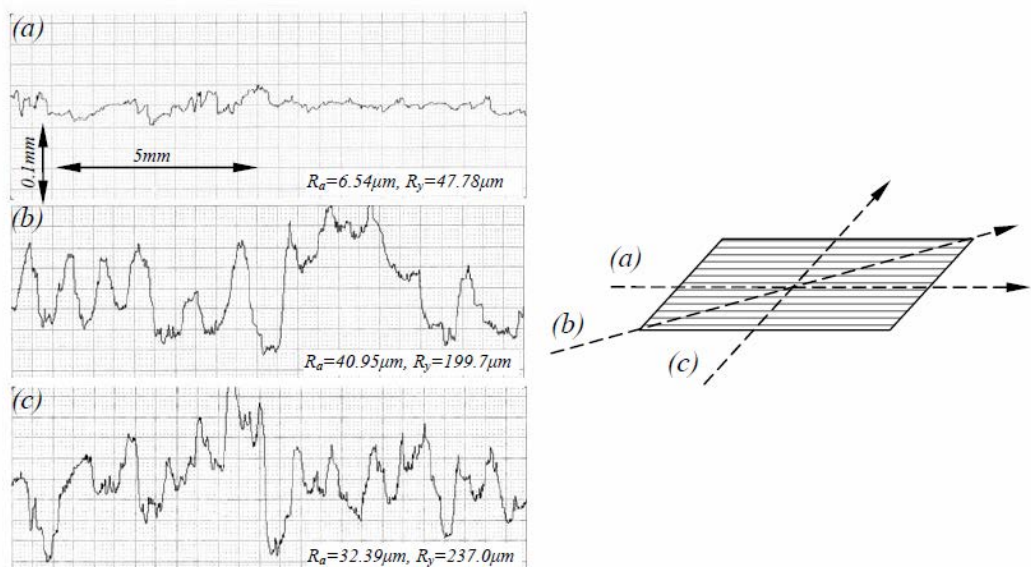
Pinnan karheutta kuvataan Ra- ja Rz-arvoilla. Keski poikkeama Ra on kaikkien mitattujen profiilien ja keskiviivan välisten etäisyyksien aritmeettinen keskiarvo. Etäisyys lasketaan yhteen ottamatta huomioon niiden etumerkkiä. (Kiviranta.)

Profiilisyvyys Rz on mittausjakson pituudella olevan profiilin viiden korkeimman ja viiden syvimmän laakson keskiarvon etäisyys toisistaan. (Kiviranta.)

#### 4.1.1 Mekaaninen mittaus

Mekaanisessa tuntokärkimenetelmässä mitattavan kappaleen pinnassa liikkuu neulan tapainen ohut kärki ja neulan pystysuorasta liikkeestä lasketaan pinnankarheus. Kärkimateriaali on yleensä timanttia tai muuta kovaa materiaalia, jonka huipun säde on tyypillisesti muutamia mikrometrejä. Menetelmällä ongelmia tuottavat pehmeät ja helposti naarmuuntuvat materiaalit, sillä neula aiheuttaa pintaan jälkiä ja mahdollisesti naarmuja. Tärinä aiheuttaa mittausvirheitä, joten mittauksia ei voi suorittaa luotettavasti kuin laboratorio-olosuhteissa. Kappaleen muoto rajoittaa mittaamista joissain tapauksissa, sillä kosketukseen perustuva mittaustapa vaatii kappaleelta luokseen päästävyttä. Lisäksi mittaaminen vaatii aina linjan pysäyttämistä, joten sitä ei voida hyödyntää reaaliaikaiseen mittaamiseen. (Honkala 2011, 29–30.)

Mekaanisella mittauksella pystytään havaitsemaan vain ohut kaistale, mikäli epätaisuus ei osu kyseiselle kaistalle, se ei näy mittaustuloksissa. Useat mittaukset parantavat mekaanisen mittauksen luotettavuutta kappaleen osalta. Puuta mitattaessa on myös tärkeää huomioida mittaussuunta (kuva 11)

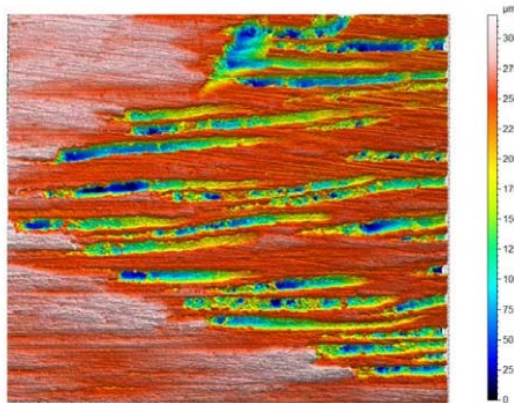


Kuva 11. Mittaussyunnan merkitys mittaustulokseen (Jakub & Martino 2005, 6)

a) Syiden suuntaan b) 45 kulmassa c) kohtisuoraan syitä vastaan

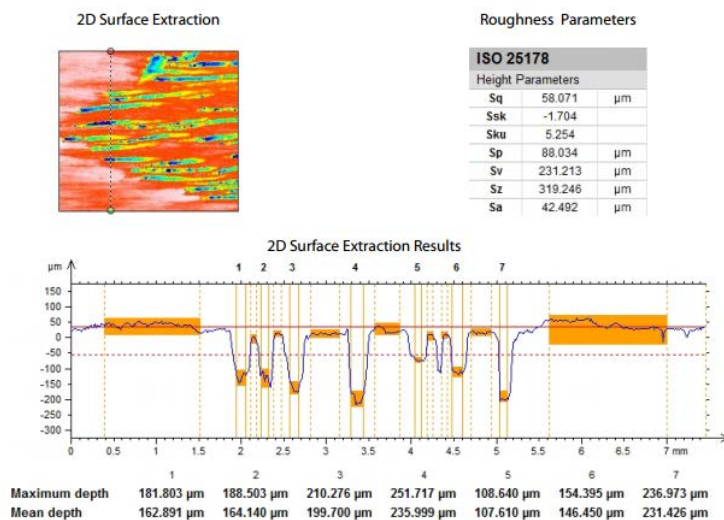
#### 4.1.2 Optinen mittaus

Optisessa mittauksessa lasketaan pinnankarheus kappaleen pinnassa hajonneesta valosta. Koska optinen mittaus tapahtuu valon avulla, tutkittavan materiaalin pinta säilyy ehjänä. Optisella mittauksella mittaustaistan leveys on suurempi mekaaniseen mittaukseen verrattuna. (Honkala 2011, 30.)



Kuva 12. 3d malli tammen pinnasta (Leising 2011, 6)

3D mallilla saadaan tarkat pinnanmuodot ja nanometriset piirteet puun pinnasta (kuva 12). Mekaanisen ja optisen mittauksen erona on siis mittaustaistan leveys. 3D mittaus huomioi kappaleen muodot leveämmältä alueelta eli pintana. 3D mallista on helppo tehdä leikkauksia eli 2D malleja (kuva 13), sekä lukuisia muita jatkoanalyysseja. 3D mittaukseen perustuvien laitteiden käyttö ei ole yleistä puu alalla. 3D mittalaitteet ovat yleensä isoja pöytämallisia laitteita. Markkinoilla on myös muutamia kannettavia pölynkestäviä malleja, mutta laitteet ovat kalliita ja niissä on vielä varsin pieni mittausta-alue. (Leising 2011, 2.)



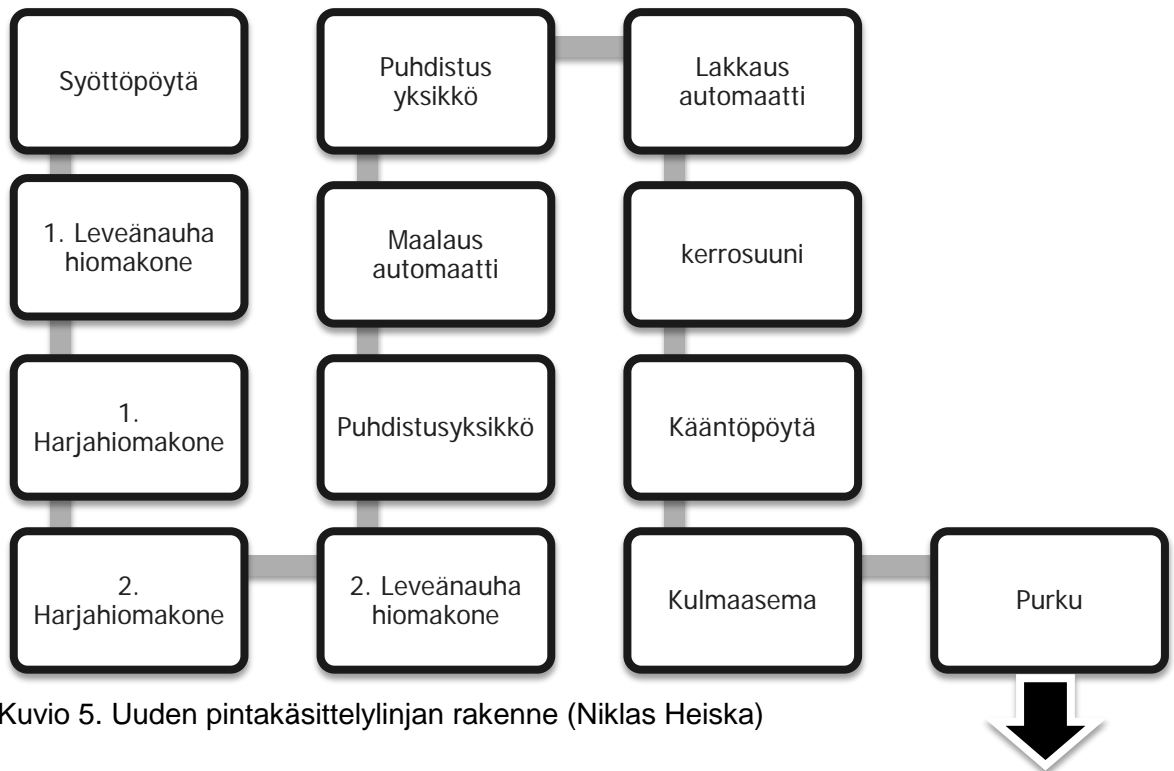
Kuva 13. leikkaus 3d mallista (Leising 2011, 6)

#### 4.2 Surftest SJ-201 P

Kannettava pinnankarheudenmittalaite Surftest SJ-201P on pienikokoinen. SJ-201P mittaa pinnan karheuden parametrit nopeasti ja vaivattomasti. Mitattavia pinnankarheuden arvoja ovat Ra, Ry, Rt, Rz, Rq ja Rp. Mittauspituus voidaan valita pituuksista 0,25; 0,8; 2,5. Mallissa on, sekä RS-232 C-, että DIGIMATIC-liitäntä, mikä mahdollistaa työskentelyn PC:llä, sekä mittaus tietojen siirron Mitutoyon DIGIMATIC miniprosessoriin. Laitteeseen on saatavilla monipuolisia anturi- ja apuvälineitä, joiden ansiosta laitteella on erittäin laaja käyttöalue. (Mittauslaitteet, 342-344.)

## 5 PINTAKÄSITTELYLINJA PROSESSIN VAIHEET

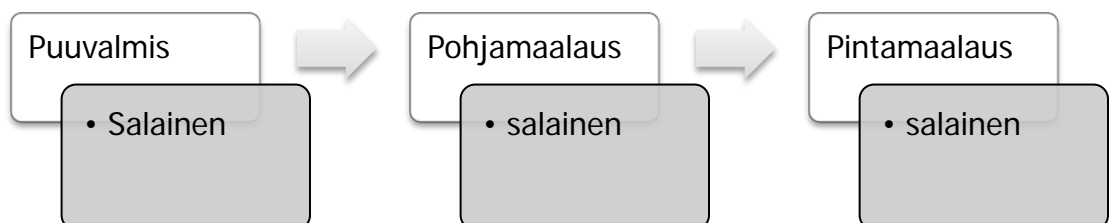
Pintakäsittely linjalla tapahtuu kappaleen hionta ja pintakäsittely. Laitteet ovat täysin automatisoituja ja ainoastaan kappaleiden syöttö ja purku hoidetaan käsin. Kuviossa 5 on esitetty Mellano:n uuden pintakäsittelylinjan rakenne.



Kuvio 5. Uuden pintakäsittelylinjan rakenne (Niklas Heiska)

### 5.1 Pintakäsittelylinja

Kappaleet tulevat kantti- ja porapisteeltä häkeissä uudelle pintakäsittelylinjalle, jossa linjan hoitaja lataa kappaleet syöttöpöydälle. Kappaleet kulkevat kuljettimilla kuvion 6 mukaisesti.



Kuvio 6 Pintakäsittelyvaiheet (Niklas Heiska)

### 5.1.1 Hiontaprosessi



Kuvio 7 Hiontaprosessin vaiheet (Niklas Heiska)

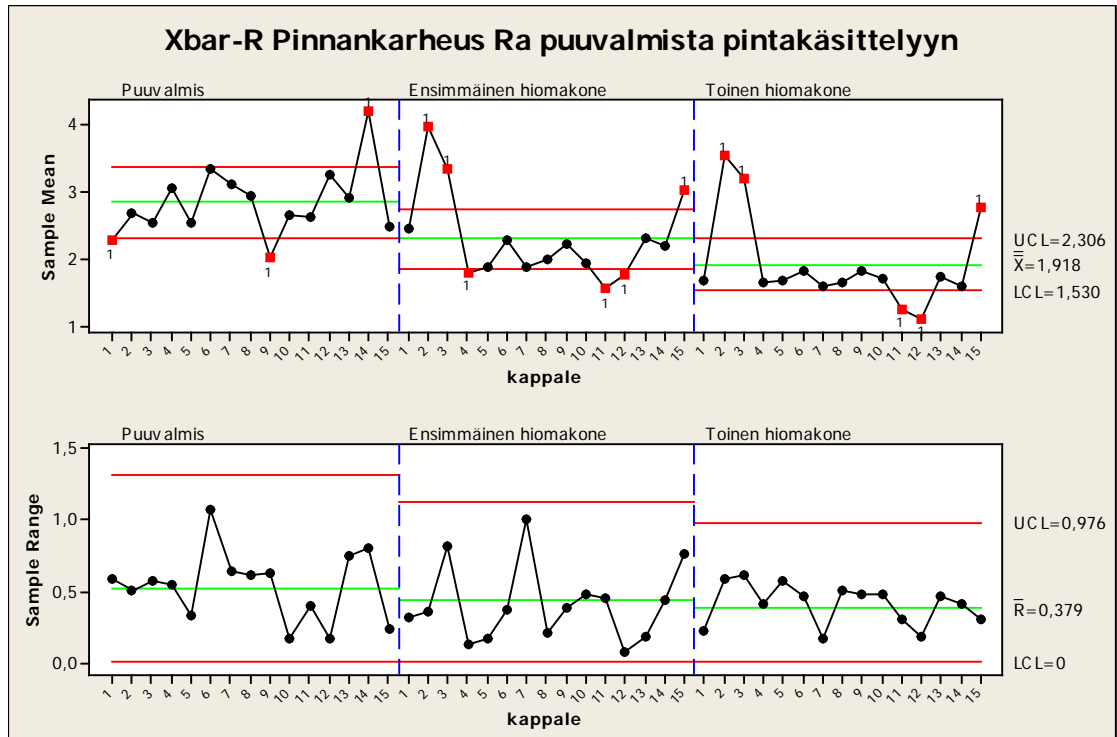
Kun siirrytään kuvion 7 mukaisesti, ensimmäisenä leveänauhahiomakone hioo kappaleiden tasopinnat. Seuraavana harjahiomakoneet hiovat kappaleet poikittaisessa suunnassa liikkuvilla harjapäillä ja pitkittäissuunnassa pyörivien harjojen avulla. Seuraavana vuorossa on toinen leveänauhahiomakone ja viimeisenä hiontaprosessiin kuuluu puhdistusyksikkö, joka puhdistaa kappaleet hiontapölystä sekä staattisesta sähköstä.

### 5.1.2 Hiontaprosessin nykytilanne

Hionnan nykytila selvityksessä valittiin viisitoista (15) koekappaletta, joiden jokaisen pinnankarheus mitattiin kolmesta (3) kohtaa, kolmessa (3) eri vaiheessa:

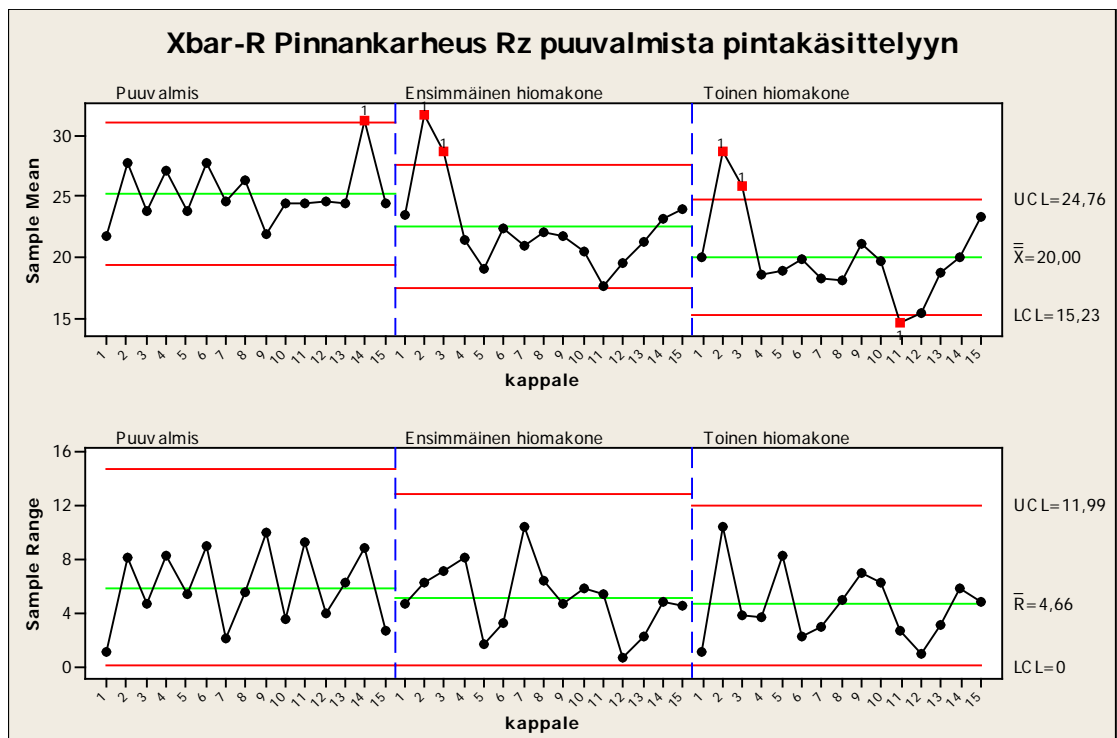
- 1) ennen hiontaa,
- 2) ensimmäisen hiontaprosessin läpi,
- 3) toisen hiontaprosessin läpi.

Tulokset on esitetty graafisesti.



Kuvio 8. Pinnankarheus Ra puuvalmiista pintakäsittelyyn (Niklas Heiska)

Kuviossa 8 on esitetty hionnan vaikutus hajontaan ja keskiarvoon. Puuvalmiissa levyssä on paljon hajontaa ja Ra:n keskiarvo on 2,8  $\mu\text{m}$ . Ensimmäisen hionnan jälkeen keskiarvo tippuu 2,3  $\mu\text{m}$ :iin ja toisen jälkeen 1,9  $\mu\text{m}$ :iin.

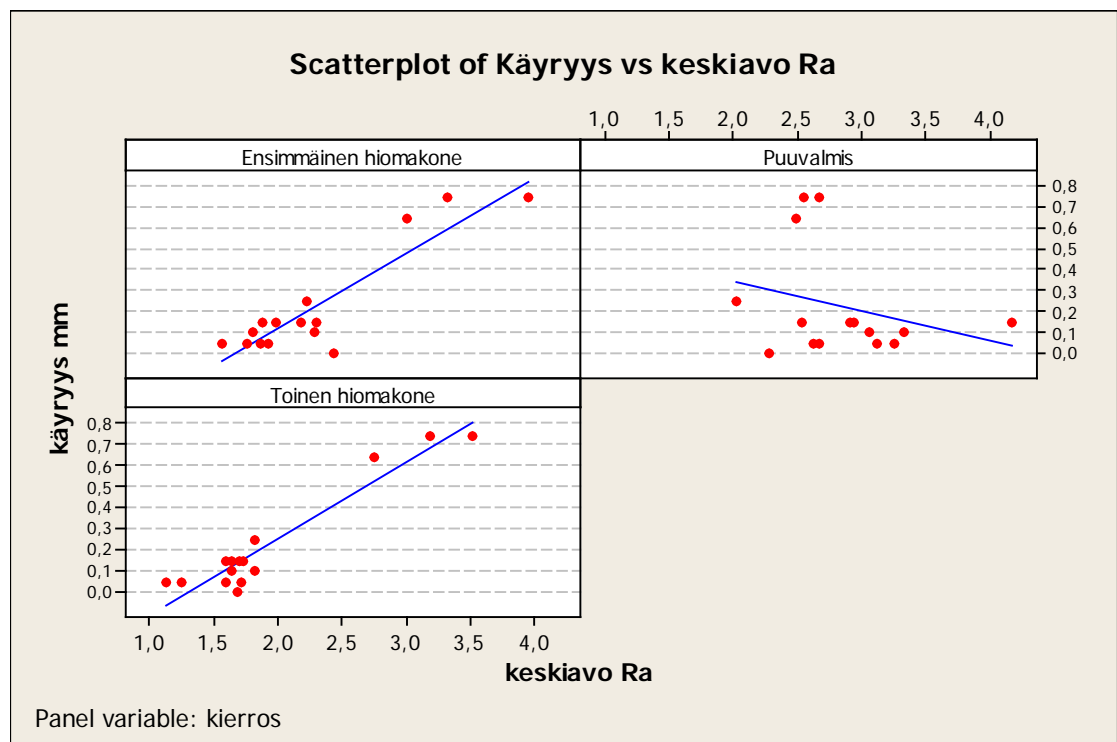


Kuvio 9. Pinnankarheus Rz puuvalmiista pintakäsittelyyn (Niklas Heiska)

Kuviossa 9 on esitetty Rz-arvot. Hionta tiputtaa keskiarvoja puuvalmiista 25,2  $\mu\text{m}$ :stä, ensimmäisen hionnan jälkeen 22,4  $\mu\text{m}$ :iin ja toisen jälkeen 20  $\mu\text{m}$ :iin.

Ylärajan yläpuolella olevat punaiset neliöt ovat erityissytä. Erityissytä tutkittaessa huomattiin, että kappaleet 2,3 ja 15 olivat käyriä. Alarajan ylitykseen ei löydetty mitään erityistä syytä.

Kappaleiden käyryys mitataan levyn koveralta puolelta levyn pituisella viivaimella levyn lävistäjiä ja kaikkia reunoja pitkin. Suurin mitattu arvo on levyn käyryys. Levyn kierous mitataan asettamalla levy siten, että levy on kolmesta nurkasta kiinni tasossa, neljännen nurkan etäisyys tasosta on levyn kierous. (Ohje kiintokalusteiden laatuvaatimuksista ja laadun arvioinnista. 2003.)



Kuvio 10. Käyryyden ja Ra arvojen korrelaatio (Niklas Heiska)

Kuviossa 10 nähdään, että on olemassa 90 %:n lineaarinen regressio. Käyryyden oltaessa suuri myös pinnankarheus on suuri. Prosessi ei ole kyvykäs hiomaan kappaleita, jotka ovat yli 0,6 mm:iä käyriä. Pieni käyryys ei vaikuta hionnan lopputulokseen. Tallatoimisen leveänauhahiomakoneen tulisi myötäillä pinnan epätasaisuuksia pitkin, mutta kun näin ei ole voidaan päätellä, että koneen osat ovat joko kuluneet, tai kone ei ole oikein säädetty. Kieroudella oli vain 1,2 %:n lineaarinen regressio, eli sillä ei ole tilastollista yhteyttä mitattuihin Ra-arvoihin.



### 5.1.3 Maalaus ja kuivaus

Kuljettimet siirtävät hiotut ja puhdistetut kappaleet maalauslinjalle, jossa ne maalaan Airmix-ruiskautomaatilla. Prosessissa käytettävät pohja- ja pintamaalit ovat katalyyttimaaleja. Kiiltävät kappaleet lakataan kuivumisen jälkeen vielä lakkaus automaatissa.

Kappaleet kuivataan 4-lohkoisessa kerroskuivaajassa. kuivaus jaetaan kolmeen vyöhykkeeseen:

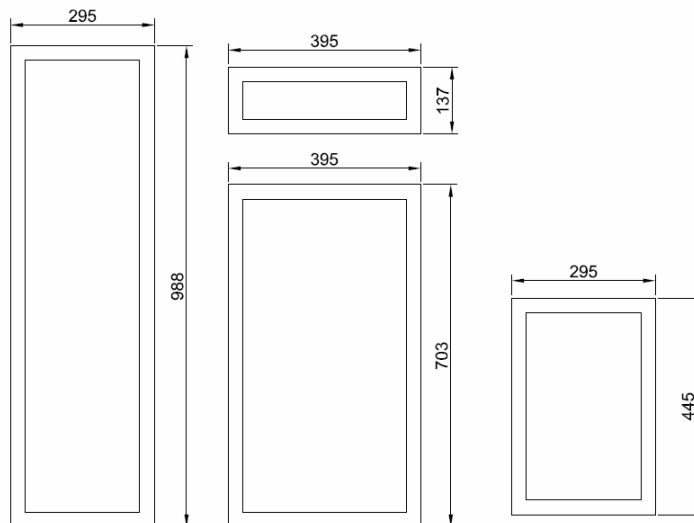
- 1) Haihdutusvyöhyke. Pinnoite tasaantuu ja laskeutuu alustan huokosiin osiin sekä osa liuottimista poistuu haihtumalla.
- 2) Kuivausvyöhyke yksi.
- 3) Kuvausvyöhyke kaksi. Pinnoitekalvosta haihtuu loput ohenteet.
- 4) Jäädytysvyöhyke. Vältetään kappaleiden tarttumista toisiin pinkkausvaiheessa.

## 6 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Tässä luvussa selvitetään eri mittaustapoja, joilla hiontaa tutkittiin ja käydään läpi kuinka hionta kahdella eri karheudella heijastuu näihin mittareihin, sekä arvioidaan mittareilla saatua dataa. Luvussa tutkitaan myös yhden mittarin luotettavuutta Gage R&R menetelmällä.

### 6.1 Koekappaleet

Mittauksia varten tehtiin koekappaleita, joista pinnanlaatu mitattiin. Koekappaleiden raaka-aineiksi valittiin 16 mm:n MDF-levy. Levyt otettiin tuotannon materiaali varastosta ja levyt sahattiin levysahalla, sekä Fasetti jyrsittiin CNC-koneella kuvan 14 mukaisiin mittoihin. Koekappaleet ovat perusmitallisia MDF-kaluste ovi komponentteja.



Kuva 14. Jyrsittyjen kappaleiden mitat (Niklas Heiska)

### 6.2 Mittaukset

Mittaukset tehtiin soveltaen seuraavia standardeja.

**SFS-ISO 4287-2** PINNANKARHEUSSUUREIDEN MITTAAMINEN. Measurement of surface roughness parameters.

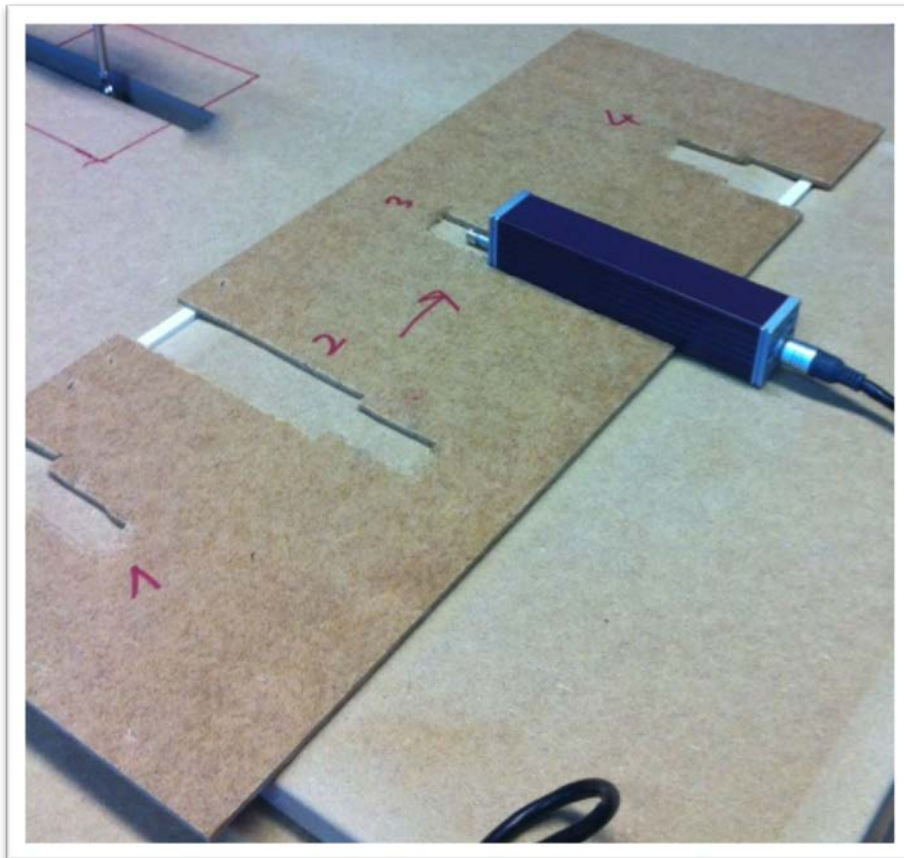
**SFS-EN 382-1** KUITULEVYT. PINTA-ABSORPTIO. OSA 1: TESTAUSMENETELMÄ KUIVAMENETELMÄLLÄ VALMISTETUILLE LEVYILLE. Fibreboards. determination of surface absorption. part 1: Test method for dry process fibreboard

**SFS-EN 828** Adhesives. Wettability. Determination by measurement of contact angle and critical surface tension of solid surface

### 6.2.1 Pinnankarheus

Kappaleiden pinnankarheus mitattiin kahdesti, ennen ja jälkeen hionnan. Jokaiselle erikokoiselle mitattavalle kappaleelle (kuva 15) tehtiin sapluunat, jotta mittaukset suoritettaisiin samasta kohdasta. Mittauksia oli neljä ja ne merkittiin sapluunaan numeroin 1–4. Kappaleessa ja sapluunassa oli nuoli, joka mahdollisti kappaleiden mittauksen aina samoin päin (kuva 20). Mitattavina arvoina olivat Ra- ja Rz-arvot.

Testissä käytettiin Surftest SJ-201 P profilometriä. Pinnankarheutta mitattiin standardin SFS-ISO 4287-2 mukaisesti.



Kuva 15. Sapluuna (Niklas Heiska)

### 6.2.2 Paino

Kappaleiden paino mitattiin vaa'alla pystyssä kuvan 16 mukaisella telineellä. Mittaukset suoritettiin juuri ennen hiontaa ja välittömästi sen jälkeen, jotta MDF-levy ei kerkeä luovuttaa, tai vastaanottaa kosteutta ympäröivästä ilmasta. Vaa'an tarkkuus oli 0,1 g:a ja maksimi paino 6,2 kg:a.



Kuva 16. Vaaka ja teline (Niklas Heiska)

### 6.2.3 Paksuus

Paksuusmittaria varten rakennettiin teline, jossa mittari pysyi paikallaan (kuva 17).

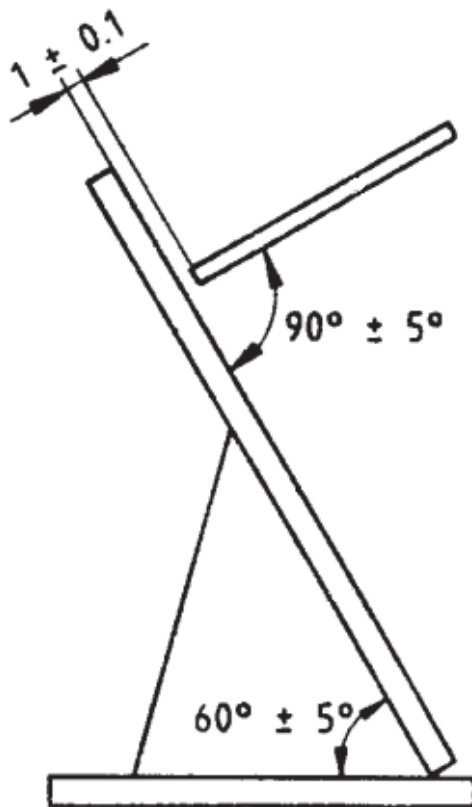
Mittarissa on mittakello, jonka tarkkuus on 0,01mm. Kappaleet mitattiin 5 cm:n päästä nurkista sekä keskeltä.



Kuva 17. Paksuusmittari (Niklas Heiska)

#### 6.2.4 Absorptio

Kappaleita varten tehtiin kuvan 18 mukainen teline. Standardia SFS-EN 382-1 sovellettiin käyttämällä 100% tolueenin siasta pesuliuosta, joka sisältää tolueenia 60%-100% ja nestettä käytettiin 1ml sijasta 0,3 ml. Neste tiputettiin kappaleen pinnalle pipetillä ja mitattiin kuinka pitkälle valuma yletyi. Matka mitattiin rullamitalla 1 mm tarkkuudella. Mitä lyhemmälle matkalle liuos etenee, sitä suurempi imeytyminen levyyn on.



Kuva 18. Teline SFS-EN 382-1

### 6.2.5 Kostuvuus

Kappaleen pintaan tiputettiin pipetillä 5  $\mu$ l pisara, joka kuvattiin yhdeltä sivulta kameralla (kuva 19). Yhteensä 6 kuvaa otettiin 10 sekunnin välein. Tietokoneohjelmalla tutkittiin pisaran kontaktikulmaa. Nesteinä käytettiin tislattua huoneenlämpöistä vettä. Testissä sovellettiin SFS-EN 828 standardia. Mitä loivempi kontaktikulma on, sitä kostuvampi ja vettä imevämpi pinta on.



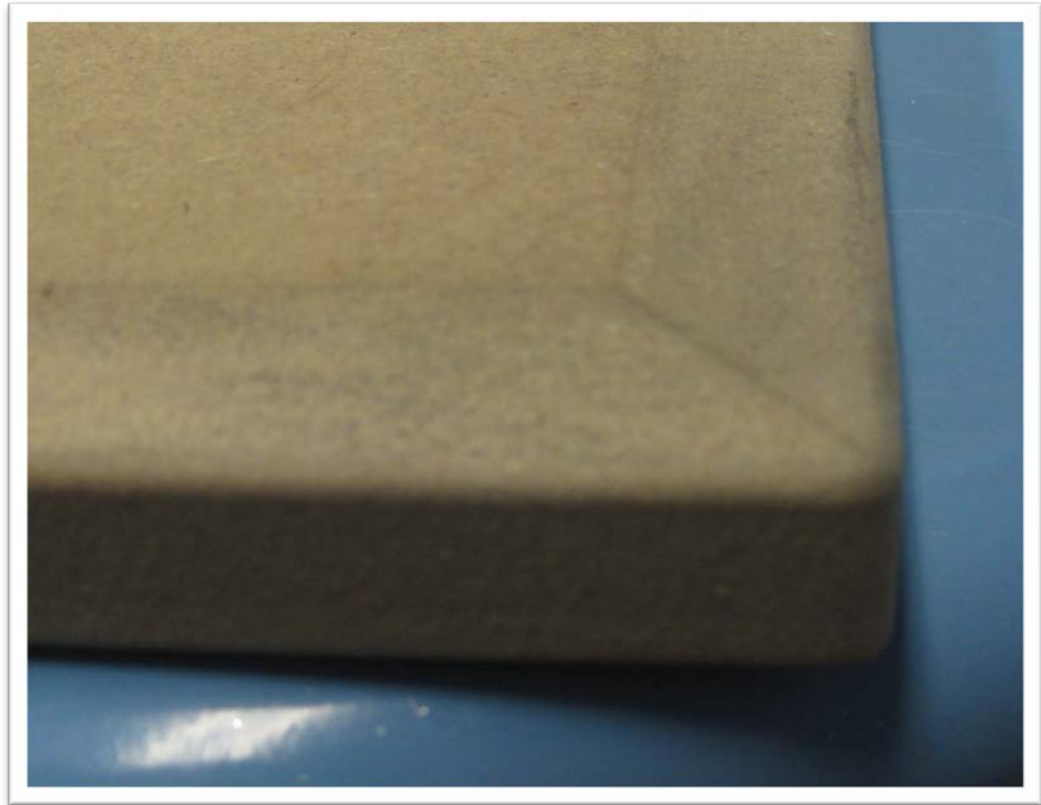
Kuva 19. Kamera ja pipetti (Niklas Heiska)

### 6.2.6 Virrankulutus

Hionnan virrankulutusta seurattiin hiomakoneessa olevasta monitorista, joka näyttää prosentuaalisen virrankulutuksen.

### 6.2.7 Visuaalinen pinnanlaatu

Visuaalisessa tarkastelussa kappaleita peilattiin valoa vasten ja tutkittiin onko fasettijyrsinnän geometria muuttunut (kuva 20), sekä näkyvätkö hiontajäljet selvästi.



Kuva 20. Fasetti jyrsintä (Niklas Heiska)

### 6.3 Mittalaitteen luotettavuuden selvittäminen (Gage R&R)

Hyvässä mittalaitteessa suurin vaihtelu on Part-To-Part vaihtelu. Part-to-Part % contribution arvo 100 % tarkoittaa, että 100 % vaihtelusta aiheutuu eroista osien välillä. Mitä suurempi Part-to-Part % Contribution-arvo on, sen paremmin systeemi pystyy erottelamaan eri osat toisistaan. Total Gage R&R study var ollessa  $<10\%$  tulos on erinomainen. Näissä testeissä tulos on 0,07, eli erinomainen. Number of Distinct Categories täytyy olla vähintään 5, jotta systeemi on hyväksyttävä ja se pystyy erottelamaan osat. Testissä luku on 1914 eli hyväksyttävä. (taulukko 6)



Taulukko 6. Gage R&R tutkimus tulokset. (Niklas Heiska)

### Gage R&R Study Worksheet

Parts: 12 Operators: 2  
Replicates: 3 Total runs: 72

### Gage R&R Study - ANOVA Method

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	11	2743,07	249,370	9681413	0,000
Operators	1	0,00	0,000	2	0,191
Parts * Operators	11	0,00	0,000	1	0,290
Repeatability	48	0,00	0,000		
Total	71	2743,07			

Alpha to remove interaction term = 0,25

#### Two-Way ANOVA Table Without Interaction

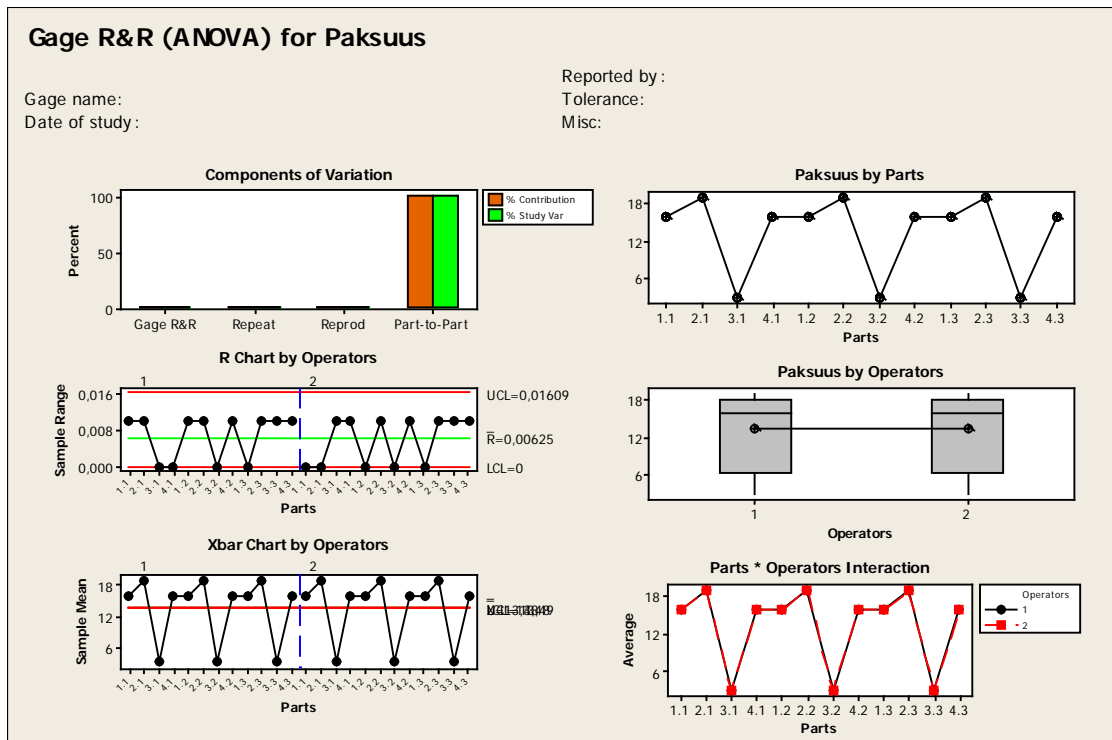
Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	11	2743,07	249,370	11464530	0,000
Operators	1	0,00	0,000	2	0,135
Repeatability	59	0,00	0,000		
Total	71	2743,07			

### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000	0,00
Repeatability	0,0000	0,00
Reproducibility	0,0000	0,00
Operators	0,0000	0,00
<b>Part-To-Part</b>	<b>41,5616</b>	<b><u>100,00</u></b>
Total Variation	41,5616	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,00475	0,0285	0,07
Repeatability	0,00466	0,0280	0,07
Reproducibility	0,00089	0,0053	0,01
Operators	0,00089	0,0053	0,01
Part-To-Part	6,44683	38,6810	100,00
Total Variation	6,44683	38,6810	100,00

Number of Distinct Categories = 1914



Kuvio 11. Gage R&R- kokeen tulokset graafisesti esitettynä (Niklas Heiska)

Components of variation on graafinen esitys Gage R&R taulukosta, joka nähtiin jo edellisellä sivulla.

R-Chart sisältää pisteet, jotka esittävät pienimän ja suurimman mittauksen välisiä eroja. Pisteet on järjestetty operaattoreittain, joten voidaan verrata operaattoreiden yhdenmukaisuutta. Jos jokin piste menee yli ylemmän ohjausrajan, silloin operaattorilla on vaikeuksia osien yhdenmukaisuudessa mittaamisessa. (Karjalainen 2010.) Kuviossa 11 operaattoreilla ei ole vaikeuksia osien yhdenmukaisessa mittauksessa.

Xbar Chart by Operators vertaa Part To Part vaihtelua toistettavuuteen. Kun mahdollisimman paljon pisteitä menee ohjausrajojen yli, se kertoo että mittaussysteemi on riittävä (Karjalainen 2010.), kuten Kuviossa 11 näkyy.

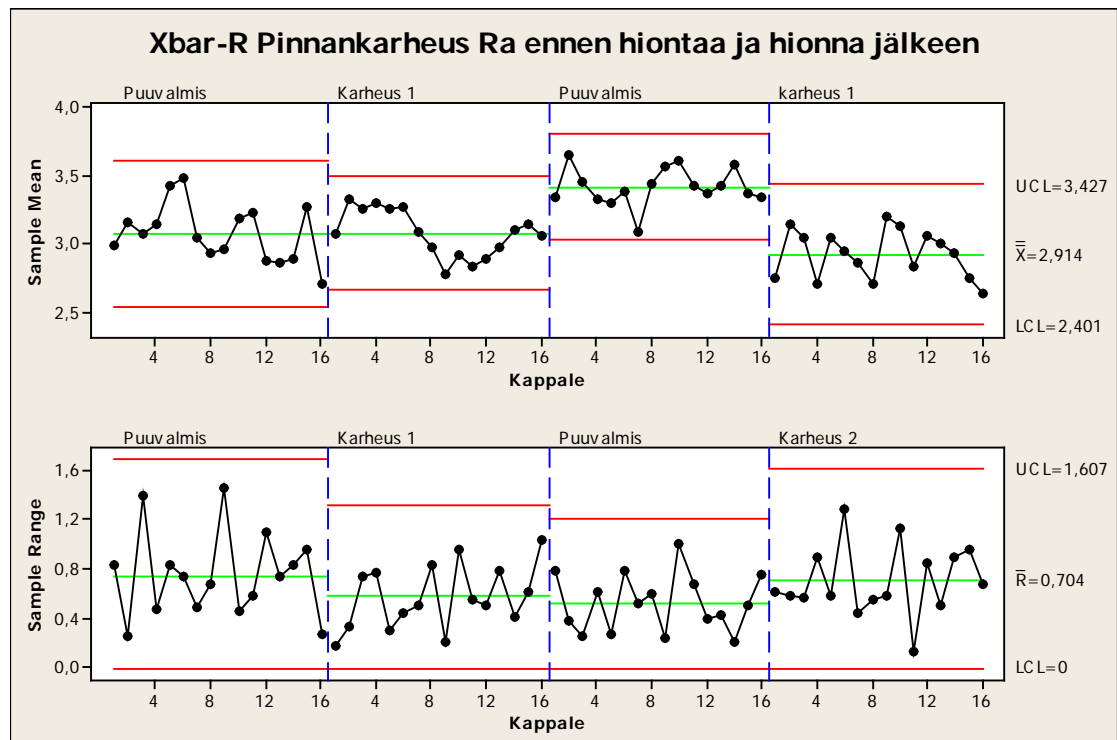
Paksuus by parts kuva esittää kaikki tutkimuksessa otetut mittaukset järjestettynä osien mukaan järjestykseen. Ideaalista on, että jokaisen mittauksen pisteet ovat lähellä toisiaan, eli mittauksissa ei ole paljon vaihtelua. Keskiarvot vaihtelevat riittävästi, joka kuvaa eri osia toisistaan. (Karjalainen 2010.) Kuviossa 11 pisteet ovat lähellä toisiaan ja keskiarvo vaihtelee erottaen eri osat toisistaan.

Paksuus by operator kuvaa operaattoreiden päävaikutus kuvan, joka auttaa määrittämään onko mittaukset ja vaihtelu operaattoreiden välillä yhdenmukainen. Graafi esittää kaikki tutkimuksen mittaukset järjestettynä operaattoreittain. Pyöreä ympyrä-risti symboli esittää keskiarvoja, musta viiva yhdistää operaattoreiden keskiarvomittauksia. (Karjalainen 2010.) Kuviossa 11 vaakasuora viiva on x-akselin suuntainen, joka tarkoittaa että operaattorit mittaavat osia samalla tavalla

Parts \* operators interaction kuva esittää keskiarvomittaukset, jotka on jokainen operaattori ottanut jokaisesta osasta ja ne on järjestetty osien järjestykseen. Pisteet on yhdistetty viivalla. (Karjalainen 2010.) Kuviossa 11 viivat noudattavat samaa kuvioita, joka tarkoittaa, että operaattorit mittaavat osia samalla tavalla ja osien keskiarvot vaihtelevat, eli osien välinen ero on selvä.

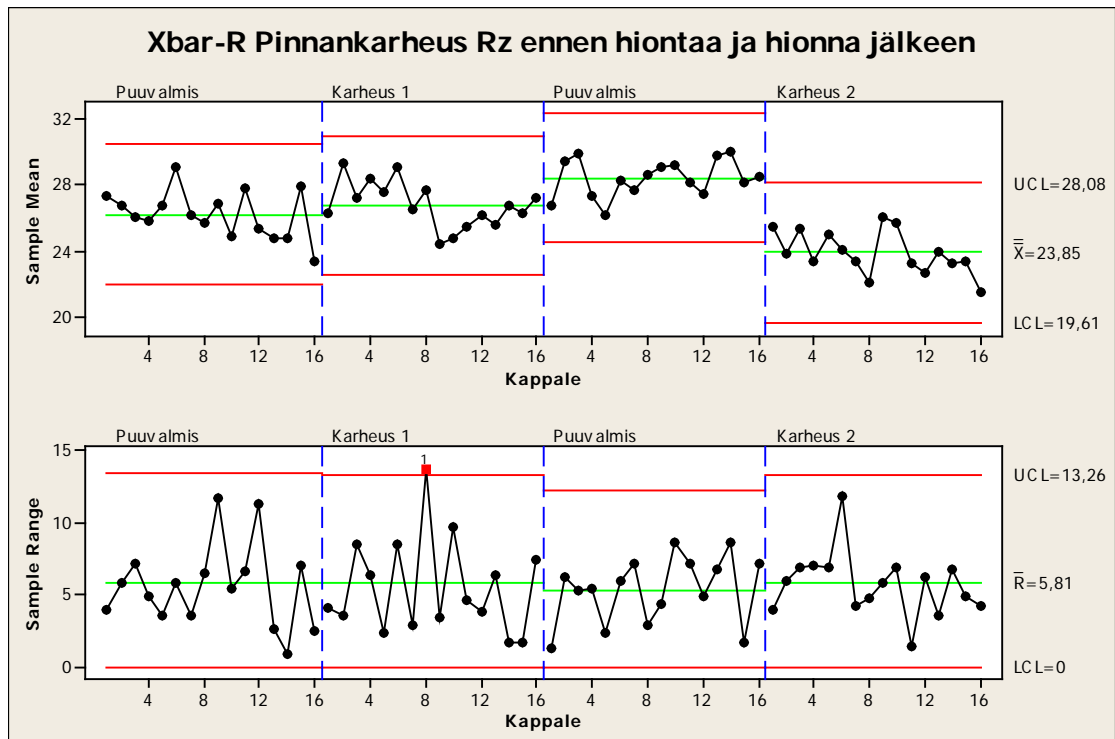
#### 6.4 Mittaus tulokset

Mittaukset tehtiin kahdelle eri hiomanauhalle. Tulokset on esitetty graafisesti.



Kuvio 12. Pinnankarheus Ra karheudella 1 ja 2 (Niklas Heiska)

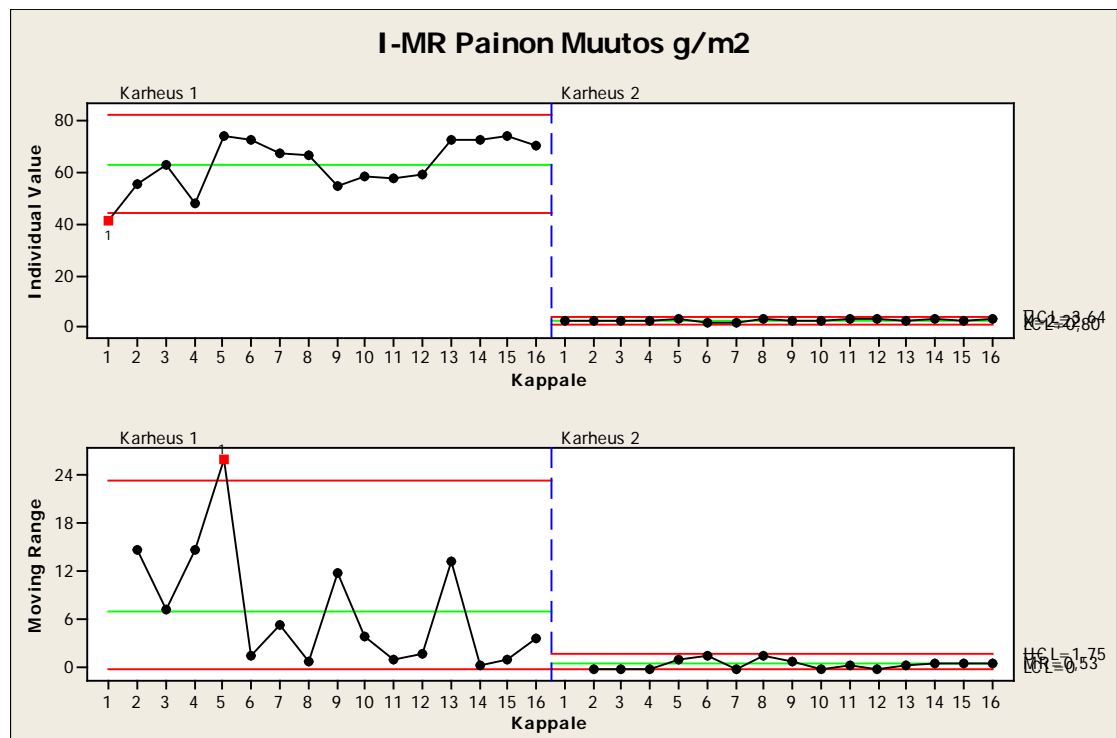
Kuviossa 12 nähdään, että hiottaessa karheudella 1 pinnakarheudessa ei ole keskiarvollista muutosta, mutta hajontaa saadaan pienennettyä. Kun hiotaan karheudella 2, keskiarvo tippuu, mutta hajonta kasvaa.



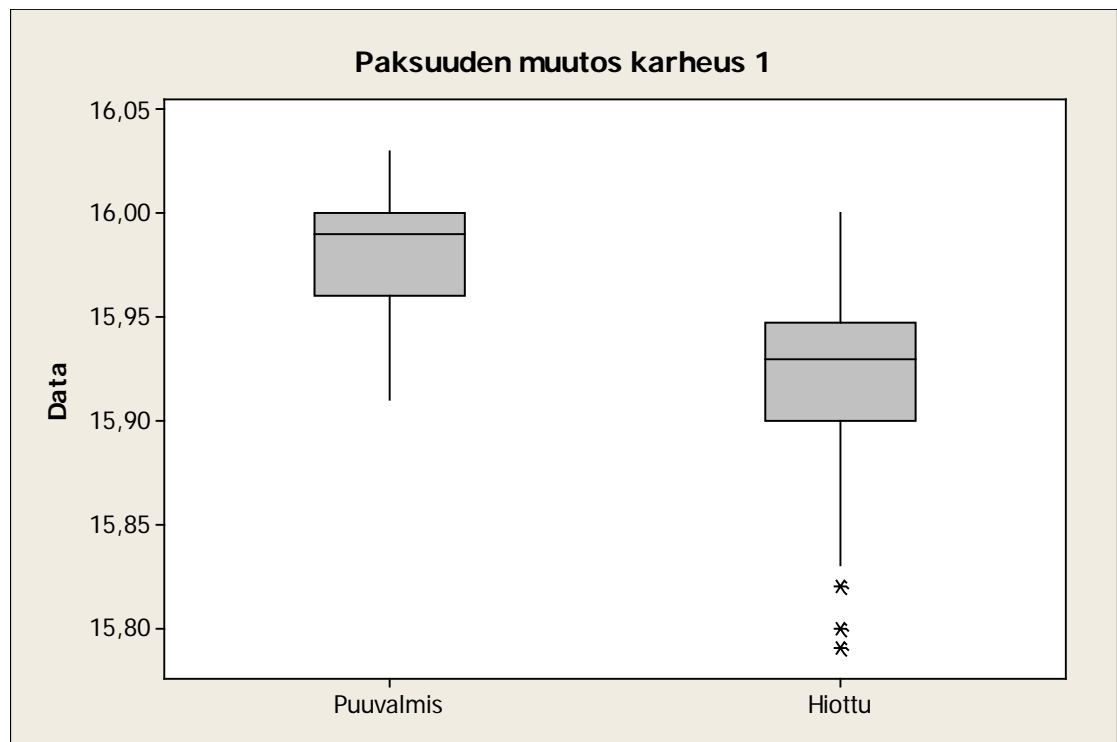
Kuvio 13. Pinnankarheus Rz karheus 1 ja 2 (Niklas Heiska)

Karheudella 1 hiominen ei aiheuta juurikaan muutosta keskiarvoon tai hajontaan.

Karheudella 2 hionnassa nähdään keskiarvollinen alentuminen ja hajonnan vähäinen kasvaminen (kuvio 12)

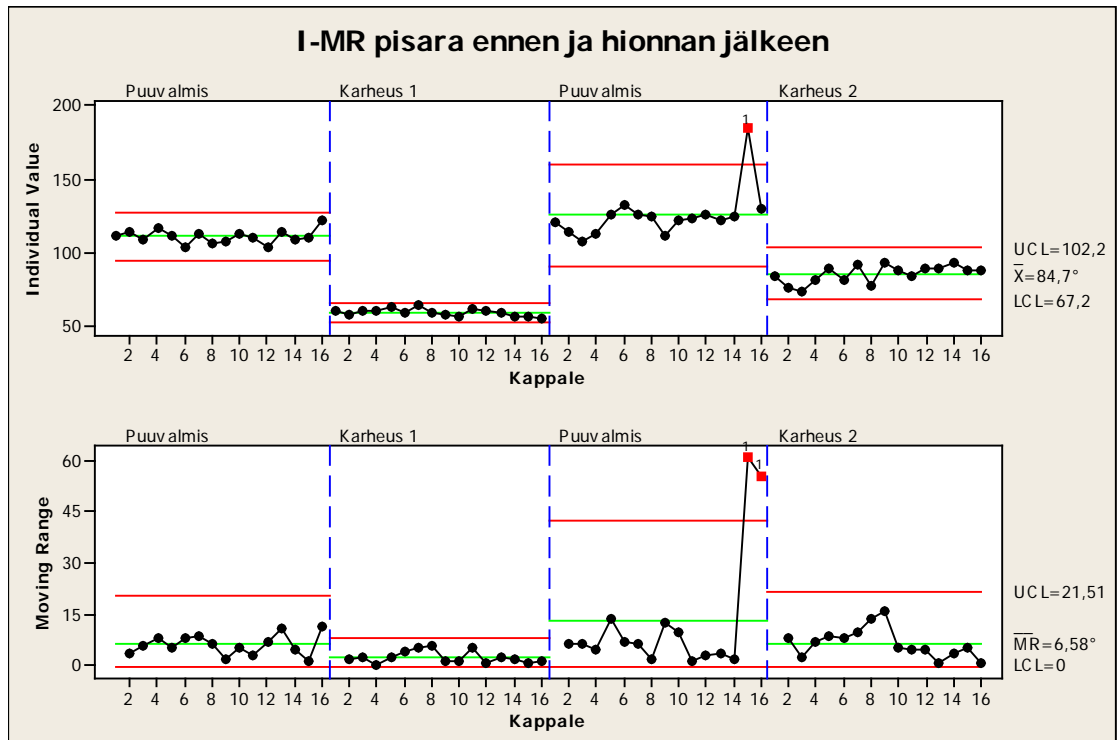
Kuvio 14. Painon muutos g/m<sup>2</sup> (Niklas Heiska)

Poistetun materiaalin määrän ero hiomanauhojen välillä on erittäin suuri. Karheus 2 poistaa vain 3,5 % verrattuna karheuteen 1 (kuvio 12).



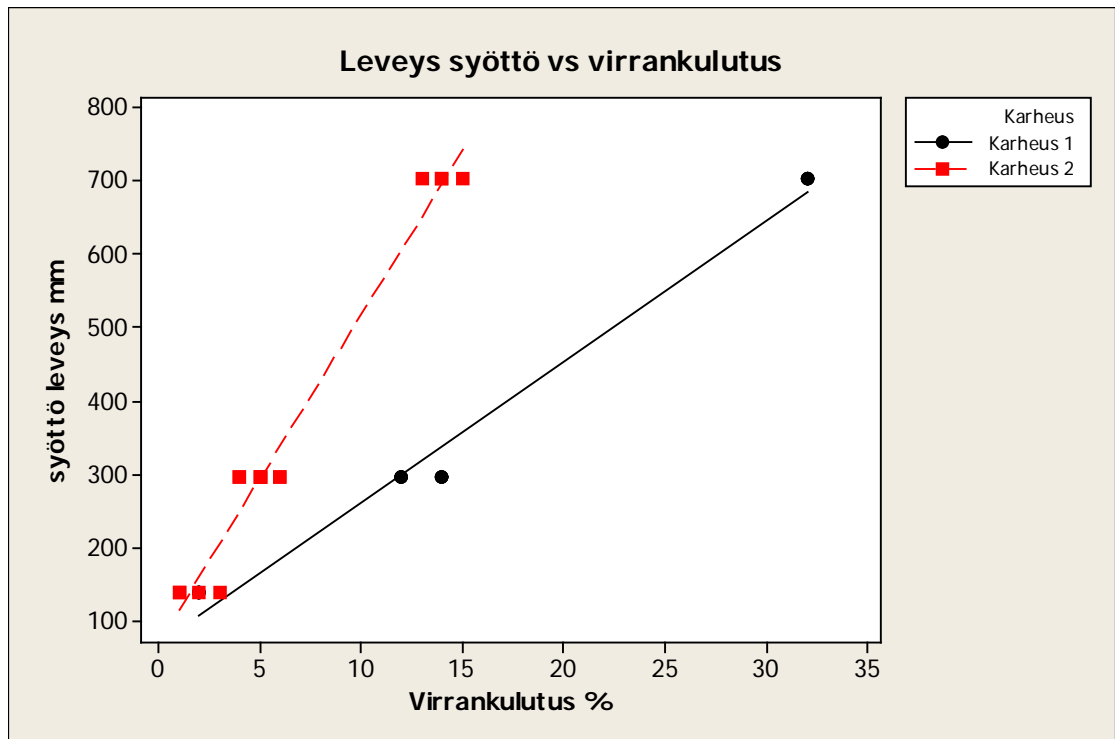
Kuvio 15. Paksuuden muutos karheus 1 (Niklas Heiska)

Kuviossa 12 on esitetty paksuuden muutos hiottaessa karheudella 1. Karheudella 2 poisto oli niin vähäinen, että paksuusmittari ei rekisteröinyt minkäänlaista muutosta paksuudessa.



Kuvio 16. Pisaran kontaktikulma karheus 1 ja 2 (Niklas Heiska)

Vaikka pinnankarheus ei muutu hiottaessa karheudella 1, niin pisaran kontaktikulma on huomattavasti loivempi, mikä tarkoittaa, että pinta imee paremmin kosteutta. Pinnankarheuden pienentyessä kontaktikulma kasvaa, eli pinnan kostuvuus alenee (kuvio 16).



Kuvio 17. Virrankulutus (Niklas Heiska)

Syötettävän kappaleen leveyden kasvaessa virrankulutus kasvaa. Karheus 1 hiomanauhalla on suurempi materiaalin poisto, eli rajumpi hionta, joten virrankulutuskin on suurempi verrattuna karheuteen 2 (kuvio 17).

## 6.5 Mittalaitteiden analysointi

Tässä luvussa arvioidaan, miten eri mittarit heijastivat pinnanlaadun arvoja ja olivatko tulokset johdonmukaisia sekä teorian mukaisia.

### 6.5.1 Pinnankarheus

Pinnankarheus mittari antoi tarkkaa ja yhdenmukaista tietoa pinnankarheudesta. Huonoa mittarissa on mittausalue. Jos halutaan luotettavaa tietoa pinnankarheudesta, joudutaan tekemään lukuinen määrä mittauksia, mikä on hidasta.

### 6.5.2 Paino

Punnitusmenetelmä antoi hyvän kuvan hionnan materiaalin poistosta. Huomioon on kuitenkin otettava punnitustapa. Punnitseminen on suoritettava juuri ennen hiontaa ja heti hionnan jälkeen, jotta puuaines ei kerkeä sitoa tai luovuttaa kosteutta ilmaan ja näin ollen muuttaa painoa. Siirryttäessä hienompiin hiomanauhoihin täytyy myös

vaa'an tarkkuus olla erittäin hyvä vähintään 0,01 g:a. Paikan lämpötila, kosteus sekä ilmavirtaukset vaikuttavat myös mittaustuloksiin.

### 6.5.3 Paksuus

Paksuusmittaus antoi tietoa hionnassa poistetun materiaalin paksuudesta. Kuitenkin tallatoimisen leveänauhahiomakoneen materiaalin poisto on niin vähäistä, että kyseistä mittaria pystytään käyttämään vain karheimmilla hiomanauhankarheuksilla. Materiaalit täytyy säilyttää samassa ilmankosteudessa ja lämpötilassa, jotta materiaalit eivät pääse kutistumaan tai turpoamaan ja näin ollen muuttamaan paksuutta.

### 6.5.4 Absorptio

Standartin soveltamisella ei saatu hyviä tuloksia. Tulokset olivat teorian suuntaiset mutta eivät yhdenmukaisia. Mittaustapahtuma kannattaa suunnitella hyvin ja etenkin nesteen vapauttaminen siten, että tuloksia ei pysty manipuloimaan. Nesteenä kannattaa käyttää standartin mukaista 100 %:sta tolueenia.

### 6.5.5 Kostuvuus

Pisara muodostui hyvin MDF-levyn pinnalle ja mittaukset olivat helppo suorittaa. Tislatulla vedellä pisaran muutos 60 sekunnissa ei ollut suuri, joten mittauksia kannattaisi suorittaa nesteellä, jonka pintajännitys on alhaisempi. Saataisiin suurempi pisaran muutos aikaiseksi. Pisaran mittaaminen on hidasta, eikä sillä saada mitattua kuin pisaran läpimittainen alue.

### 6.5.6 Visuaalinen tarkastelu

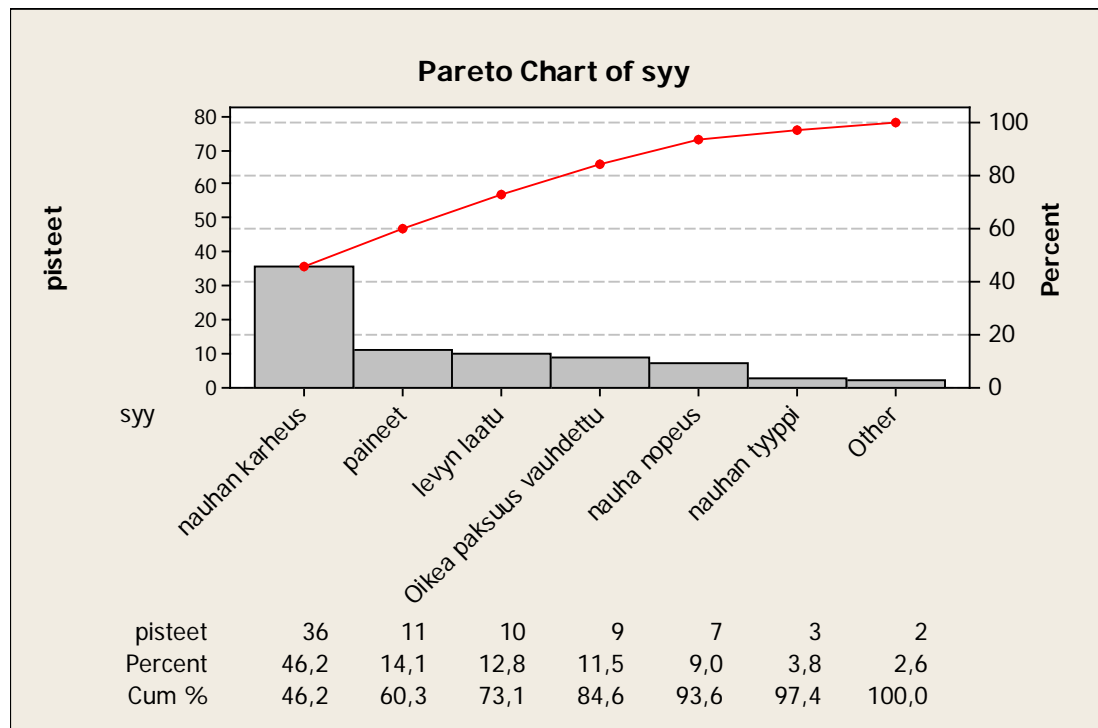
Visuaalinen tarkastelu on hyvä lisä muiden mittaus välineiden lisäksi. Huono puoli on, että eri ihmiset pisteyttävät asiat eri tavalla sekä ihmisen mieliala ja keskittymistaso vaikuttavat tulokseen. Visuaalisella tarkastelulla voidaan kuitenkin havaita sellaisia asioita, jotka eivät heijastu muihin mittareihin



## 7 KOESUUNNITTELU

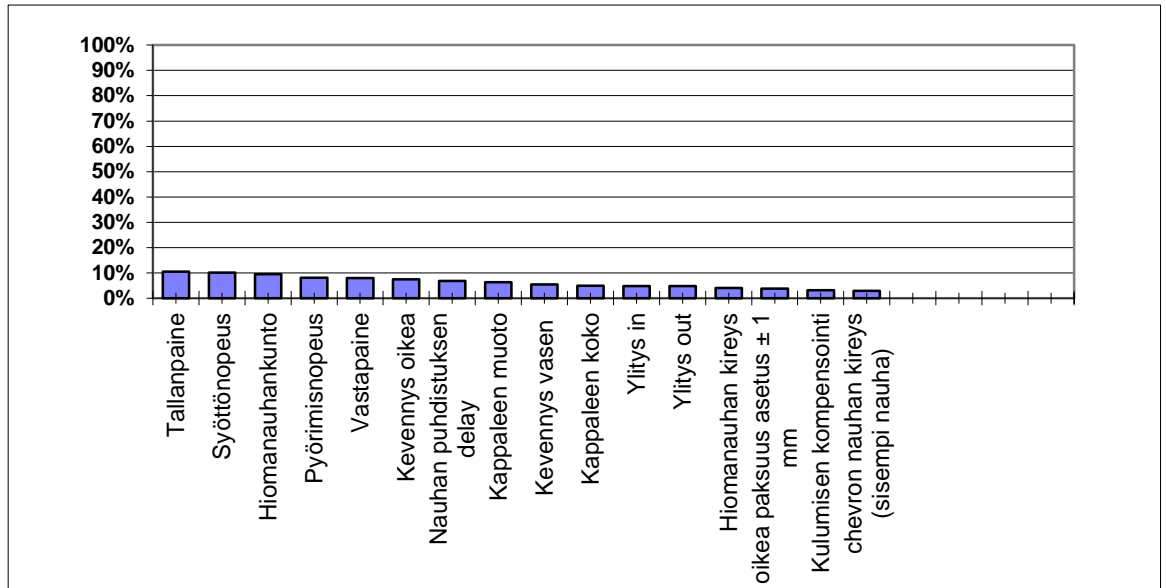
### 7.1 Muuttujien selvitys

Muuttujien selvitys aloitettiin työntekijöiden ja asiaan liittyvien toimihenkilöiden kanssa aivoriihellä, jossa annettiin aiheeksi hionnan ulostulon karheuteen vaikuttavat tekijät. Aivoriihessä syntyneet ideat järjestettiin syy- ja seuraus kaavioon. Kaavion pohjalta tekijät pisteytettiin ja tehtiin pareto analyysi (Kuvio 18).



Kuvio 18. Pareto analyysi hionnan pinnankarhudesta (Niklas Heiska)

Pareto analyysi näyttää syyt, jotka mielletään suurimmiksi pinnankarheuden aiheuttajaksi. Pareto analyysin tekijät käsittävät monta muuttujaa sisällään, tämän vuoksi pareto rikottiin pienempiin osiin. Selvitettiin mitä säätöjä hiomakoneessa on mahdollista muuttaa ja tehtiin muuttujalistasta, sekä mitattavasta vasteesta, XY-matriisi. XY-matriisissa pisteytetään sisääntulo muuttujia vasteen suhteen. Tuloksena saadaan muuttujat listattuna järjestyksessä tärkeimmästä vähemmän tärkeään (kuvio 19).



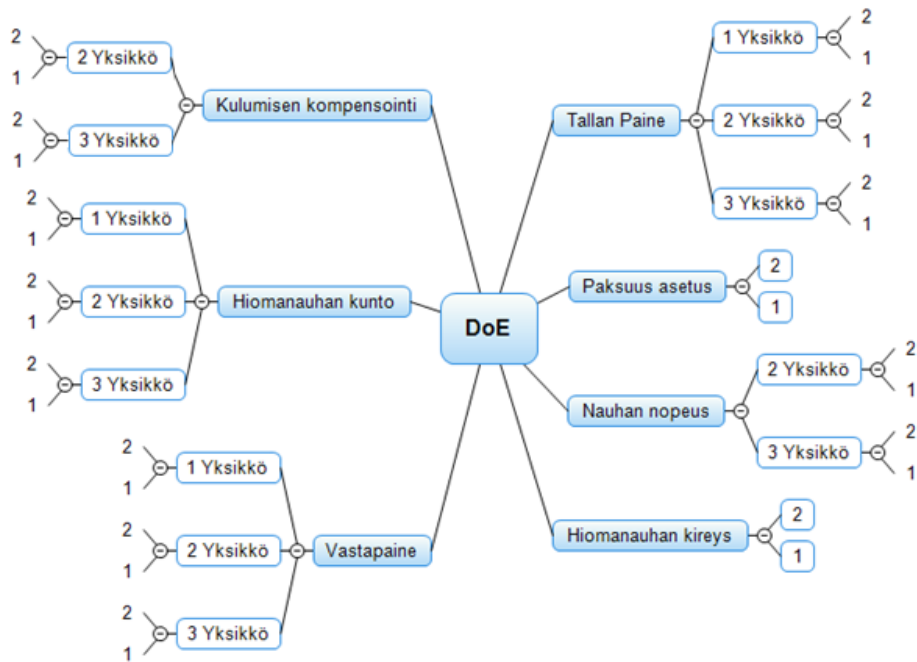
Kuvio 19. XY-Matriisin tulos (Niklas Heiska)

## 7.2 Menetelmän valinta

Projektin koesuunnitelma ja mukaan otettavat muuttujat vaihtuivat ja kehittyivät projektin edetessä. Projekti kehittyi kolmessa vaiheessa, ensin suunniteltiin koematriisi jossa olisi tutkittu factor design menetelmällä ensimmäisen hiomakoneen säätöjen vaikutusta käytössä oleviin mittareihin. Suuren muuttuja listan vuoksi pilkottiin hiomakone yksiköihin ja tehtiin koesuunnitelma, jossa olisi tutkittu yhden hiomanauhan säätöjen vaikutusta käytössä oleviin mittareihin. Molemmissa lähestymistavoissa ongelmana on, että saadaan kyllä tietoa millä säädöillä on vaikutusta, mutta ei saada säätöjen keskinäisvaikutusta selville. Lopullisessa koesuunnitelmassa lähdettiin liikkeelle siitä, että koesuunnitelma maksaisi itse itsensä takaisin ja yritys hyötyisi koesuunnitelman ajosta mahdollisimman paljon. Ideana oli saada hiomakoneelle sellaiset säätöarvot joilla saavutetaan pienempi pinnankarheuden hajonta. Mittaukset suoritettiin vain pinnankarheus mittarilla, koska tiedetään, että pinnankarheudella on suuri vaikutus pintakäsittelyn lopputulokseen. Muuttujaksi otettiin sellaiset tekijät joiden arvellaan vaikuttavan tasopinnan pinnankarheuteen. Lopullinen koe suoritettiin Taguchi-menetelmällä.

Taguchi-menetelmän ideana on parantaa tuotteen tai prosessin yhdenmukaisuutta eli pienennetään tuotteen tai prosessin ominaisuuksien vaihtelua. Laadun parantuessa kustannukset pienenevät, koska optimaalisella tuotteella tai prosessilla hävikki vähenee. Huolellisella koesuunnittelulla vähennetään koekappaleiden määrää. Taguchi yhdistää insinöörityöskäytännön ja tilastollisen analysoinnin.

Taguchilla tutkittiin eri tekijöiden merkitystä hionnan pinnankarheuteen. Hiomatapah-  
tumana toimi puuvalmiin kappaleen hionta. XY matriisista valittiin koesuunnitelmaan  
mukaan otettavat muuttujat, yhteensä 15 kappaletta (kuvio 19). Tekijöiden tasoja  
tutkittiin OFAT menetelmällä, jossa muutettiin yhtä tekijää kerrallaan ja katsottiin mitä  
hiottavalle pinnalle tapahtuu. Muuttujien tasot valittiin siten, että hiomakone säätyy  
näihin arvoihin ja hiontatulos ei mene vielä pilalle. Koesuunnitelman lähtökohtana oli  
pientää hionnan hajontaa ja mahdollisesti myös keskiarvoa.

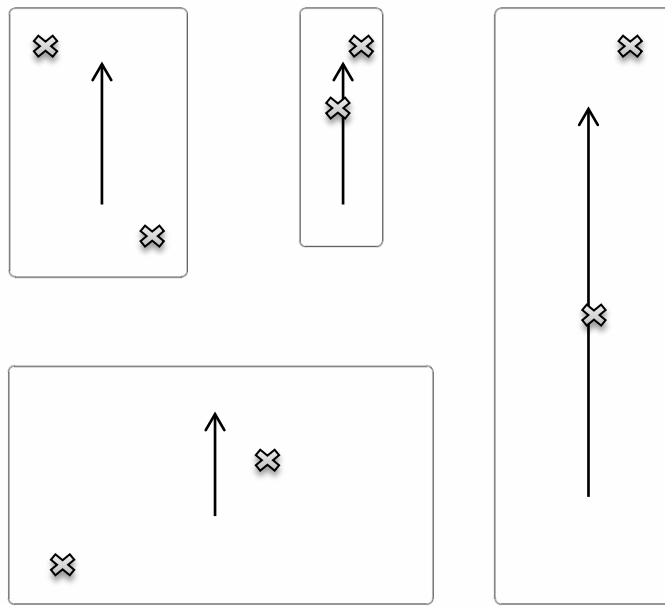


Kuvio 20. Koesuunnitelman muuttujat (Niklas Heiska)

Koesuunnitelma tehtiin Minitab-ohjelmistoa hyväksi käyttäen Taguchi-menetelmällä. Matriisiin valittiin kuvion 20 muuttujat. Koe tehtiin 2-tasoisella L32 matriisilla, jolloin kokeiden määrä oli 32 kpl. Jokaista koetta kohden tehtiin 4 koekappaletta, joista otettiin jokaisesta 2 mittaus eli yhteensä 256 mittaus tulosta. Mitattujen arvojen pohjalta Minitab-ohjelmisto näyttää, millä arvoilla voidaan vaikuttaa hajontaan ja millä keskiarvoon, sekä millä ennalta määritetyillä tekijöillä on keskinäisvaikutus.

### 7.3 Taguchi-kokeen suorittaminen

Koeajo suoritettiin tuotannon ohessa Mellanon vanhalla pintakäsittelylinjalla. Jokaisesta ajosta (run) tehtiin paletti (kuva 21), jossa 4 koekappaletta ladottiin syöttöpöydälle ja syötettiin hiomakoneeseen. Paletilla pyrittiin jäljittämään oikeaa tilannetta, jossa kappaleita on koko linjan leveydeltä ja että hiominen olisi koneelle haasteellista. Koneen operaattorit suorittivat koeajon koematriisin määräämässä järjestyksessä (Liite 1.). Jokaisesta kappaleesta mitattiin pinnankarheus kahdesta kohtaa eli yhteensä 8 mittaus per paletti siten, että paletti saatiin mitattua mahdollisimman monipuolisesti.

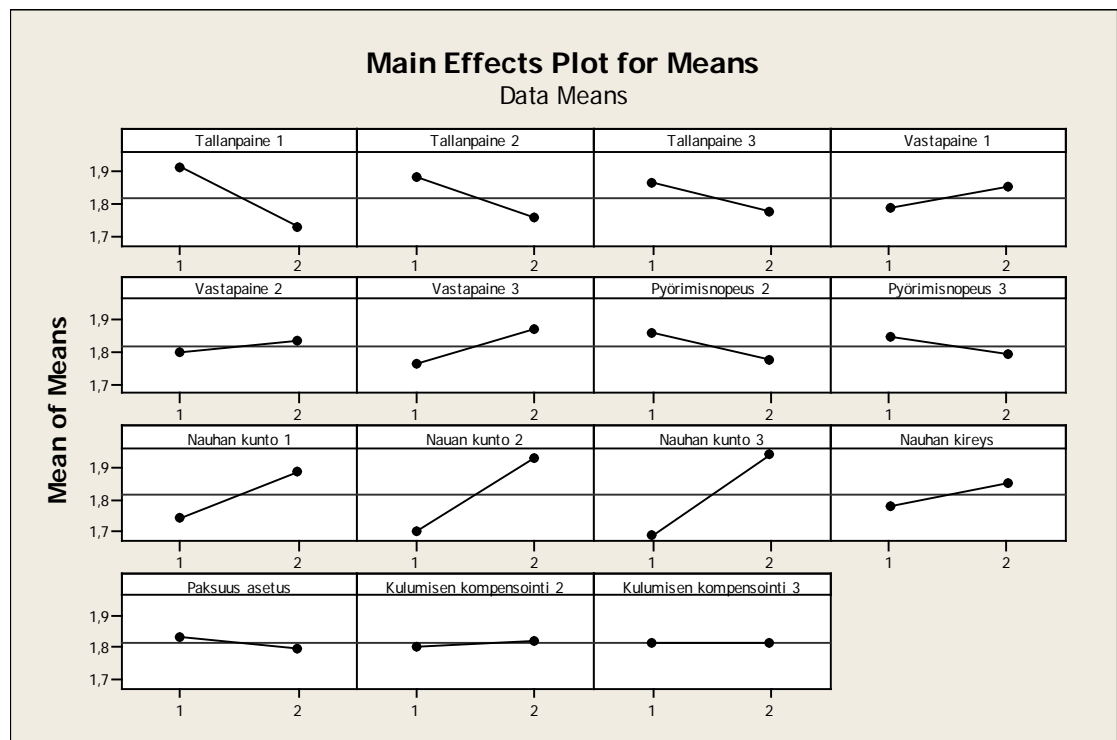


Kuva 21. Koekappaleiden järjestys syöttöpöydällä (Niklas Heiska).

#### 7.4 Analysointi

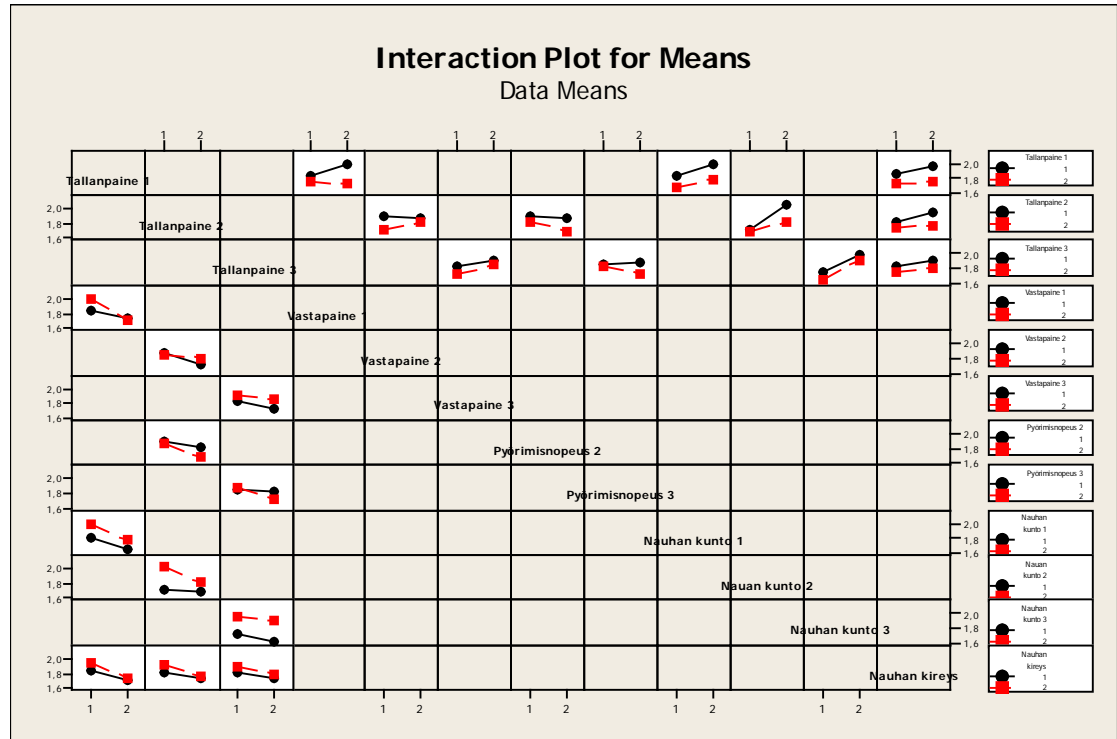
Tulokset on esitetty graafisesti.

yksityiskohtainen analyysi (Liite 2).



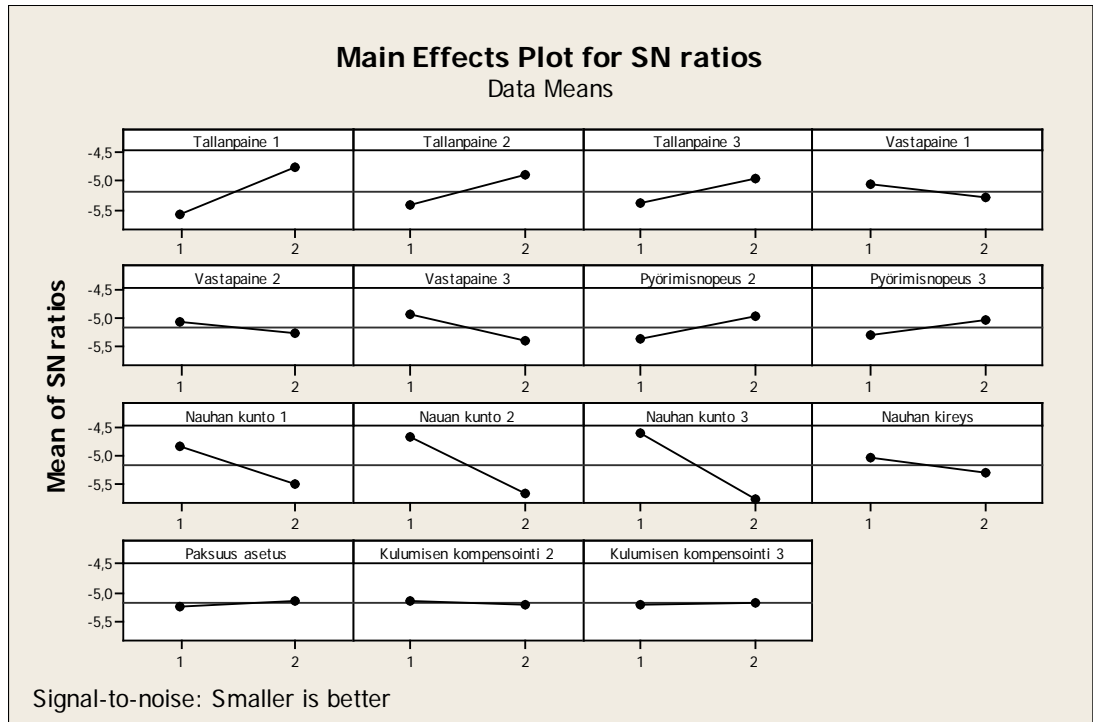
Kuvio 21. Keskiarvoon vaikuttavat tekijät (Niklas Heiska)

Kuviosta 21 nähdään kumpaan arvoon muuttuja täytyy laittaa, jotta saadaan mahdollisimman pieni keskiarvo, sekä millä muuttujilla on merkitystä keskiarvon muodostumisessa.



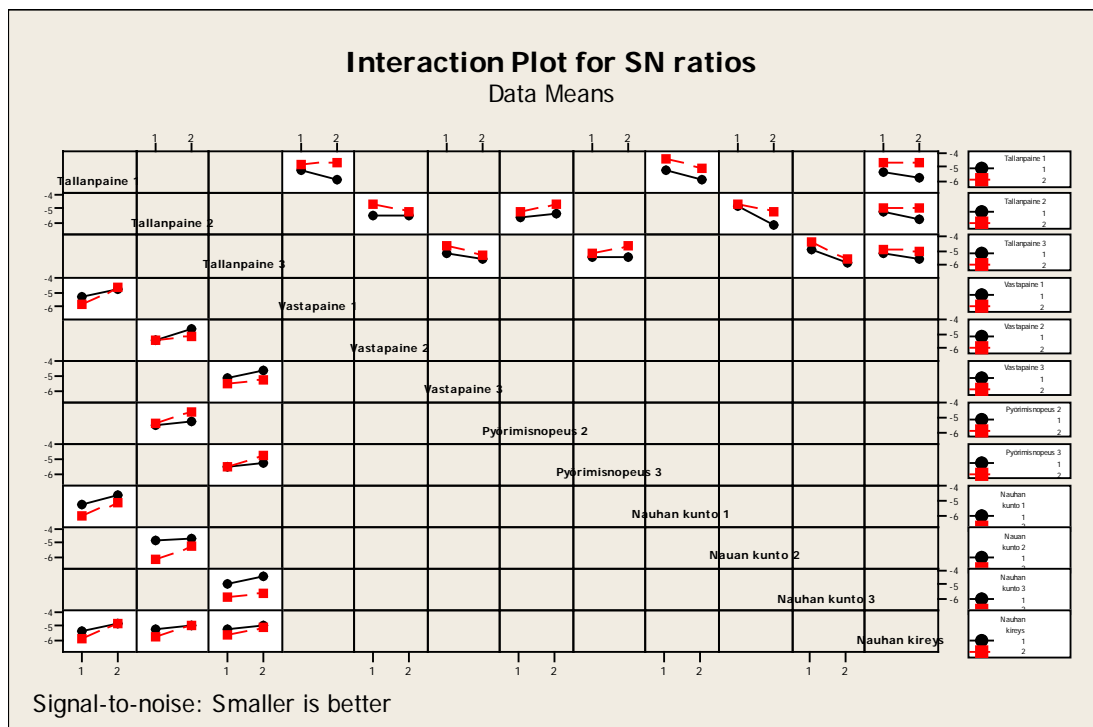
Kuvio 22. Keskiarvoon vaikuttavien tekijöiden keskinäisvaikutus (Niklas Heiska)

Kuviossa 22 vasemmalla ja oikealla olevat arvot kuvaavat pinnankarheuden Ra keskiarvoa. Kuvio 22 kuvaa tekijöiden keskinäisvaikutusta toisiinsa.



Kuvio 23. Hajontaan vaikuttavat tekijät (Niklas Heiska)

Kuviosta 23 nähdään kumpaan arvoon muuttuja täytyy laittaa, jotta saadaan mahdollisimman pieni hajonta, sekä millä muuttujilla on merkitystä hajonnan muodostamisessa. Suuremmalla signaali kohinasuhteella saadaan pienempi hajonta.



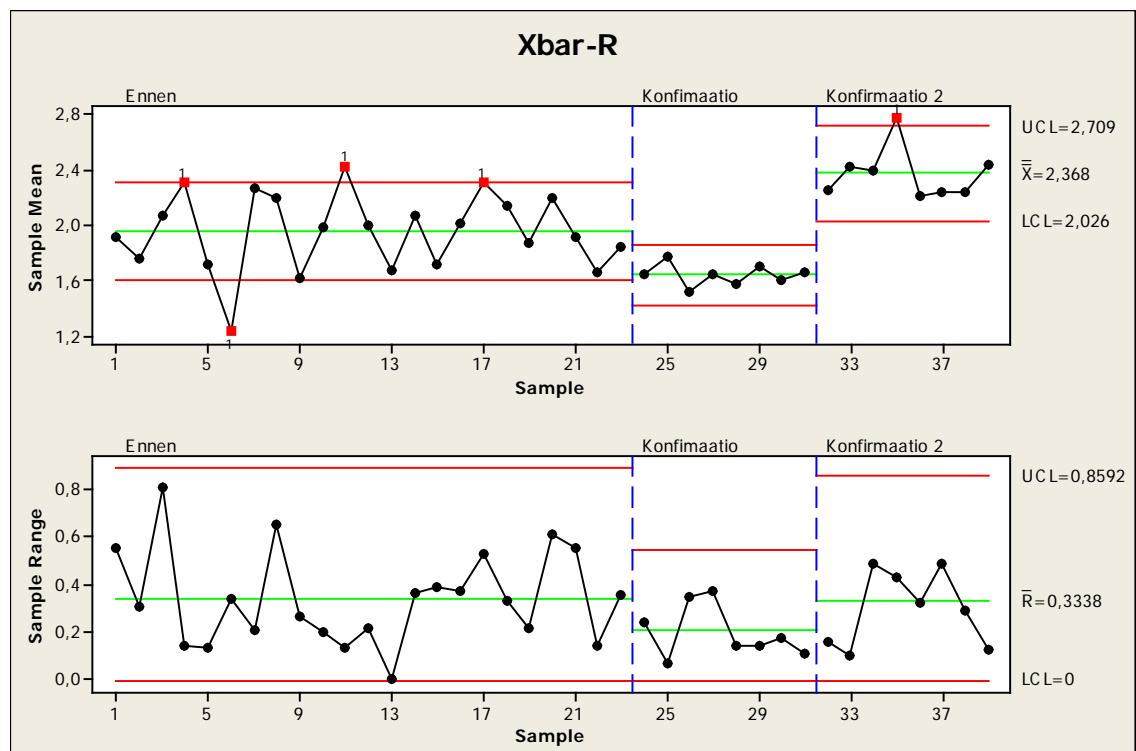
Kuvio 24. Hajontaan vaikuttavien tekijöiden keskinäisvaikutus (Niklas Heiska)

Kuviosta 24 nähdään, miten tekijät vaikuttavat toisiinsa. Valitaan kahdelle tekijälle tasot ja jos tekijöille on määritetty keskinäisvaikutus, niin kuvaajasta nähdään, miten nämä tasot käyttäytyvät keskenään. Kuviossa vasemmalla ja oikealla olevat arvot kuvaavat signaali kohinasuhdetta siten, että suurempi arvo on parempi ja antaa pienemmän hajonnan.

## 7.5 Konfirmaatio ja optimointi

Konfirmaatio kokeessa testattiin mallin toimivuus. Koekappaleet ajettiin arvoilla joka antavat pienimmän hajonnan. Malli antaa arvion keskiarvosta  $1,41\mu\text{m}$  ja keskihajonnasta  $0,219$ . Uusilla hiomanauhoilla saatiin melkein mallin mukaiset tulokset, keskiarvoksi saatiin  $1,635$  ja keskihajonnaksi saatiin  $2,113$ . Tulokset ovat melkein mallin mukaiset, mutta vanhoilla hiomanauhoilla keskiarvo nousi  $2,368\mu\text{m}$ :iin ja keskihajonta  $0,334\mu\text{m}$ :iin, jotka ovat huonommat arvot kun tuotannon nykytilassa.

Kokeessa saatuja tuloksia verrattiin nykytilan selvityksessä saatuihin tuloksiin. Tavoitteena oli saada nykytilaa parempia tuloksia. (kuvio 25)



Kuvio 25. Nykytilanne ja konfirmointi koe uudella sekä vanhalla nauhalla (Niklas Heiska)

## 8 TULOSTEN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia hiontaprosessin nykytila sekä selvittää, mitkä hiomakoneen tekijät vaikuttavat eniten puuvalmiin kalusteoven pinnankarheuteen ja voidaanko kappaleen pinnankarheutta parantaa eri parametreja muuttamalla. Selvityksen kohteena oli myös erilaisten mittaustapojen analysointi.

Nykytilamittaus vaiheessa löydettiin jo prosessissa esiintyviä ongelmia ja huomattiin, että hiomakoneen säätöjä ei ollut tehty järjestelmällisesti. Mittaus tapoja tutkiessa vahvistettiin nykytilamittaus vaiheen havainnot. Hiominen karheudella 2 pienensi pinnankarheutta, mutta nosti hajontaa, tämä tarkoittaa sitä, että hiomanauha ei painaudu kunnolla hiottavaan kappaleeseen eikä karheus tasota tehtaalla suoritettua hiontaa, eli hiomanauhan poisto on niin vähäistä, että kappaleen pinta kiillottuu ja tehtaan hiontajäljet tulevat selvästi esille. Mittaustapoja analysoimalla saatiin kuva miten hiominen heijastuu eri mittareihin ja mitä asioita on otettava huomioon kutakin mittaustapaa käytettäessä.

Lopussa koesuunnitelman kanssa tuli vähän kiire, joka osittain vaikutti tekijöihin ja niiden tasojen valintaan. Vaikka malli ei toiminutkaan kuin uusilla hiomanauhoilla, eikä sitä voida siirtää tuotantoon, antaa se hyvät lähtökohdat tarkemmille koesuunnitelmille. Koesuunnitelmasta selviää perustiedot hiomakoneen säätöjen vaikutuksesta pinnankarheuteen. Malli näyttää että paras hiomatulos saavutetaan uusilla nauhoilla ja rajuimmilla hionta-arvoilla, näin varmasti onkin, mutta kauanko jälki on hyvä. Korkea hiomapaine antaa hyvän hiontajäljen alussa, mutta hiomajyvien kärjet tylsyvät nopeasti ja hionta käy yhä hitaammaksi, joka aiheuttaa huonon sekä kiiltävän hiontajäljen. Tämän vuoksi on tärkeää sovittaa hiontapaine kuhunkin tilanteeseen sopivaksi, jolloin saadaan pitempi käyttöikä hiomanauhalle ja siten edullisempi hionta kappaleen kohden.

Työn toteutus vaati paljon perehtymistä Six Sigmaan sekä Minitab-ohjelmaan. Six Sigmassa on paljon lähestymistapoja ja monipuolisia työkaluja sekä menetelmiä projektien toteuttamiseen. Tässä opinnäytetyössä käytettiin näistä menetelmistä vain pientä osaa. Tulokset antavat hyvät lähtökohdat uudelle koesuunnitelmalle, jossa syvennettäisiin tietämystä tekijöiden vaikutuksesta ja pyrittäisiin selvittämään hiomanauhan kulumiseen liittyviä ongelmia sekä selvittämään kuinka kulumisen kompensointi tehdään oikein. Tulosten perusteella on mahdollista tehdä tarkempia kokeita, joilla selvitetään tekijöiden lineaarisuutta. Järkevää olisi myös tutkia, kuinka eri pinnankarheudet vaikuttavat pohjamaalaukseen sekä selvittää mikä olisi ihanteellinen pinnankarheus ennen pohjamaalausta.



## LÄHTEET

Andres, C., Bhavin, V., Ferat, S. & Richard, L. 2007. Monitoring of abrasive loading for optimal belt cleaning and replaisment [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.2.2013] Saatavissa: <https://ritdml.rit.edu/bitstream/handle/1850/8919/FSahinArticle05-2007.pdf?sequence=6>

Hakkarainen, S. 2009. Kalusteovien pintakäsittely pinnan sileyden ja laadun kehittäminen. Savonia-ammattikorkeakoulu tekniikan yksikkö Kuopio. Puutekniikan koulutusohjelma. [Opinnäytetyö].

Honkala, M. syksy 2011. Pinnankarheuden vaikutus brinell-kovuusmittauksessa [opinnäytetyö]. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, [viitattu 1.2.2013]. Saatavissa: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34130/Honkala\\_Mikko.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34130/Honkala_Mikko.pdf?sequence=1)

IFS The italian finishing school. experience turns into knowledge. Theoretical and practical training in wood coating processes with Bologna University. Koulutusmateriaali.

Karjalainen E, 2010. Quality Knowhow Karjalainen Oy, Lean six Sigma, Green Belt koulutusmateriaali.

Karjalainen, E. 1990. Tuotteen ja prosessin optimointi koesuunnittelulla taguchi-menetelmä. Metalliteollisuuden keskusliitto.

Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2008, Six Sigma uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Kiviranta, K. Puuntyöstö ja terästekniikka. Savonia-ammattikorkeakoulu tekniikan yksikkö Kuopio. Luentomateriaali.

Kiviranta, K. Pintakäsittelytekniikka. Savonia-ammattikorkeakoulu tekniikan yksikkö Kuopio. Luentomateriaali.

Konserniesite. 2011 [Verkkodokumentti]. PRT-forest [Viitattu 10.2.2013]. Saatavissa: [http://www.prt-forest.fi/pdf/PRT\\_Konserniesite-2011.pdf](http://www.prt-forest.fi/pdf/PRT_Konserniesite-2011.pdf)

Kume, H. 1998. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. Metalliteollisuuden keskusliitto.

Leising, C. 2011. Wood Surface Roughness Using 3D Profilometry [Verkkodokumentti]. Nanovea a better measure. [Viitattu 20.2.2013]. Saatavissa: <http://www.nanovea.com/Application%20Notes/woodsurface measurement.pdf>

Mittausvälineet [Verkkodokumentti]. Teräskonttori [Viitattu 21. 2.2013]. Saatavissa: [http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet/Mitu\\_340-359.pdf](http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet/Mitu_340-359.pdf)

Ohje kiintokalusteiden laatuvaatimuksista ja laadun arvioinnista. 2003 [Verkkodokumentti]. Rakennusteollisuus RT Oy [viitattu 10.2.2013].  
 Saatavissa: <http://www.keittiotukku.composer.fi/images/laatuvaatimukset.pdf>

PRT-Forest. yritystarina [verkkosivu]. [Viitattu 10.2.2013].  
 Saatavissa: <http://www.prt-forest.fi/>

Puun teollinen pintakäsittely. 2009 [Verkkodokumentti]. Tikkurila Oy Industrial Coatings [viitattu 10.2.2013].  
 Saatavissa: [http://www.tikkurila.fi/files/4265/Puun\\_teollinen\\_pintakasittely\\_2009.pdf](http://www.tikkurila.fi/files/4265/Puun_teollinen_pintakasittely_2009.pdf)

Puura, A. 2011. Selvitys polttomenetelmän soveltamisesta kalusteovien reunakäsittelyssä [opinnäytetyö]. Savonia-ammattikorkeakoulu tekniikan yksikkö Kuopio. Puutekniikan koulutusohjelma.

Quality Knowhow karjalainen. Minitab 16 [Verkkosivu]. [viitattu 10.2.2013].  
 Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/etusivu/>

Six Sigma. Minitab [Verkkosivu]. [viitattu 10.2.2013].  
 Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/etusivu/>

Tehokasta puunhiontaa. 2012 [Verkkodokumentti]. Oy KWH Mirka Ab.  
 [Viitattu 10.02.2013]. Saatavissa:  
<http://www.mirka.com/SharePoint/MSF%20Printed%20material/Wood%20Sanding/Wood%20Sanding%20brochure%20Finnish.pdf>

Vuosikertomus. 2011 [Verkkodokumentti]. PRT-forest [Viitattu 10.2.2013].  
 Saatavissa: <http://www.prt-forest.fi/pdf/PRT-FORESTVuosikertomus2011.pdf>

Kuvat:

Kuva 11 sivu 35. Sandak, J. & Negri M, 2005. Wood surface roughness – what is it [Verkkodokumentti]. Trees and Timber Research Institute IVALSA/CNR. Saatavissa:  
[http://www.boku.ac.at/physik/coste35/Rosenheim/article/art\\_Sandak\\_COST\\_E35\\_Rosenheim\\_2005.pdf](http://www.boku.ac.at/physik/coste35/Rosenheim/article/art_Sandak_COST_E35_Rosenheim_2005.pdf)

Kuva 10 s 34. Sandak, J. & Negri, M. Wood surface roughness- what is it [Verkkodokumentti]. Trees and Timber Research Institute IVALSA/CNR. [viitattu 20.2.2013]. Saatavissa:  
[www.psumdesign.com/Newbook/metr/Wood%20surface%20roughness.pdf](http://www.psumdesign.com/Newbook/metr/Wood%20surface%20roughness.pdf)

Kuva 3, 6, 8. s 27, 28. STW 300 Wide – Belt sanding machines Butfering [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.2.2013]. Saatavissa:  
[http://www.stilesmachinery.com/includes/files/assets/files/1308835162\\_98-150-00015.pdf](http://www.stilesmachinery.com/includes/files/assets/files/1308835162_98-150-00015.pdf)



Lite 2.

Salainen