

Matias Salmikangas

PINTAKÄSITTELYLINJAN PROSESSIMUUTTUJAT

Tutkimus

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Joulukuu 2017**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Joulukuu 2017	Tekijä/tekijät Matias Salmikangas
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi Pintakäsittelylinjan prosessimuuttajat, tutkimus		
Työn ohjaaja Tapio Malinen		Sivumäärä 67+5
Työelämäohjaaja Hanna Parikka		
<p>Opinnäytetyön tilaajana oli Centrian tutkimus ja kehitys osana Tehokas Puuteollisuus -hanketta. Hankkeen tavoitteena on alueen puualan yritysten pintakäsittelyprosessien innovaatioiden ja investointien nopeuttaminen, puun jatkojalostusprosessien kehittämisoaaminen sekä tuote- ja tuotantoprosessien mallinnus. Lisäksi hankkeen ohella pyritään kehittämään Puutuotteen omaa toimintamallia ja toimintaympäristöä. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin pintakäsittelylinjan prosessimuuttajia. Tavoitteena oli löytää tärkeimmät pinnanlaatuun vaikuttavat muuttajat, ja luoda niistä vaikuttavuuskuvaukset, joita Centria Puutuote pystyisi hyödyntämään tulevaisuuden projekteissaan.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa keskityttiin Lean Six Sigma DMAIC -prosessiin sekä käydään läpi työssä käytettävä pintakäsittelylinjasto ja perehdytään pintakäsittelyaineisiin. Työosuudessa sovellettiin DMAIC-prosessin osa-alueita ja työmenetelmiä tavoitteiden saavuttamiseksi.</p>		
Asiasanat Koesuunnittelu, Lean Six Sigma DMAIC, pintakäsittely, prosessimuuttaja		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date December 2017	Author Matias Salmikangas
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis Process variables of a finishing line, Research		
Instructor Tapio Malinen	Pages 67+5	
Supervisor Hanna Parikka		
<p>The thesis was commissioned by Centria research and development as part of the Effective Wood Industry project. The aim of the project was to accelerate innovation and investments in the surface treatment processes, the wood refining process development and product and production process modeling. In addition, alongside with project, the aim was to develop the operation model and environment of the Wood Product team. This thesis investigated the process variables of a surface treatment line. The goal was to find the most important variables affecting the surface quality and to create an effectiveness graph from those, which Centria Wood Products could use in their future projects.</p> <p>In the theoretical part of this thesis theoretical part the focus was on the Lean Six Sigma DMAIC - process and on the surface treatment line as well as the surface treatment substance. In the research part these areas were applied to practice to gain results.</p>		

<p>Key words Design of Experiments, Lean Six Sigma DMAIC, process variables, surface treatment</p>

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Attribuuttidata	Kvalitatiivista dataa. Ei voida mitata liukuvalla asteikolla.
Variaabelidata	Kvantitatiivista dataa. Mitataan liukuvalla asteikolla.
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improvement and Control. Määrittely, Mittaus, Analysointi, parannus ja ohjaus.
MSA	Mittaussysteemin analysointi. Testejä, joilla määritetään mitaussysteemin luotettavuutta.
DoE	Design of Experiment. Koesuunnittelu. Menetelmä, jolla voidaan valita useiden mahdollisten ratkaisujen joukosta paras mahdollinen.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 LEAN SIX SIGMA DMAIC -MENETELMA	2
2.1 Määrittely	3
2.2 Mittaus	5
2.2.1 Syy- ja seurauskaavio	5
2.2.2 XY-matriisi	7
2.2.3 Mittaussysteemin analysointi MSA	7
2.3 Analysointi.....	8
2.4 Parannus ja optimointi.....	9
2.5 Ohjaus.....	10
3 MAALAAMINEN.....	12
3.1 Pintakäsittelylinja	12
3.2 Maaliaineet	14
4 PINTAKÄSITTELYLINJAN PROSESSIMUUTTUJIEN TUTKIMUS	16
4.1 SIPOC	16
4.2 Muuttujien löytäminen ja rajaaminen	17
4.2.1 Muuttujien löytäminen	17
4.2.2 Muuttujien järjestäminen	18
4.2.3 Muuttujien arviointi.....	20
4.3 Mittaussysteemin analysointi (MSA)	21
4.3.1 Karheus	21
4.3.2 Heilurikovuus	33
4.3.3 Peittävyys ja virheet.....	37
4.4 Ensimmäinen koesuunnittelukierros	45
4.5 Toinen koesuunnittelukierros.....	55
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	64
LÄHTEET	67
LIITTEET	
KUVAT	
KUVA 1. SIPOC kaavio	4
KUVA 2. Syy- ja seurauskaavio	6
KUVA 3. Centrian puulaboration maalauslinjaston pohjakuva.....	12
KUVA 4. Cefla Kleenspray 12P	13
KUVA 5. Cefla Kleenspray 12P -traverssivarsi maalauskammiossa.	13
KUVA 6. Pistoolivaihtoehdot.	14
KUVA 7. SIPOC-maalausprosessi	16
KUVA 8. Prosessimuuttujien löytäminen aivoriihimenetelmällä.	18
KUVA 9. Syy-Seuraus-kaavio pinnanlaatuun vaikuttavista muuttujista.....	19
KUVA 10. Elcometer 7061 MarSurf PS1 -karheusmittauslaite.	21

KUVA 11. Karheus: MSA-testi 1, yhteenveto	23
KUVA 12. Karheus: MSA-testi 1, kuviot.....	24
KUVA 13. Karheus: MSA-testi 2, yhteenveto	25
KUVA 14. Karheus: MSA-testi 2, kuviot.....	26
KUVA 15. Karheus: MSA-testi 3, yhteenveto	28
KUVA 16. Karheus: MSA-testi 3, kuviot.....	29
KUVA 17. Karheus: MSA-testi 4, yhteenveto	30
KUVA 18. Karheus: MSA-testi 4, kuviot.....	31
KUVA 19. Karheus: MSA-testi 5, yhteenveto	32
KUVA 20. Karheus: MSA-testi 5, kuviot.....	33
KUVA 21. Erichsen 299/300 -heilurikovuustestilaite	34
KUVA 22. Heilurikovuus: MSA-testi 1, yhteenveto.....	36
KUVA 23. Heilurikovuus: MSA-testi 1, kuviot	37
KUVA 24. Virheiden ja peittävyiden mittaus.....	38
KUVA 25. Peittävyys sekä virheet: MSA-testi 1, yhteenveto.....	40
KUVA 26. Peittävyys sekä virheet: MSA-testi 1, kuviot	41
KUVA 27. Peittävyys: MSA-testi 2, yhteenveto	43
KUVA 28. Peittävyys: MSA-testi 2, kuviot	44
KUVA 29. Lasilevyn maalaus ruiskuautomaatilla	47
KUVA 30. Virheiden jakaumat	49
KUVA 31. Peittävyiden jakauma.....	50
KUVA 32. Levitysmäärän jakauma.....	50
KUVA 33. Karheuden jakauma	51
KUVA 34. Unin jälkeinen heilurikovuusjakauma.....	52
KUVA 35. Yhdeksän päivän jälkeen heilurikovuus jakauma	53
KUVA 36. Kokonaispisteiden jakauma.....	54
KUVA 37. Kokonaispisteiden jakauma. Vähennetty muuttujia.....	55
KUVA 38. Pareto-kaavio virheisiin vaikuttavista tekijöistä.....	58
KUVA 39. Pareto-kaavio peittävyteen vaikuttavista tekijöistä	59
KUVA 40. Pareto-kaavio karheuteen vaikuttavista tekijöistä	60
KUVA 41. Pareto-kaavio kovuuteen vaikuttavista tekijöistä	61
KUVA 42. Kovuuden jakaumat.....	61
KUVA 43. Pareto-kaavio kokonaispisteisiin vaikuttavista tekijöistä.....	62
KUVA 44. Muuttujien optimointi maksimipisteitä haettaessa	63

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ortogonaalimatriisi	10
TAULUKKO 2. Karheuden mittaustaulukko, testi 1	22
TAULUKKO 3. Karheuden mittaustaulukko, testi 2	24
TAULUKKO 4. Karheuden mittaustaulukko, testi 3	27
TAULUKKO 5. Karheuden mittaustaulukko, testi 4	29
TAULUKKO 6. Karheuden mittaustaulukko, testi 5	31
TAULUKKO 7. Heilurikovuuden mittaustaulukko, testi 1	35
TAULUKKO 8. Peittävyiden sekä virheiden mittaustaulukko, testi 1	39
TAULUKKO 9. Peittävyiden mittaustaulukko, testi 2	42
TAULUKKO 10. Taguchi L12 -matriisi koodatussa yksiköissä.....	45
TAULUKKO 11. Koesuunnittelu yksi muuttujat ja tasot.....	46
TAULUKKO 12. Täysfaktorikoe koodatuissa yksiköissä.....	56
TAULUKKO 13. Koesuunnittelu kaksi muuttujat ja tasot.....	57

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana Centria Puutuotteen Tehokas Puuteollisuus –hanketta. Hankkeen pääsisältönä on alueen puualan yritysten pintakäsittelyprosessien innovaatioiden ja investointien nopeuttaminen, puun jatkojalostusprosessien kehittämisosaaminen sekä tuote- ja tuotantoprosessien mallinnus. Lisäksi hankkeen ohella pyritään kehittämään Puutuotteen omaa toimintamallia ja toimintaympäristöä.

Pintakäsittelyprosessissa on useita muuttujia eri prosessin vaiheissa. Työssä saada tietoa siitä, miten eri muuttujat vaikuttavat pinnanlaatuun, mihin muuttujiin prosessissa on mahdollista vaikuttaa ja onko muuttujilla keskinäisvaikutuksia. Hyvää pinnanlaatua haettaessa yleisesti muuttujia osataan käsitellä siten, että tavoite saavutetaan. Näistä käytännön kokemuseräisistä asioista ei ole ollut saatavilla tieteellistä näyttöä, jota tässä tutkimuksessa haluttiin saada aikaiseksi. Tutkimus toteutettiin Centria puulaboration maalauslinjastolla. Tutkimuskysymys kiteytettiin lauseeseen: ”mitkä muuttujat vaikuttavat eniten pinnanlaatuun?” Tavoitteena oli siis löytää tärkeimmät pinnanlaatuun vaikuttavat muuttujat sekä luoda niistä vaikuttavuuskuvajat, joita Centria Puutuote pystyisi hyödyntämään tulevilla projekteillaan.

Opinnäytetyön teoriaosuus perustuu Lean Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmään. Lisäksi teoriaosuudessa käydään läpi tutkimuksessa käytettävä linjasto sekä maaliaineita. Työosuus rajautuu karkeasti neljään pääkohtaan, jossa hyödynnetään DMAIC-prosessin vaiheistusta ja sovelletaan sen työkaluja tavoitteiden saavuttamiseksi. Vaiheet muodostuvat seuraavasti. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään projekti, pyritään löytämään mahdollisemman paljon pintakäsittelyyn liittyviä muuttujia ja tehdään niille ensimmäinen muuttujien rajaaminen. Toisessa vaiheessa analysoidaan mittaussysteemien luotettavuus. Kolmas vaihe on ensimmäinen koesuunnittelukierros ja neljäs vaihe on toinen koesuunnittelukierros. Teoriaosuuden lähdeaineisto koostuu alan kirjoista ja internetartikkeleista. Lisäksi teoriaosuudessa hyödynnetään aiempien kurssien luentomateriaalia, ja työosuudessa sovelletaan näitä materiaaleja ja kursseilla käytyjä asioita.

2 LEAN SIX SIGMA DMAIC -MENETELMA

Alun perin Lean pohjautuu Toyotan tuotantofilosofiaan (Toyota Production System, TPS), josta länsimaalaiset tutkijat kiinnostuivat 1980-luvun lopussa. Käsite Lean-tuotanto näki ensi kerran päivänvalon John Kraficikin kirjoittamassa artikkelissa, ja kunnolla maailman tietoisuuteen se nousi vuonna 1990 julkaistun kirjan *The Machine that Changed the World* avulla, jonka kirjoittajina olivat James P. Womack, Daniel T. Jones ja Daniel Roos. (Modig & Åhlström 2016, 78-79.)

Leanille on vaikea löytää yhtenäistä hyväksyttyä määritelmää. Useasti käytetty nimitys on johtamisfilosofia. Joskus Leaniä käsitellään toimintastrategiana, lähestymisenä tai periaatteina, joskus taas konkreettisena työtapana, toimintakuviona, työkaluina ja tekniikoina. Erittäin hyvä määritelmä voisi olla asiakaslähtöisen prosessijohtamisen malli. Lean-ajattelu perustuu virtauksen maksimointiin ja hukkan poistamiseen. Useasti Leaniä esitellään hukkan poistomenetelmänä, jolloin sen perimmäinen tarkoitus eli läpimenoaika jää tiedostamatta. Läpimenoajan lyhentäminen on Leanin yksi keskeisistä päätavoitteista. Lean sisältää monia erilaisia konsepteja, teorioita ja työkaluja, ja se liitetään erilaisiin työkaluihin ja tekniikoihin, muuan muassa 5S, VSM, Kanban. (Yleistä Leanista 2017.)

Six Sigma on 1980-luvulla Motorolassa Bill Smithin, Richard Schoederin ja Mikel J. Harryn kehittämä liikkeenjohdon parannusmenetelmä. Virallisena syntymäpäivänä voidaan pitää 15.1.1987, jolloin Motorola julkisti Six Sigma Quality Program -ohjelman. Lyhyesti sanottuna Six Sigma on työkalu, johon sisältyy monia menetelmiä ja käytäntöjä. Six Sigman periaatteena on järjestelmällisesti tilastotieteellisiä menetelmiä käyttäen poistaa virheitä ja niiden syitä sekä pienentää prosessin vaihtelua. Vaihtelua pienentämällä hukka vähenee ja virtaus kasvaa. Terminä Six Sigma kuvaa erittäin suorituskykyisen prosessin kykyä tuottaa huippulaatua. Laatuollessa kuuden sigman luokkaa prosessien virheiden määrä on alle 3,4 virhettä miljoonaa virhemahdollisuutta kohden. (Malinen 2017; Six Sigma 2017; Karjalainen & Karjalainen 2008, 10.)

Lean Six Sigma syntymänä voidaan pitää, kun Michael L. Georgen kirjoittama kirja *Lean Six Sigma – Combining Six Sigma Quality with Lean Speed* julkaistiin 2002. Tällöin Lean liitettiin yhteen Six Sigman kanssa. Se on yhdistetty toimintamalli Leanin ja Six Sigman keskeisistä periaatteista, strategioista ja työkaluista. (Six Sigman kehitysvaiheet 2017.)

DMAIC on Lean Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmä. DMAIC–menetelmä tarjoaa selkeän ja hyvän rakenteen parantaa olemassa olevia prosesseja järjestelmällisesti. DMAIC–prosessi jakaantuu viiteen eri vaiheeseen, joiden nimitykset tulevat englanninkielisistä sanoista Define, Measure, Analyse, Improve ja Control, jotka ovat suomennettuina Määrittely, Mittaus, Analysointi, Parannus ja Ohjaus.

2.1 Määrittely

Määrittely on DMAIC–prosessin ensimmäinen vaihe. Tässä vaiheessa muotoillaan ongelma selkeäksi ja asetetaan asiakasvaatimukset. Näin luodaan projektille selkeä tavoite ja projektin laajuus selviää. Lisäksi luodaan kuva prosessista, jota halutaan parantaa, ja kerätään tarkentavaa informaatiota asiakaista.

Tiimin, joka lähtee DMAIC–projektia toteuttamaan, on tässä vaiheessa hyvä kysyä tiettyjä kysymyksiä:

- Mitä ongelmaa tai prosessia haluamme korjata/parantaa?
- Miksi juuri tämä ongelma on valittu?
- Kuka on asiakas? Mitä vaatimuksia heillä on? Mikä on heille tärkeää?
- Miten työ tällä hetkellä tehdään?
- Mitä hyötyjä parannuksen avulla saavutetaan?

Nämä kysymykset ovat tärkeitä DMAIC-projektin kannalta. Monesti ne jäävät esittämättä, jolloin projekti ajautuu takaisin perinteiselle ongelmanratkaisu uralle, johon ei haluta päätyä. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 46.)

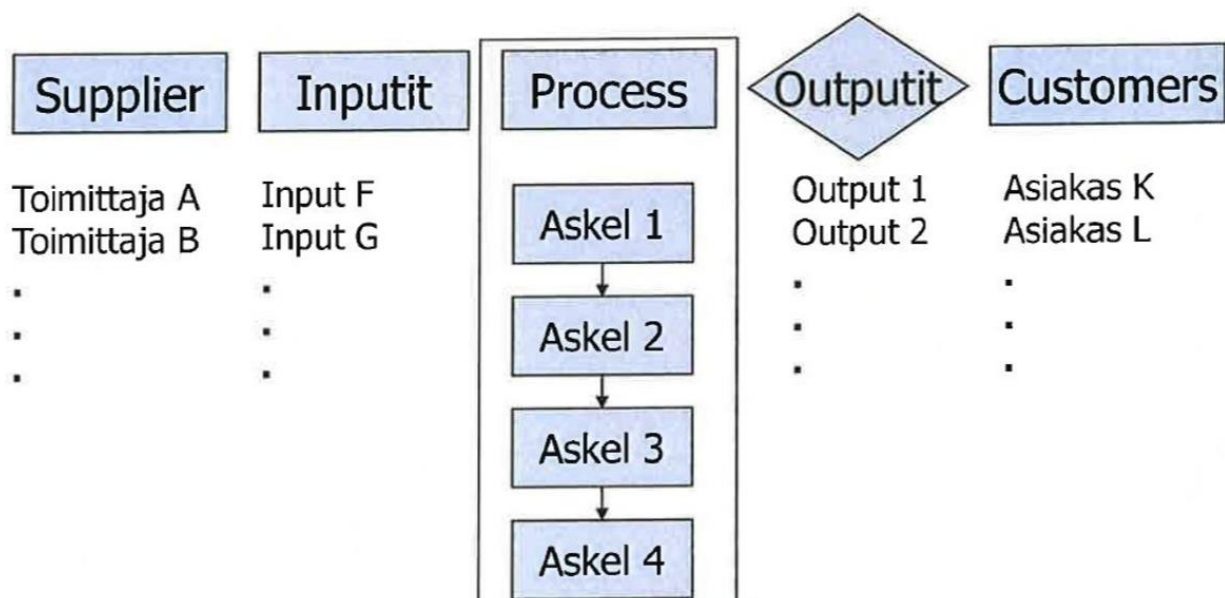
Määrittelyvaiheen lopputuloksena tulisi olla selkeä dokumentti (DMAIC-projektin määrittelylomake), josta ilmenee ongelma, tavoite, tiimin jäsenet ja heidän tehtävänsä, osakkaat, projektin aikataulutus ja liiketoiminnalliset vaikutukset. Määrittelyvaiheessa tulee luoda myös ylimmän tason prosessikuvaus (SIPOC), eli kuvaus siitä miten jalostusarvo muodostuu. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 46.)

Määrittelyvaiheessa tulee myös tunnistaa asiakkaan ”ääni”, josta käytetään nimitystä VOC (Voice of the Customer), eli asiakkaan toiveet, tarpeet ja vaatimukset. Tätä VOC-informaatiota ei kuitenkaan käytetä suoraan parannuksen mittana, vaan se muutetaan prosessin ”ääneksi”, josta käytetään nimitystä VOP (Voice of the Process) eli prosessin vastemuuttuja. Myöskin tunnistetaan kriittiset prosessin ulostulomuuttujat (KPOV), joista käytetään nimitystä Y. Muuntamisen työkaluna käytetään VOC-matriisia. (Malinen 2017.)

Toinen asiakastytyvyyden kääntöön tarkoitettu työkalu VOC-matriisin lisäksi on VOC-puukaavio. Aluksi listataan asioita, jotka ovat asiakastytyvyydelle tärkeitä ja kriittisiä laadun, toimitusajan ja kustannuksen osalta. Näistä käytetään englanninkielisiä termejä CTQ (Critical to Quality), CTD (Critical to Delivery) ja CTC (Critical to Cost). Nämä muutetaan VOC-puukaavion avulla CTP:ksi (Critical to Process) eli Y:iksi. (Malinen 2017.)

Määrittelyvaiheessa muun muassa käytetään projekti charteria, SIPOC-kaaviota, arvo virta kuvausta, aivoriihi menetelmää, Affinity-diagrammia, Murphy-analyysia, haastatteluita, kyselyitä, asiakasvaatimuspuuta ja KPOV:ta.

SIPOC on ylimmän tason prosessinkuvauskartta. Se koostuu englanninkielisistä sanoista Suppliers, Inputs, Process, Outputs ja Customers, jotka ovat suomennettuina toimittajat, syötteen, prosessi, tulosteet ja asiakkaat. SIPOC:ia käytetään dokumentoimaan ja esittämään prosessia visuaalisesti yksinkertaisena diagrammina toimittajista asiakkaisiin. SIPOC auttaa ymmärtämään paremmin toimittajia ja asiakkaita, sekä sitä, miten prosessi koostuu. Se auttaa myös löytämään tarvittavat datankeräyspisteet paranusta/ongelmanratkaisua varten. Kuvassa 1 on esitettyä yksinkertainen malli SIPOC-kaaviosta (Karjalainen & Karjalainen 2008, 100.)



KUVA 1. SIPOC-kaavio. (Karjalainen 2017.)

2.2 Mittaus

Mittausvaihe on DMAIC-prosessin toinen vaihe. Tästä vaiheesta käynnistyy varsinainen ongelmanratkaisu, eli läpimurtostrategia (MAIC), jossa ratkotaan askel askeleelta yhtälöä $Y = f(x)$. Yhtälöstä Y tunnetaan ja etsitään ratkaisua x . Y voi olla esimerkiksi myöhästyneet toimitukset. Tavoitteena on löytää muutama merkityksellinen prosessimuuttuja (x), joiden muutoksella saadaan myöhästyneet toimitukset tavoitteiden mukaiseksi.

Mittausvaihe alkaa keräämällä informaatiota ongelmasta. Tavoitteena on todentaa eli validioida ongelman olemassaolo (Y). Yleensä tämän seurauksena joudutaan hienosäätämään määrittelyvaiheessa asetettuja tavoitteita. Ongelma ei välttämättä ollutkaan täysin sama kuin mitä määrittelyvaiheessa oli oletettu sen olevan. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 47.)

Mittausvaiheessa aloitetaan myös ongelman ydin- ja juurisyiden etsintä. Tavoitteena on aluksi tunnistaa mahdollisimman monta prosessimuuttujaa, yleisesti yli 100. Tässä vaiheessa on hyvä pitää mielessä, että määrä korvaa laadun. Muuttujien tunnistamiseen voidaan käyttää esimerkiksi syy- ja seurauskaaviota ja aivoriihitekniikkaa. Kun muuttujia on tarpeeksi, niille tehdään raaka rajaaminen. Toisin sanoen vakioidaan muuttujat, joilla tiimin mielestä ei ole minkäänlaista vaikutusta tai ainoastaan pieni vaikutus Y :hyn. Tähän käytetään esimerkiksi XY-matriisi työkalua. Mittausvaiheessa projektitiimi muodostaa myös datan keräyssuunnitelman. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 47.)

Mittausvaiheessa tutkitaan myös mittauslaitteistoa, jota käytetään Y :n mittaamisessa. Tavoitteena on varmentaa, että mittaus pystyy havaitsemaan prosessista kuusi sigmaa, toisin sanoen varmennetaan mittauksen luotettavuus. Käytännössä määritetään mittauksen suorituskyky ja arvioidaan sen toimivuutta. Useasti joudutaan myös kehittämään mittaussysteemiä, jotta se olisi luotettava. Yksinkertaistettuna kysymys on uusittavuus- ja toistettavuustestistä, josta käytetään nimeä Gage R&R –analyysi. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 47.)

2.2.1 Syy- ja seurauskaavio

Syy- ja seurauskaavio on Kauru Ishikawan 1960-luvulla kehittämä graafinen työkalu. Syy- ja seurauskaaviota käytetään niiden syiden tunnistamiseen, jotka mahdollisesti vaikuttavat ulostuloon eli ongel-

maan ja niiden järjestelmälliseen visuaaliseen esittämiseen Syy- ja seurauskaaviosta käytetään myös nimityksiä kalanruotokaavio, juurisyyanalyysi ja Ishikawa–diagrammi. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 130-131.)

Kuvassa 2 on esimerkki syy- ja seurauskaaviosta. Kaaviossa perusongelma tai ongelman asetus sijoitetaan oikeaan reunaan keskirunkoa. Tässä esimerkissä ongelmana on, että opiskelija ei läpäise opintojaksoa. Ongelman aiheuttajat tai syyt laitetaan keskirungosta lähteviin haaroihin. Haarat jaotellaan yleensä kuuteen kategoriaan: mittaukset, materiaalit, työvoima tai ihminen, ympäristö, menetelmät ja laitteet/välineet. Joissain tapauksissa saatetaan jättää ympäristö ja mittaukset pois.



KUVA 2. Syy- ja seurauskaavio. (Malinen 2017.)

Kuitenkin ennen syy- ja seurauskaavion luomista syyt pitää tunnistaa. Syiden tunnistamiseen voidaan käyttää esimerkiksi aivoriihimenetelmää. Aivoriihimenetelmä on luultavasti yksi tunnetuimmista luovan työskentelyn menetelmistä. Se on ideoinnin yksi perusvälineistä, ja sen tavoitteena on löytää mahdollisimman paljon ideoita.

2.2.2 XY-matriisi

XY-matriisilla kuvataan prosessimuuttujan suhdetta kriittisiin ulostulomuuttujiin, sitä käytetään FMEA (Failure Mode and Effects Analysis suom. vika- ja vaikutusanalyysi) muuttujien valintaan tai sillä voidaan päättää muuttujat, joita lähdetään tutkimaan seuraavissa DMAIC-prosessin vaiheissa. XY-matriisin perustana käytetään prosessikarttaa, joka on graafinen esitys prosessin virtauksista. (What is Six Sigma 2017.)

XY-matriisissa prosessimuuttujat eli x:t sijoitetaan pystyakselille prosessinvaiheittain prosessikarttaa hyväksi käyttäen ja kriittiset ulostulomuuttujat eli Y:t sijoitetaan vaaka-akselille. Ulostuloille eli Y:ille annetaan prioriteettikerroin. Tähän voidaan käyttää pohjana VOC-matriisilla tehtyä pisteytystä. Tämän jälkeen tiimin kesken arvioidaan miten paljon kukin muuttuja x vaikuttaa kuhunkin ulostuloon Y tietyllä asteikolla (esim. 1-10). Muuttujan lukema kerrotaan ulostulon kertoimella, jonka jälkeen nämä luvut summataan keskenään, jolloin saadaan prioritetuluku kullekin muuttujalle x. Tämän jälkeen prioritetun luvun perusteella tehdään karsinta prosessimuuttujista, jotka valitaan jatkokäsittelyyn. Periaatteessa tällä karsintatavalla voi jokin tärkeä prosessimuuttuja jäädä pois. Siksi on hyvin tärkeää, että tiimi käy kuitenkin vielä jokaisen prosessimuuttujan läpi. Esimerkki XY-matriisista löytyy liitteestä kaksi.

2.2.3 Mittaussysteemin analysointi MSA

Mittausvaiheessa on tärkeää varmistaa, että mittaussysteemi on luotettava. Ilman mittaussysteemin varmentamista voidaan luulla, että vaihtelu johtuu prosessista, vaikka se oikeasti johtuukin mittaussysteemistä. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 142.)

Mittaussysteemin analysointi (englanniksi Measure System Analysis, MSA) on sarja suunniteltuja testejä, joilla määritetään mittaussysteemin luotettavuus. MSA:ta on kahta erilaista tyyppiä riippuen onko data variaabeli- vai attribuuttidataa. MSA on myös erinomainen työkalu, jolla voidaan verrata kahta tai useampaa mittauslaitetta tai kahta tai useampaa operaattoria toisiinsa. MSA-työkalua voidaan käyttää osana kriteeriä, jolla hyväksytään tai poistetaan mittauslaitteiston osia tuotannosta ja sillä voidaan tehdä vertailuja uusia mittalaitteistoja hankkiessa. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 142–144.)

Gage R&R -toistettavuustestiä käytetään variaabelimittaussysteemiä tutkittaessa. Se tunnistaa ja määrittää eri vaihtelun lähteitä, jotka vaikuttavat mittaussysteemiin. Mittaussysteemi sisältää laitteet, operaattorit sekä osat, jotka normaalisti ovat tekijöitä mittaussysteemissä. Gage R&R tulee englanninkielisistä sanoista reproducibility ja repeatability, suomennettuna uusittavuus ja toistettavuus. Uusittavuudella tarkoitetaan mittauksen keskiarvon vaihtelua, kun eri operaattorit käyttävät samaa mittalaitetta mitattaessa samojen osien identtisiä ominaisuuksia. Toistettavuudella tarkoitetaan havaittua mittauksen vaihtelua, kun sama operaattori käyttää samaa mittaustaitetta ja toistaa mittauksia saman osan ideaalisten ominaisuuksien osalta. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 142–144.)

Attribuutti R&R:ää käytetään määrittämään, että tarkastajat kaikissa vuoroissa samoilla koneilla työkennellessään käyttävät samaa kriteeriä määrittäessään hyvät huonoista. Attribuutti R&R:ää käytetään, kun identifioidaan, kuinka hyvin tarkastajat ovat yhdenmukaisia keskenään sekä kuinka hyvin tarkastajat ovat yhdenmukaisia standardoidun tuotteen tai osan hyvä/huono-tason kanssa. Attribuutti R&R:llä pyritään selvittämään tarvitseeko tarkastajat koulutusta, ovatko ohjeet puutteellisia tai ovatko standardit hyvin ja selkeästi määritetyt vai onko niitä määritetty ollenkaan. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 142–144.)

2.3 Analysointi

DMAIC-prosessin kolmas vaihe on analysointi. Tässä vaiheessa analysoidaan tarpeeksi tarkkoilla mittauksilla ja mittareilla, mikä on asiakkaalle kriittisen ominaisuuden todellinen suorituskyky. Datasta analysoidaan stabiilisuus ja toistettavuus, sekä lasketaan suorituskyky. Perustarkoituksena analyysivaiheella on ideoida ja paikallistaa ydin- tai juurisyillä ilmaistut ongelman aiheuttajat tai mahdollisuuden ratkaisijat. Luodaan siis hypoteesi, joka vahvistetaan tai kumotaan datalla ja tilastollisilla analyyseillä. Analyysivaihe synnyttää kaksi ratkaisumuokkuna, prosessi- ja dataikkunan. Prosessi-ikkunassa tutkitaan prosessia, kaavioita, pullonkauloja ja jalostusarvon muodostumista. Dataikkuna avaa näkökulman datamaailmaan, prosessiarvoihin ja tilastolliseen hypoteesitestaukseen. Lopputuloksena analyysivaiheesta saadaan siis hypoteesi eli oletus, mistä ongelmat johtuivat tai kuinka mahdollisuuteen päästään. Toisena tuloksena saadaan hypoteesi, joka on vahvistettu datalla. Tätä vaihetta ei työsuudessa esiinny. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 48–49.)

2.4 Parannus ja optimointi

DMAIC-prosessin neljännen vaiheen, parantamisen ja optimoinnin, tavoitteena on kokeilla ja soveltaa ratkaisuja, joihin ydin- tai juurisyys viittasivat aikaisempien mittaus- ja analyysivaiheiden aikana. Parannusvaiheen työkaluina käytetään haravointi- eli screening-kokeita (osittaistekijäkokeet, Taguchi-kokeet, Plackett-Burman), karakterisointikokeita ja optimointikokeita. Tämän vaiheen päätyökaluna on siis koesuunnittelu, jolla vaihtelun pienentäminen ja optimointi tapahtuvat. Tuloksena parannus ja optimointivaiheesta saadaan suunnitelmat ja testatut toimenpiteet, joilla ongelma ratkeaa. Lisäksi tuloksena on suunnitelma siitä, kuinka saavutettuja tuloksia voidaan arvioida seuraavassa vaiheessa. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 51-52.)

Koesuunnittelu (englanniksi Design of Experiments, DoE) on parannus- ja optimointivaiheen päätyökalu. Koesuunnittelua käytetään ulostuloon (Y) vaikuttavien tekijöiden (x) vaikutusten ja keskinäisvaikutuksien ymmärtämiseksi. Ideana on löytää tärkeimmät ulostuloon vaikuttajat tekijät sekä mahdolliset keskinäisvaikutukset, ja esittää ne määrällisesti. Koesuunnittelussa määrätietoisesti muutetaan prosessi- muuttujien arvoja koesuunnitelman mukaisesti. Kokeet tarjoavat erittäin suuren määrän informaatiota tutkittavasta asiasta ja mahdollistavat syy-seuraussuhteen määrittämisen. Koesuunnittelua käytetään paljon eri teollisuusaloilla ja palvelusektorilla. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 163; Karjalainen 2007.)

Erilaisia koesuunnittelu tyyppejä on monta. Tyypillisesti kokeet voidaan asettaa seuraavaan hierarkkiseen järjestykseen:

- I. Yksimuuttujakokeet (englanniksi One-factor-at-a-time OFAT)
- II. Harava eli Screening-kokeet (osittaistekijäkokeet, Taguchi-kokeet, Plackett-Burman)
- III. Karakterisointikokeet (täysfaktorikokeet)
- IV. Optimointikokeet (vastepintamenetelmä, englanniksi Response surface methodology RSM)

Kuljettaessa edellä mainittua listaa alaspäin (I => IV) kokeet luovat enemmän tehokasta dataa. Samalla kokeet muuttuvat suuremmiksi ja kalliimmaksi, ja näytteiden määrä sekä kokeen monimutkaisuus kasvavat. Näin ollen koetta suunniteltaessa on huolellisesti määritettävä tarvittava informaation laatu, jolla voidaan parantaa prosessia tai tuotetta. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 163–164.)

Harava eli Screening-kokeilla rajataan suuri input-muuttujalista muutamaan harvaan muuttujaan, jotka eniten vaikuttavat ulostuloon. Näihin kokeisiin ei sisälly korkeimman tason muuttujien keskinäisvaikutuksia. Tarkoituksena haravakokeilla on, että tiimi pystyy vähentämään mahdollisten tekijöiden joukkoa päästen lähemmän tärkeimpiä tekijöitä. Haravakokeissa muuttujia tutkitaan vain kahdella tasolla, jotta

kokeiden määrä olisi mahdollisimman pieni. Karakterisointikokeita käytetään tuottamaan yhtälö $Y = f(x)$ käyttäen vain kaikkein tärkeimpiä muuttujia. Näillä kokeilla arvioidaan päätekijöitä ja tekijöiden keskinäisvaikutuksia luoden ennusteyhtälö. Tämä yhtälö voi vaihdella kahden tason suunnitelmista useamman tason suunnitelmiin. Optimointikokeita käytetään etsittäessä prosessin optimitoimintakohtaa. Optimointikokeet ovat monimutkaisempia suunnitelmia kuten vastepintakokeita tai yksinkertaisia kokeita kuten EVOP (englanniksi Evolutionary Operations Methodology). (Karjalainen & Karjalainen 2008, 163; Malinen 2017.)

Koesuunnittelussa käytetään matriisipohjaista suunnitelmaa (esimerkiksi ortogonaalimatriisi). Yleisesti tekijät ovat riippuvaisia toisistaan, eli ne korreloivat keskenään. Ilman suunnitelmaa useiden tekijöiden muuttaminen ja tuloksen analysointi ei johda mihinkään. Matriisin avulla poistetaan keskinäisriippuvuus analysoitaessa. Ennen koematriisit haettiin kirjoista ja analyysit tehtiin käsin. Tämä oli erittäin työlästä ja hidasta, ja se vaati korkeaa ja hyvää tilastollista analysointitaitoa. Nykyään matriisien luominen ja niiden analysoiminen ovat huomattavasti yksinkertaisempaa kun käytetään tietokoneohjelmistoa, esimerkiksi MINITAB-ohjelmaa. Taulukossa 1 on esitettyä esimerkki ortogonaalimatriisista, jossa on halettu tutkia yhtätoista tekijää (A-L) ja jokaiselle tekijälle on määrätty kaksi tasoa (-1 ja 1). (Karjalainen 2007.)

		Tutkittavat tekijät										Tutkittava kohde	
Ajo		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	Ulostulo
Ortogonaalimatriisi	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	X
	2	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	X
	3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	X
	4	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	X
	5	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	X
	6	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	X
	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	X
	8	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	X
	9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	X
	10	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	X
	11	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	X
	12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	X

TAULUKKO 1. Ortogonaalimatriisi. (Karjalainen 2007.)

2.5 Ohjaus

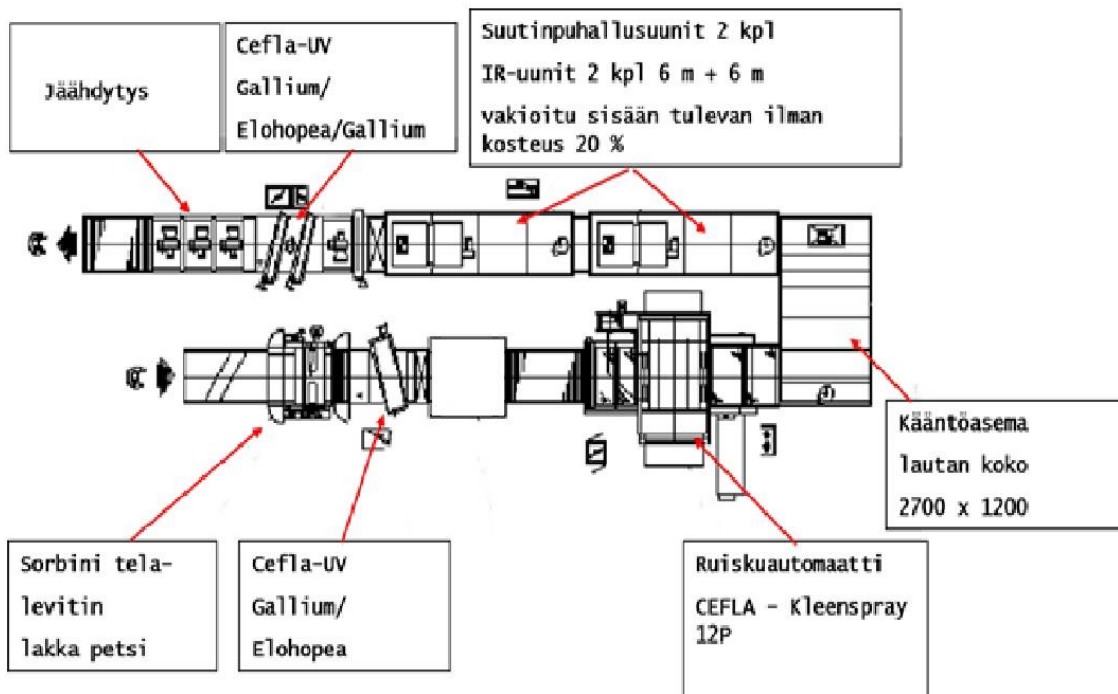
DMAIC-prosessin viimeinen vaihe on ohjaus ja valvonta. Edellisten vaiheiden avulla prosessi on saadettu kyvykkääksi ja stabiiliksi, minkä jälkeen ohjaus vaiheessa siirrytään ennaltaehkäisyyn ja prosessin proaktiiviseen ohjaukseen. Ohjausvaiheen tavoitteena on arvioida ratkaisuja ja kehittää suunnitelmat

siitä, kuinka saavutetut tulokset ylläpidetään sekä millaisia menettelyjä, standardeja, ohjeita ja mittauksia tarvitaan. Ohjaukseen ja valvontaan käytetään tilastollista prosessinohjaustyökalua (Statistical Process Control, SPC). Huomion arvoista on, ettei SPC suoranaisesti kuulu Six Sigman parannustyökaluihin, vaan se liitetään vasta ohjaukseen. Ohjausvaiheen tuloksena syntyy tulosanalyysi, prosessin monitorointi ja seurantajärjestelmät, dokumentit tuloksista, päivitetty johtamisjärjestelmän menettely sekä muutokset laatujärjestelmään ja päivitetty riskianalyysi. Tämä vaihe rajattiin työosuudessa pois. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 52-53.)

3 MAALAAMINEN

3.1 Pintakäsittelylinja

Tässä opinnäytetyössä koosuunnittelu testaukset tehdään Centrian puulaboration maalauslinjastoa käyttäen. Kuvassa 3 on pohjakuva kyseisestä maalauslinjastosta. Alusta loppuun linjastoon kuuluu Sorbini-telalevitin, Ceflan UV-lamppu, Ceflan Kleenspray 12P -ruiskuautomaatti, kääntöasema, suutinpuhallus- ja IR-uunit, Ceflan UV-lamppu ja jäähdytys. Testissä käytettiin ruiskuautomaattia, kääntöasemaa ja suutinpuhallusuuneja.



KUVA 3. Centrian puulaboration maalauslinjaston pohjakuva. (Centria Puutuote 2017.)

Ruiskuautomaatti on Ceflan valmistama Kleenspray 12P (KUVA 4). Se on malliltaan läpisyöttöinen yhdellä traverssivarrella (KUVA 5) varustettu ruiskuautomaatti. Tämä ruiskuautomaatti on erityisen hyvä pienille tuotantoerille ja erikoisväreille. Automaatissa maalattavat kappaleet liikkuvat paperimatolla, jonka alla vakuuminatto pitää paperin suorassa. Paperimattoa ei voida uudelleen käyttää maalauksessa. Ruiskuautomaatteja saa myös maalin talteen ottavalla kuljetinmattojärjestelmällä. Lisäksi on olemassa malleja, jotka ovat hybridiversioita, joissa pystytään käyttämään paperimattoa tai maalin uudel-

leenkeräysjärjestelmää. Kappaleiden tunnistus ruiskuautomaatissa tapahtuu automaattisesti valokenno-palkilla, joka mittaa kappaleesta leveyden ja pituuden. Centrian automaatissa on käytettävissä neljä korkeapaineainepiiriä ja lisäksi yksi ohennepiiri. Pistoolikelkkoja on käytössä kolme kappaletta, jotka pysytään vaihtamaan automaattiin pikakiinnityksellä. (Saarela 2015.)



KUVA 4. Cefla Kleenspray 12P.



KUVA 5. Cefla Kleenspray 12P -traverssivarsi maalausammiossa.

Eri pistoolivaihtoehtoja on käytettävissä kolme. Kuvassa 6 esitetään järjestyksessä vasemmalta oikealle hajoitusilmapistooli, korkeapainepistooli ja ilma-avusteinen korkeapainepistooli. Tärkeimmät eroavaisuudet näiden pistoolien toimintaperiaatteissa ovat seuraavat. Hajoitusilmaruiskutuksessa maaliaine syötetään matalalla paineella suuttimen ja sen neulan läpi, jonka jälkeen se hajotetaan paineilmalla hienoksi sumuksi. Korkeapaineruiskutuksessa maaliaine pakotetaan suuttimen läpi erittäin korkean paineen avulla (100–520 bar), jolloin maali hajoo sumuksi. Ilma-avusteinen korkeapaineruiskutus hyödyntää näiden molempien ruiskutustapojen etuja. Tässä ruiskutustavassa maaliaine paineistetaan suuttimen läpi noin 30–70 baarin voimalla, jonka jälkeen se hajotetaan noin 2-3 baarin hajoitusilmalla. (Saarela 2015.)



KUVA 6. Pistoolivaihtoehdot.

3.2 Maaliaineet

Maalit ovat useamman eri aineen muodostamia monimutkaisia yhdistelmiä. Yleisesti voidaan sanoa, että maali koostuu sideaineista, liuotinaineista, mineraalitäyteaineista, pigmenteistä/väriaineista ja muista lisäaineista. Sideaine on tärkein maalin ominaisuuksiin vaikuttava tekijä. Sideaine on maalin sellainen aine, joka levitettäessä on nestemäisessä tilassa ja kuivuttuaan se muodostaa kappaleen päälle kovan maalikalvon. Sideaineen ominaisuuksilla voidaan kalvolle antaa hyvä tarttuvuus, joustavuus, kestävyys, täyttyvyys ja monia muita ominaisuuksia. Tyypillisimpiä sideaineita ovat muun muassa nitroselluloosa, alkydi- ja aminohartsit, akrylaatti- ja polyesterihartsit. (Becker Acroma 2007, 18; IFS 2010.)

Liutinaineen tyypistä ja määrästä riippuen saa sideaineliuos ominaisuuksia, jotka ovat ratkaisevia pintakäsittelyaineen koostumukselle, levitettävyydelle, alustan kostuttavuuskyvylle sekä osin jopa aineen kuivumisajalle. Liutinaineesta puhuttaessa käytetään myös nimitystä ohenne. Esimerkkejä liutin aineesta ovat vesi, öljy, alkoholi ja tärpätti. Joidenkin maalien kohdalla puhutaan tinneristä (eng. thinner eli ohenne), jolle eri valmistajilla on eri yhdistelmiä. Yleensä ne sisältävät muun muassa asetonia, toluenia, etanolia ja ksyleeniä. (Becker Acroma 2007, 18; IFS 2010.)

Mineraalitäyteaineet ovat pääasiassa epäorgaanisia yhdistelmiä, joilla ei ole väriin tai peittoon vaikutusta. Niiden avulla kalvolle luodaan mekaanista sekä kemikaalien vastustuskykyä, esimerkiksi naarmuuntumista tai kahvitahroja vastaan. Lisäksi niillä voidaan muuttaa maalien reologisia ominaisuuksia. Myöskin joillakin mineraalitäyteaineilla pystytään vaikuttamaan maalikalvon kiilto-ominaisuuksiin. Mineraalitäyteaineina käytetään muun muassa alumiinisilikaattia, bariumsulfaattia, kalsiumkarbonaattia ja pii-dioksidia. (Becker Acroma 2007, 18; IFS 2010.)

Maalissa pigmenttejä käytetään peittävyuden ja sävyn saavuttamiseksi. Lisäksi niillä voidaan saavuttaa suojaa auringon UV-säteilyä vastaan. Pigmenttiaineet voidaan luokitella orgaanisiin ja epäorgaanisiin aineisiin, riippuen niiden kemiallisesta koostumuksesta. Esimerkiksi maalien tärkein väriaine, valkoinen, saadaan titaanioksidilla. Lisäaineita maaleissa on erittäin paljon ja niillä pystytään parantamaan ja muokkaamaan esimerkiksi kiiltoa, koostumusta, kostuttavuutta, tasoittuvuutta, kuplattomuutta ja hiottavuutta. (Becker Acroma 2007, 18; IFS 2010.)

Maalien jaotteluun on monta tapaa: maalin ohenteen mukaan, maalin roolin mukaan (pohja-, pinta-maali), levitystavan mukaan, käytön mukaan, jne. Yleisimmin käytetty jaottelutapa perustuu tärkeimpään maalin osaan, sideaineeseen. Toisin sanoen jaottelu perustuu siis kovettumistapaan, ja näin ollen maalit voidaan jakaa seuraavasti: vesiohenteiset tuotteet, fysikaalisesti kuivuvat tuotteet ja reaktiokovettuvat tuotteet. Lisäksi reaktiokovettuvat jakaantuvat vielä happokovetteiseen systeemiin, tyydyttämättömiin polyesterisysteemiin, polyesterisysteemiin ja UV-systeemiin. (Becker Acroma 2007, 18-19; IFS 2010.)

4 PINTAKÄSITTELYLINJAN PROSESSIMUUTTUJIEN TUTKIMUS

Tutkimuksen tavoite voidaan kiteyttää seuraavaan asiakkaan ”äänenä” toimivaan kysymykseen: mitkä muuttujat vaikuttavat eniten pinnanlaatuun? Tutkimuksessa kysymykseen etsittiin vastausta käyttämällä Lean Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmän työkaluja ja osittain samaa vaiheistusta.

4.1 SIPOC

Tutkimuksen aloitin laatimalla SIPOC-kaavion (KUVA 7). Päätehtävänä SIPOC:lla oli määrittää prosessi ja pilkkoa se osiin, muuttaa VOC-informaatio ulostuloiksi ja tuoda esille, mitä prosessi vaatii toimiakseen eli mitkä ovat sisääntuloja prosessiin ja ketkä toimittavat ne.

SIPOC - Projektin rajaaminen						Päivitetty
		Maalausprosessi, traverssiruislinjastolla				21.12.2017
Suppliers Toimittajat	Input't	Prosessi	Output't	Speksit	Customer Asiakas	
Centria	Sisääntulot = X't		Ulostulot = Y't		Puuteollisuus hanke	
Teknos Kremlin	Maalari/työntekijä/työvoima	Maalattavan tuotteen esikäsittely	Pinnanlaatu	Visuaalinen tarkastaminen		
	Raaka-aineet:		Peittävyys/Levitysmäärä	g/m ²	VOC-informaatio:	
Cefla	Maaliaine	Maaliaineen valmistelu	Tarttuvuus		Mitkä muuttujat vaikuttavat eniten pinnanlaatuun?	
	Maalattava kappale		Kiiltoaste			
	Laitteet:	Linjaston valmistelu ja käynnistys	Kovuus			
	Pumppu		Karheus	Ra		
	Pistoolit, suuttimet	Ruiskutus				
	Ruiskuautomaatti					
	Uuni	Uunikuivaus				
	Muuta:					
	Sähkö	Mittaus				
	Paineilma					
	Tuloilma					
	Poistoilma					

KUVA 7. SIPOC-maalausprosessi.

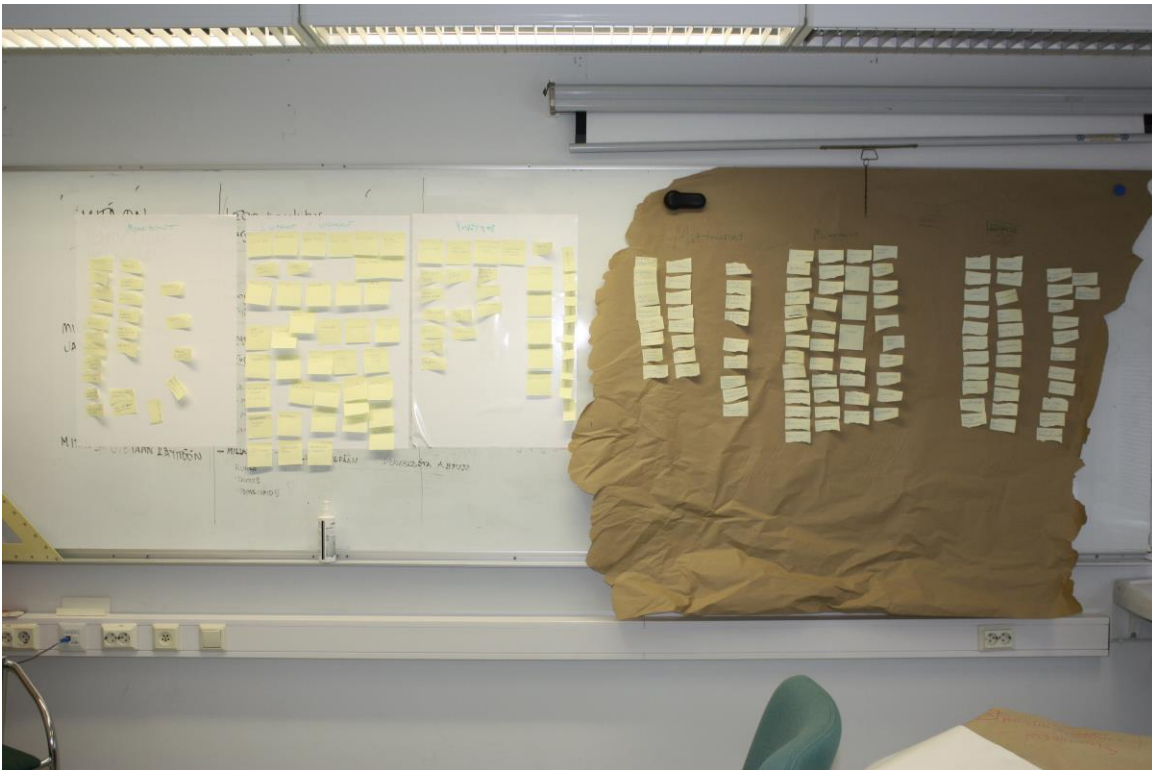
SIPOC-kaavion luominen alkoi prosessista. Tässä tutkimuksessa prosessina oli maalausprosessi aiemmin kuvatulla Centrian ruiskuautomaattilinjastolla. Maalausprosessi jakaantui kuuteen vaiheeseen: maalattavan tuotteen esikäsittely, maaliaineen valmistelu, linjaston valmistelu ja käynnistys, ruiskutus, uunikuivaus ja mittaus. Seuraavaksi mietin prosessin ulostuloja VOC-informaation perusteella. Päädyin siihen, että pinnanlaatu koostuu useammasta tekijästä, joista muodostui seuraavat prosessin ulostulot: visuaalinen pinnanlaatu eli miltä tuote näyttää käyttäjän silmissä, maalin peittävyys, maalin tarttuvuus, pinnan kiiltoaste, pinnan kovuus ja pinnan karheus. Ulostulojen jälkeen mietin sisääntulot eli asioita, joita prosessi tarvitsee toimiakseen ja ketkä toimittavat ne.

Seuraavaksi mietin, miten pinnanlaatua mitataan koesuunnittelussa. Työnohjaajan mukaan paras tapa olisi valita yksi käytettävä mittaussuure, minkä seuraamuksena koesuunnittelu tulosten analysoiminen olisi huomattavasti yksinkertaisempaa. Toisaalta, omasta mielestäni pinnanlaatu ei ole yksiselitteinen käsite, vaan se on useamman tekijän muodostama kokonaisuus. Käytetään esimerkkinä tilannetta, jossa kappaleessa on hyvä peitto, mutta pinta on jäänyt karheaksi. Tällöin ei voida puhua hyvästä pinnanlaadusta. Toinen esimerkki voi olla tilanne, jossa yritykselle on tärkeää, että kappale uunista tullessaan on hyvän näköinen ja se on pinkkauskuiva. Jos molemmat kriteerit eivät toteudu, taas voidaan sanoa, että kappale ei ole pinnanlaadullisesti hyvä. Toisaalta mittareita ei voi olla liikaa, koska työmäärä mittausjärjestelmän analysoimiseen ja kappaleiden mittaamiseen kasvaa liian suureksi verrattuna käytettäviin resursseihin. Mittareiden valintaan vaikutti se, että maalaus suoritetaan linjastolla, jossa on kuivausuuni ruiskuautomaatin jälkeen. Jolloin oleellinen mittausyksikkö olisi siis kovuus. Lisäksi, jos ajatellaan tuotteiden loppukäyttäjiä. Heille on tärkeää, että kappale näyttää hyvältä ja mahdollisesti tuntuu hyvältä, jolloin mittareiksi lisäksi valikoitui peittävyys, virheet ja karheus.

4.2 Prosessimuuttujien löytäminen ja rajaaminen

4.2.1 Prosessimuuttujien löytäminen

Prosessimuuttujien etsiminen toteutettiin työryhmällä käyttäen aivoriihimenetelmää ja syy-seuraus-kaaviota. Työryhmään osallistui itseni lisäksi neljä Centrian työntekijää, ja se toteutettiin Centrian puulaboratorion tiloissa. Aivoriihimenetelmä toteutettiin siten, että pääkohdiksi valittiin syy-seuraus-kaavioon kuusi päähaaraa ja lopputulemaksi kirjattiin pinnanlaatu, eli etsittiin muuttujia, jotka voivat vaikuttaa tai vaikuttavat pinnanlaatuun. Työryhmään osallistuville jaettiin post-it-lappuja, joihin kirjattiin yksi muuttuja per lappu. Muuttujien kirjaaminen tehtiin yksi päähaara kerrallaan, ja jokaisella kerralla annettiin viisi minuuttia aikaa kirjata niin monta muuttujaa kuin mieleen tulee hiljaisuudessa. Tämän jälkeen laput sijoitettiin sille kuuluvalla paikalla (KUVA 8). Kun kaikkiin päähaaroihin oli kirjattu muuttujat, niin poistettiin päällekkäisyydet. Olennaista tässä työvaiheessa oli löytää mahdollisimman paljon muuttujia.



KUVA 8. Prosessimuuttujien löytäminen aivoriihimenetelmällä.

4.2.2 Prosessimuuttujien järjestäminen

Aivoriihimenetelmän valmistuttua kirjasin muuttujat MINITAB-ohjelmaan, jonka avulla loin syy-seuraus-kaavion selkeyttämään niiden esittämistä (KUVA 9). Yhteensä muuttujia löytyi 113 kappaletta, ja eniten oli koneet/laitteet-kohdassa.

4.2.3 Prosessimuuttujien arviointi

Kun prosessiin vaikuttavat muuttujat oli löydetty, niille tehtiin arviointi käyttäen XY-matriisia (LIITE 2). Arviointi tehtiin yhdessä työryhmällä, ja työryhmään osallistui itseni lisäksi kolme Centrian työntekijää. Muuttujista arvioitiin miten paljon ne vaikuttavat kuhunkin ulostuloon, jonka avulla jokaiselle muuttujalle muodostui prioritettu luku. Tässä vaiheessa jätettiin arvioimatta muuttujia, jotka olivat maaliaineeseen liittyviä tai virhetilanteita, joita ei saa päästä tapahtumaan. Tällaisia olivat esimerkiksi syötövirhe tai maaliaineen väärässä tilassa varastointi. Lisäksi jätettiin pois muuttujia, mihin ei pystyisi millään tavalla enää vaikuttamaan tai niiden muuttuminen tulisi erityisen kalliiksi, kuten maaliletkujen pituuden muuttaminen. Maaliaineen muuttujat jätettiin arvioimatta sen takia, että maaliaine oli jo vakioitu ennen tätä vaihetta. Lisäksi päädyimme työryhmässä siihen, että mittauslaitteiden muuttujia ei ole hyödyllistä arvioida, koska ne eivät vaikuta lopulliseen pinnanlaatuun vaan niillä mitataan laatua. Niiden ainoa vaikutus on se, että ne voivat antaa virheellisiä tuloksia pinnanlaadusta, joten niiden toimivuus tullaan varmentamaan MSA-vaiheessa.

XY-matriisin valmistuttua tein pylväsdiagrammin muuttujista (LIITE 3). Diagrammissa ylimpänä on suurin prioritetun luvun omaava muuttuja, eli toisin sanoen arvioinnin mukaan eniten pinnanlaatuun vaikuttava muuttuja ja alinna on vähiten pinnanlaatuun vaikuttava muuttuja. Muuttujia tutkiessa päädyin siihen, että jos materiaalia muutetaan, maaliaine vaihtuu tai pistoolityyppi vaihtuu, seuraamuksena on, että kaikki prosessinarvot muuttuvat oleellisesti. Tällöin tarvittaisiin aina uusi koesuunnittelu esimerkiksi matalapaineruiskun vaihtuessa korkeapaineruiskuun, joten näin parhaimmaksi vakioida materiaalin, maalin ja ruiskutustyyppin. Seuraavaksi kävimme yhdessä Centrian työntekijöiden kanssa diagrammia läpi. Materiaaliksi valikoitui lasi, koska lasi on erittäin tasalaatuista ja maaliaine ei pääse imeytymään lasiin. Sitä ei tarvitse pohjamaalata, ja tällä oli vaikutusta koesuunnittelun toteutukseen. Ruiskutustyyppiksi valittiin ilma-avusteinen korkeapainepistooli (Airmix).

Muuttujien lopullinen valinta tapahtui käymällä pylväsdiagrammi yhdessä työryhmän kanssa läpi, ja keskustellen kohta kohdalta mikä muuttuja jätettäisiin testattavaksi ja mitä muuttujaa ei olisi järkevää testata. Oleellisesti valintaan vaikutti aiemmin mainitut rajaukset eli vakioidut muuttujat, ja muuttujat joilla linjasäätoja tavallisesti tehdään ja millä tiedetään olevan vaikutusta prosessiin kokemuksen kautta. Monet pois jätetyt muuttujat ovat luonteeltaan sellaisia, ettei niihin tässä vaiheessa pystytä enää vaikuttamaan esimerkiksi vuodenaika. Tai pois jätetty muuttuja oli sellainen, joka vain pitää järjestää kuntoon, kuten tilojen ahtaus. Liitteessä 3 on vihreällä merkitty testattavat muuttujat, punaisella merkatut on jätetty pois, violetilla merkattua mitataan, mutta sitä ei käytetä parannuksen mittana, ja mustalla merkattu

on vakioitu pistoolityyppi. Muuttujiksi valikoitui: maalinsekoitus, suuttimet, pumpun paine, pistoolikulma linjanopeus, traverssinopeus, uunin poisto-/tuloilma, hajotusilman paine, pistoolikorkeus ja uunin lämpötila.

4.3 Mittaussysteemin analysointi (MSA)

4.3.1 Karheus

Karheuden mittauksessa käytettiin Elcometer 7061 MarSurf PS1 -mittauslaitetta (KUVA 10). Laitteen mittaussuurena käytettiin Ra:ta, joka tarkoittaa karheuden keskiarvoa mittaussuurella. Laite toimii siten, että mittauksen aikana se tekee seitsemän tietyn pituista mittausta, joista se mittaa Ra:n. Tämän jälkeen mittalaite poistaa suurimman ja pienimmän arvon, minkä jälkeen tuloksena laite antaa viiden mittauksen keskiarvon.



KUVA 10. Elcometer 7061 MarSurf PS1 -karheusmittauslaite.

Karheusmittarin analysoiminen toteutettiin seuraavan taulukoon 2 mukaisesti. Ensimmäiseen testiin osallistui minun lisäksi kaksi Centrian työntekijää. Mitattavia kappaleita testissä oli kolme ja jokaisesta kappaleesta kukin mittaja otti viisi mittaustulosta eri puolelta kappaletta. Kappaleen koko oli 10cm kertaa 10cm. Kappaleet annettiin mittajalle satunnaisessa järjestyksessä.

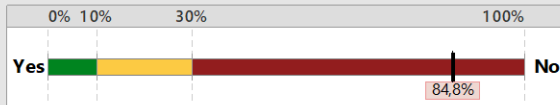
Kappale	Lukema 1	Lukema 2	Lukema 3	Lukema 4	Lukema 5	Mittaaja
1	1.895	1.280	1.536	1.652	1.261	Petri
2	1.138	1.514	1.785	1.941	1.239	Petri
3	1.631	1.527	2.058	2.311	1.889	Petri
1	1.281	1.248	1.356	1.630	1.579	Arto
2	1.849	1.551	1.340	1.173	1.711	Arto
3	2.275	1.794	1.719	1.619	1.340	Arto
1	1.185	1.741	1.341	1.756	1.595	Matias
2	1.567	1.405	1.652	1.178	1.632	Matias
3	1.472	1.956	2.577	2.044	1.409	Matias

TAULUKKO 2. Karheuden mittaustaulukko, testi 1.

MSA-arviointi tehtiin käyttämällä MINITAB-ohjelman MSA-assistant toiminnolla. Tulokset näkyvät edellä olevissa kuvissa 11 ja 12. Kuvan 11 perusteella pystyi välittömästi huomaamaan, ettei mittaria pystyisi käyttämään sellaisenaan. Analysointi kertoo, että 84,8 % vaihtelusta verrattuna prosessin vaihteluun johtuu mittarista. Hyvä arvo olisi 0-10 % ja 10–30 % olisi käytettävyyden rajamailla. Kuva 12 kertoo, että mittaajien välillä ei ole tilastollisesti merkittävää eroa ja vaihtelu koostuu ainoastaan mittarin toistettavuudesta.

Gage R&R Study for StackedData Summary Report

Can you adequately assess process performance?



The measurement system variation equals 84,8% of the process variation. The process variation is estimated from the parts in the study.

Study Information

Number of parts in study	3
Number of operators in study	3
Number of replicates	5

(Replicates: Number of times each operator measured each part)

Comments

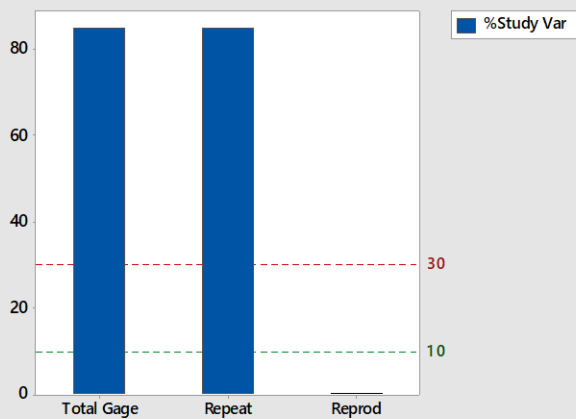
General rules used to determine the capability of the system:

- <10%: acceptable
- 10% - 30%: marginal
- >30%: unacceptable

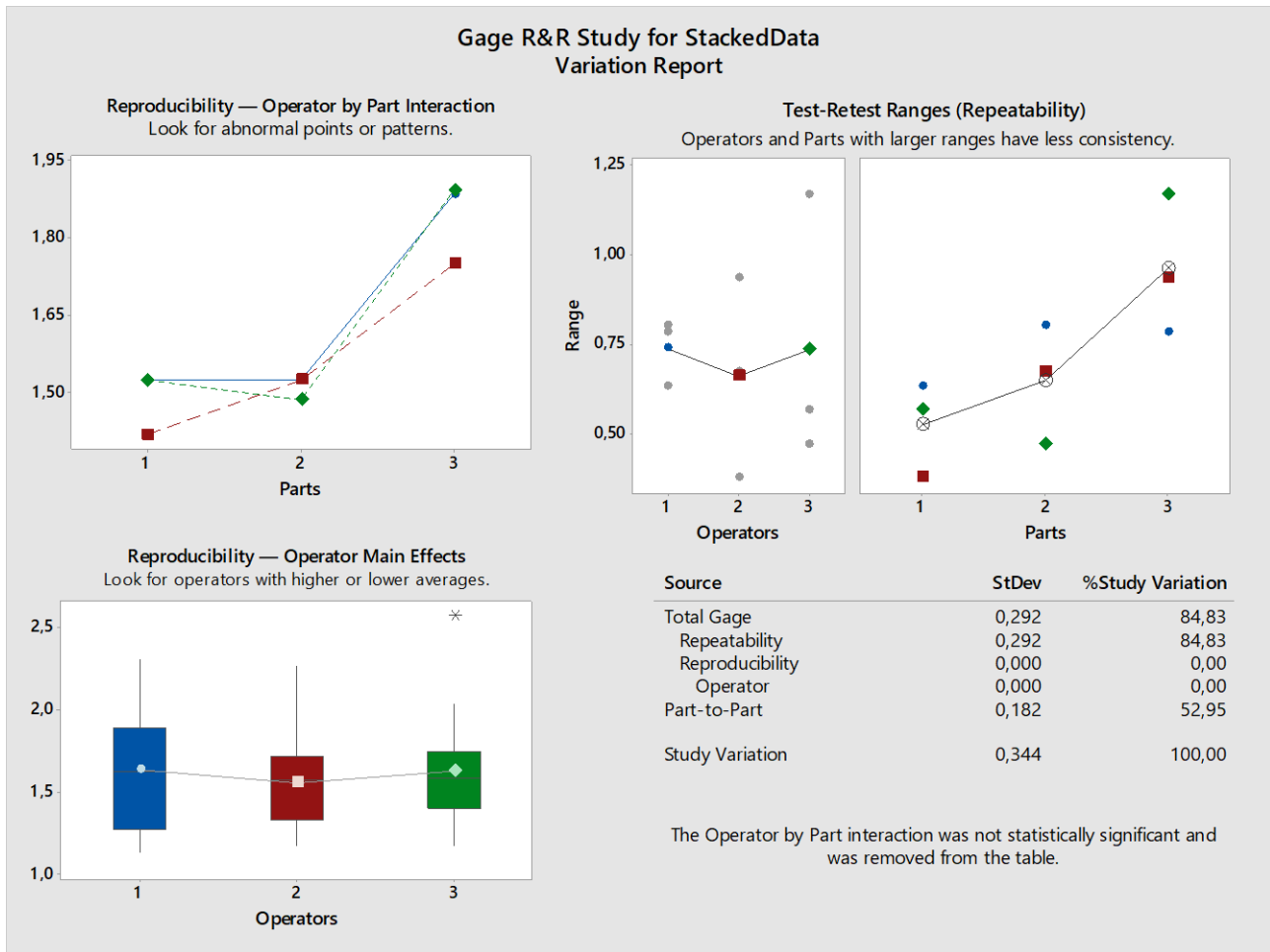
Examine the bar chart showing the sources of variation. If the total gage variation is unacceptable, look at repeatability and reproducibility to guide improvements:

- Test-Retest component (Repeatability): The variation that occurs when the same person measures the same item multiple times. This equals 100,0% of the measurement variation and is 84,8% of the total variation in the process.
- Operator component (Reproducibility): The variation that occurs when different people measure the same item. This equals 0,0% of the measurement variation and is 0,0% of the total variation in the process.

Variation by Source



KUVA 11. Karheus: MSA-testi 1, yhteenveto.



KUVA 12. Karheus: MSA-testi 1, kuvat.

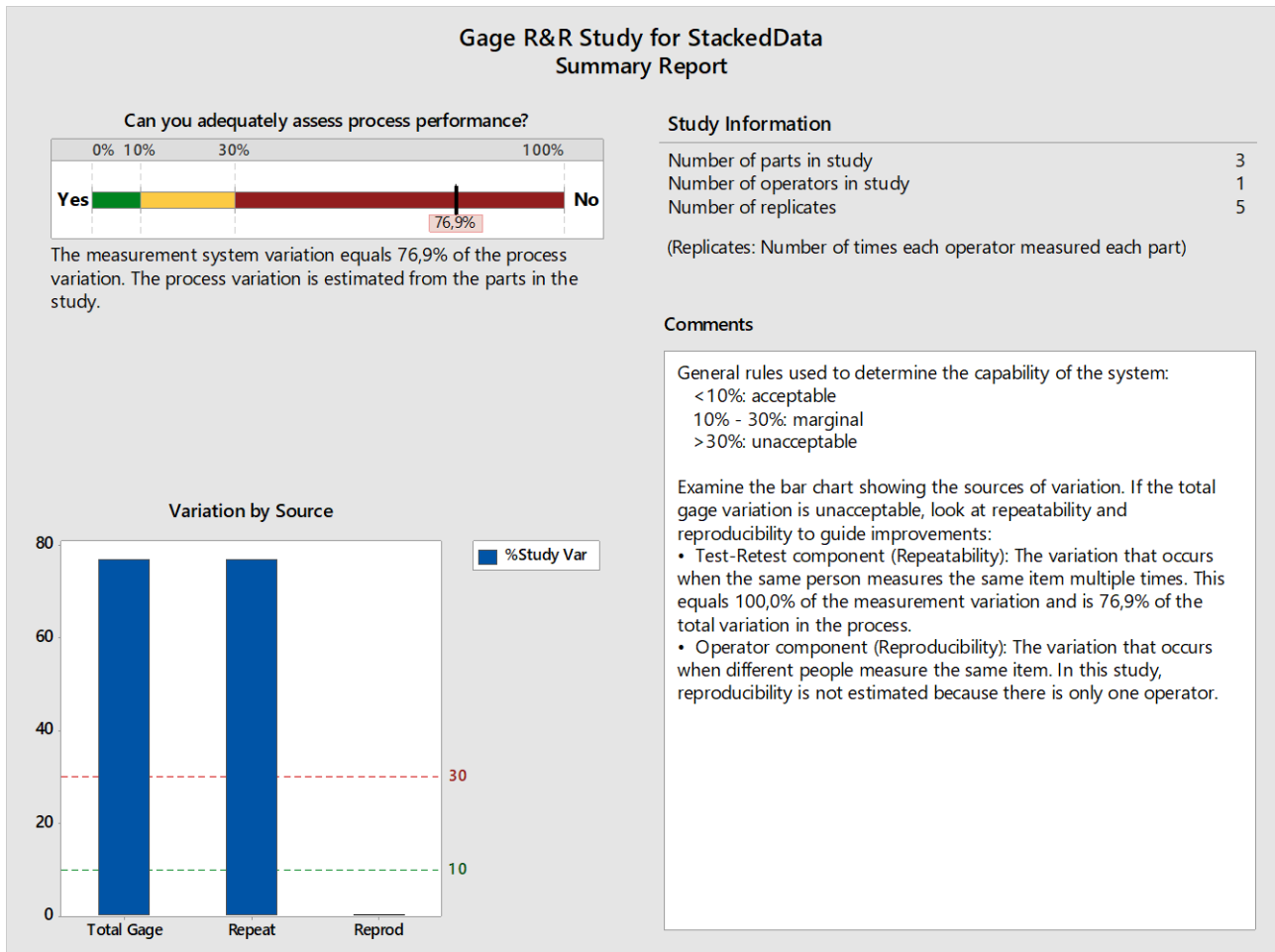
Mittari ei sellaisenaan kelvannut koesuunnittelun arviointimenetelmäksi ensimmäisen testin mukaan, koska muuta karheuden mittauslaitetta ei ollut käytettävissä piti mittaria pyrkiä kehittämään. Seuraavassa taulukko 3 mukaisessa testissä tutkin, johtuiko vaihtelu siitä, että mittaukset tehtiin kappaleen eri kohdista.

Kappale	Lukema 1	Lukema 2	Lukema 3	Lukema 4	Lukema 5	Mittaaja
1	1.438	1.568	1.290	1.467	1.946	Matias
2	1.649	1.693	1.944	1.744	1.511	Matias
3	2.004	1.998	1.751	2.940	1.933	Matias

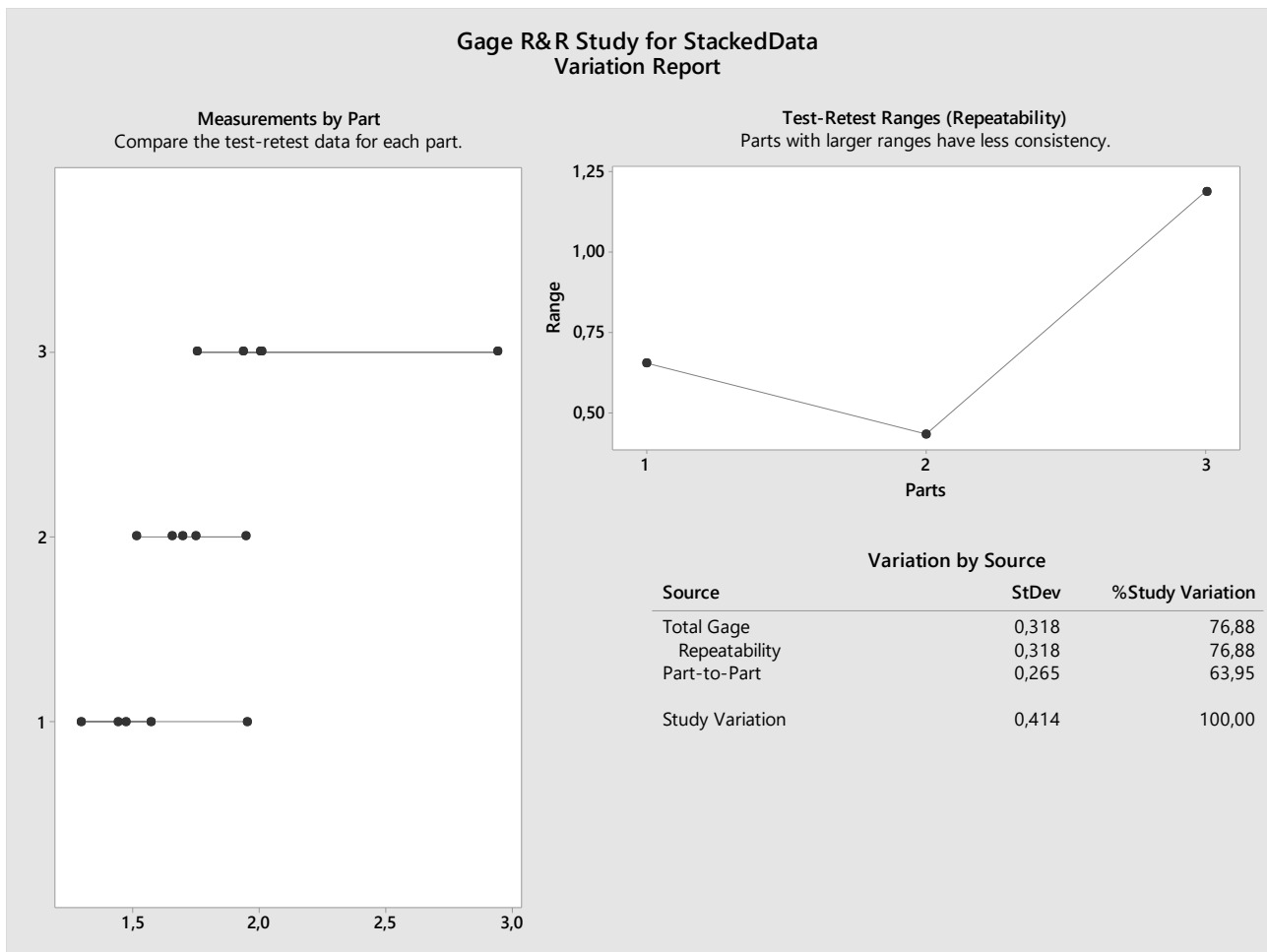
TAULUKKO 3. Karheuden mittaustaulukko, testi 2.

Tulokset ovat esitettynä kuvissa 13 ja 14. Parannusta tapahtui 7,9 % verran, kun mittaukset otettiin suurin piirtein kappaleen keskikohdasta. Mittalaite ei kuitenkaan ollut vielä luotettava. Huomasin, että MINITAB-ohjelman analyysityökalu ohjeistaa käyttämään kymmentä testikappaletta, koska testi joutuu

arvioimaan prosessin vaihtelun sille annetuista tuloksista. Toinen vaihtoehto testissä olisi käyttää aiemmin kerättyä dataa, josta olisi laskettuna keskihajonta prosessin vaihtelulle, mutta aikaisempaa mittausdataa ei ollut olemassa.



KUVA 13. Karheus: MSA-testi 2, yhteenveto.



KUVA 14. Karheus: MSA-testi 2, kuviot.

Kolmannessa testissä (TAULUKKO 4) käytettiin 10 testauskappaletta ja testiin osallistui itseni lisäksi kaksi Centrian työntekijää. Edellisestä testistä opittuna mittaustulokset otettiin mahdollisimman läheltä mitattavan kappaleen keskikohtaa. Mittaustuloksia otettiin kaksi jokaisesta testattavasta kappaleesta.

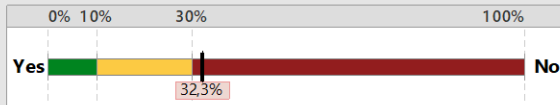
Kappale	Lukema 1	Lukema 2	Mittaaja
1	0.185	0.255	Hanna
2	0.471	0.440	Hanna
3	2.213	1.571	Hanna
4	2.118	2.406	Hanna
5	1.871	1.976	Hanna
6	3.106	3.100	Hanna
7	2.039	1.773	Hanna
8	0.184	0.209	Hanna
9	1.390	0.850	Hanna
10	1.212	1.532	Hanna
1	0.227	0.334	Arto
2	0.465	0.514	Arto
3	1.738	1.965	Arto
4	2.441	3.103	Arto
5	1.904	2.202	Arto
6	3.942	5.056	Arto
7	1.388	1.412	Arto
8	0.193	0.224	Arto
9	0.953	1.051	Arto
10	1.739	1.850	Arto
1	0.276	0.294	Matias
2	0.424	0.515	Matias
3	2.067	2.390	Matias
4	2.082	1.895	Matias
5	2.146	1.858	Matias
6	5.036	3.486	Matias
7	1.207	1.191	Matias
8	0.302	0.249	Matias
9	0.709	0.883	Matias
10	1.783	1.988	Matias

TAULUKKO 4. Karheuden mittaustaulukko, testi 3.

Tulokset ovat esitettynä kuvissa 15 ja 16. Tulokseksi saatiin 32,3 % eli parannusta tapahtui 44,6 prosenttiyksikön verran, mutta tulos ei silti ole vielä hyväksyttävä. Mittaajien välillä oli vaihtelua ja samojen kappaleiden mittaustuloksissa oli myös suurta vaihtelua. Vaihtelu luultavasti johtui siitä, että mittauksia otettiin ainoastaan kaksi per kappale. Tämän tiedon perusteella mittauksia tulisi siis ottaa enemmän seuraavissa testeissä, jolloin luotettavuuden pitäisi parantua.

Gage R&R Study for StackedData Summary Report

Can you adequately assess process performance?



The measurement system variation equals 32,3% of the process variation. The process variation is estimated from the parts in the study.

Study Information

Number of parts in study	10
Number of operators in study	3
Number of replicates	2

(Replicates: Number of times each operator measured each part)

Comments

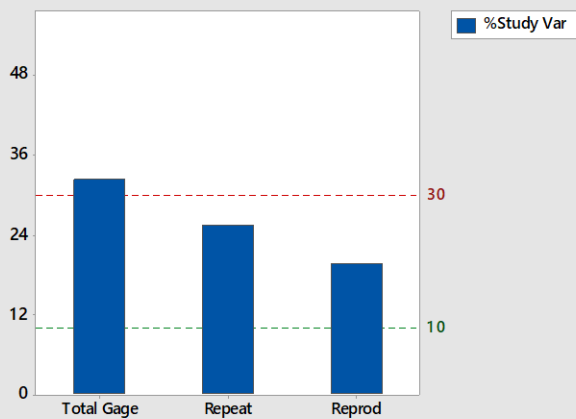
General rules used to determine the capability of the system:

- <10%: acceptable
- 10% - 30%: marginal
- >30%: unacceptable

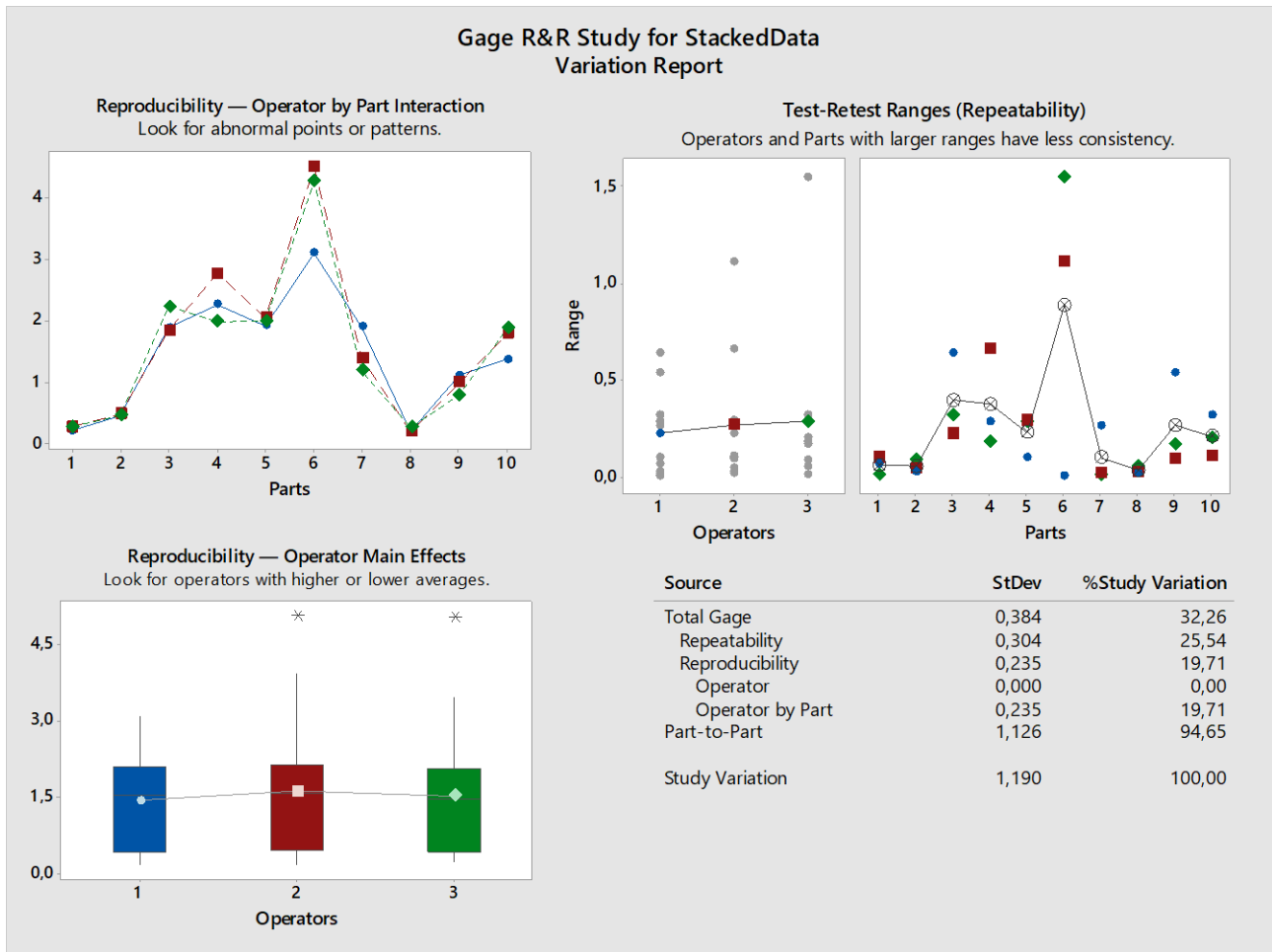
Examine the bar chart showing the sources of variation. If the total gage variation is unacceptable, look at repeatability and reproducibility to guide improvements:

- Test-Retest component (Repeatability): The variation that occurs when the same person measures the same item multiple times. This equals 79,2% of the measurement variation and is 25,5% of the total variation in the process.
- Operator and Operator by Part components (Reproducibility): The variation that occurs when different people measure the same item. This equals 61,1% of the measurement variation and is 19,7% of the total variation in the process.

Variation by Source



KUVA 15. Karheus: MSA-testi 3, yhteenveto.



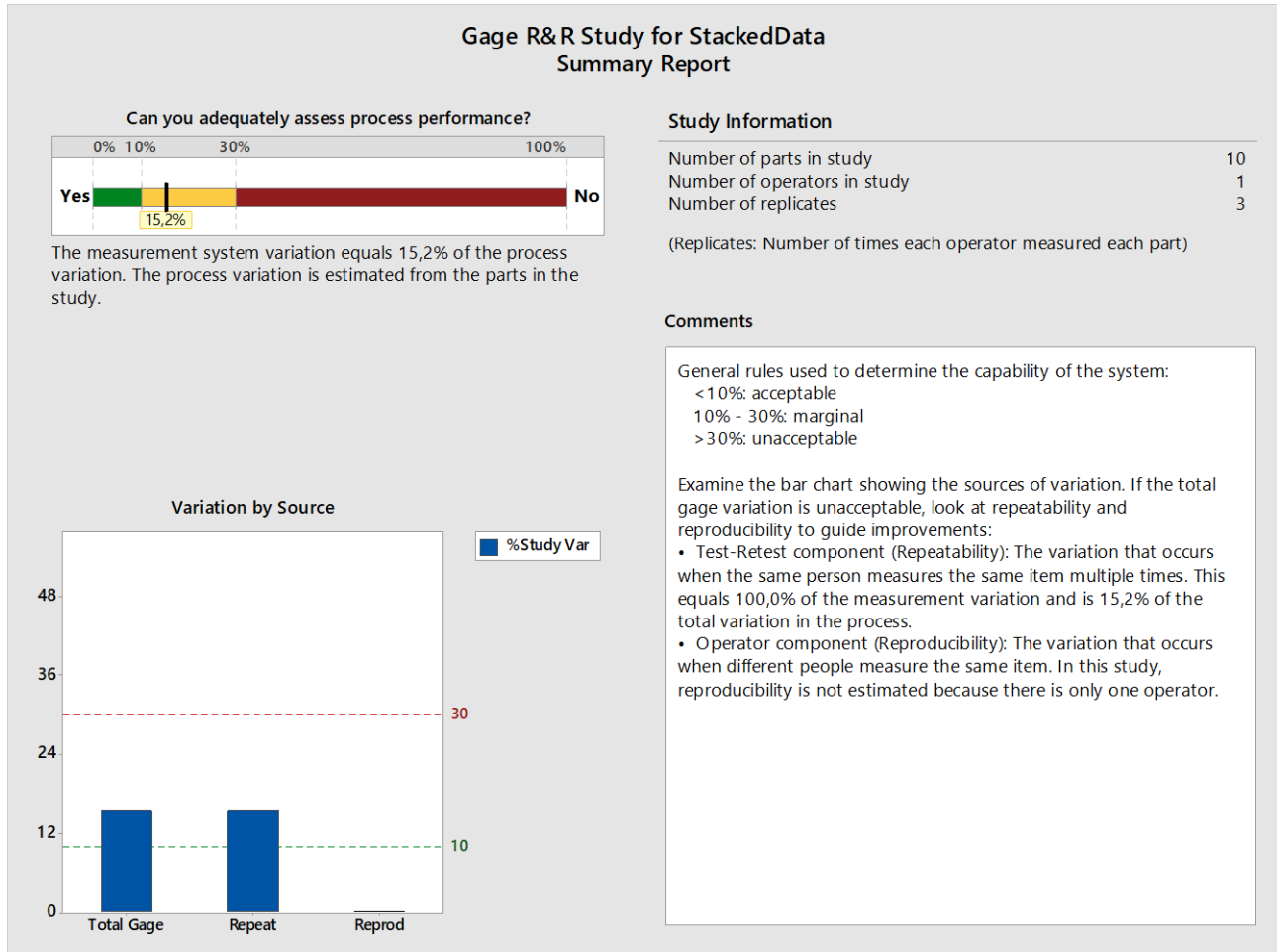
KUVA 16. Karheus: MSA-testi 3, kuvat.

Neljäs testi (TAULUKKO 5) toteutettiin siten, että mittatuloksia otettiin viisi jokaisesta kappaleesta, mutta pienin ja suurin tulos poistettiin. Tarkoituksena tällä mittaamistavalla oli vähentää vaihtelua samojen kappaleiden mittaustuloksissa.

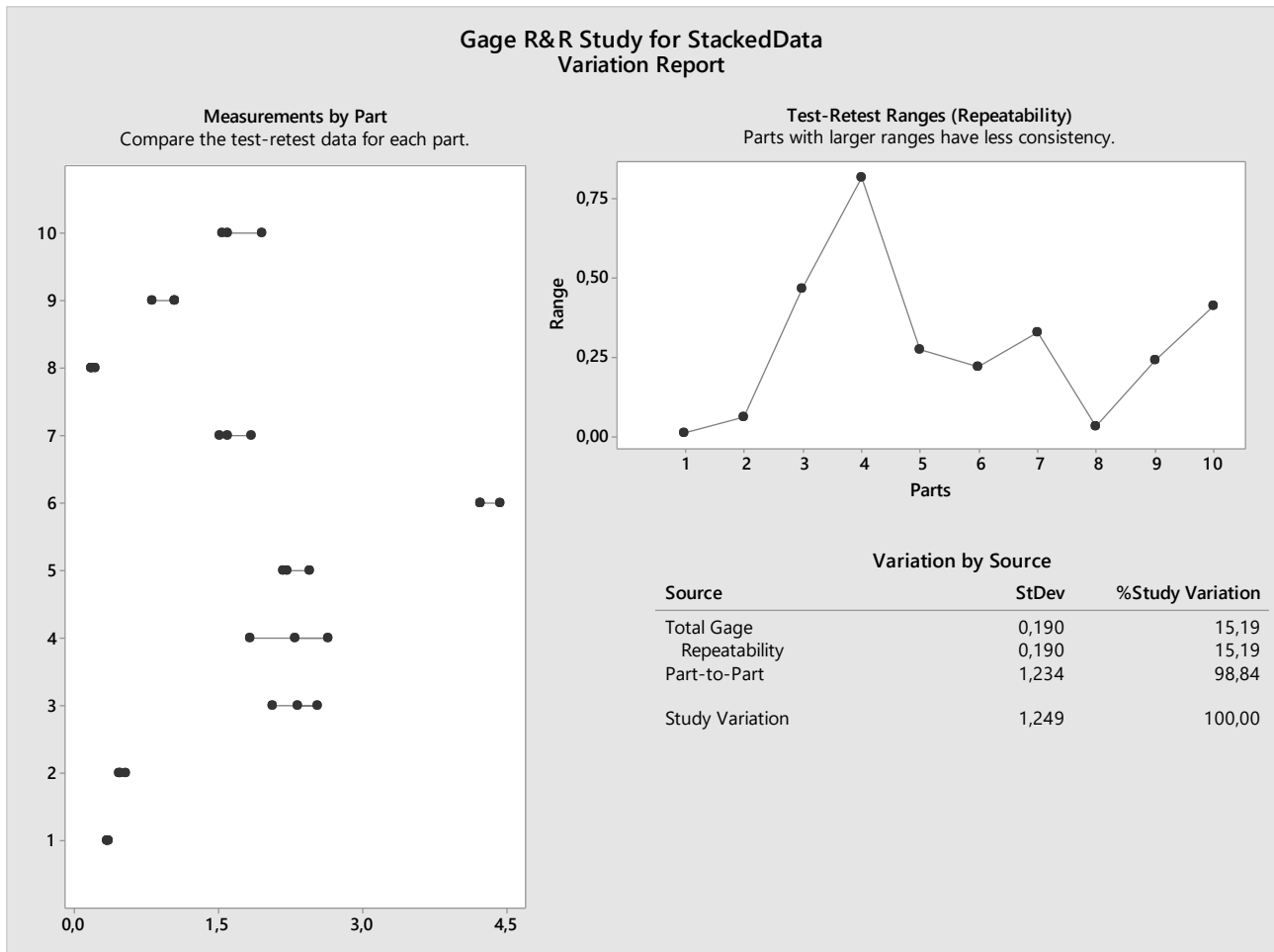
Kappale	Lukema 1	Lukema 2	Lukema 3	Pienin	Suurin
1	0,350	0,341	0,339	0,309	0,357
2	0,477	0,530	0,466	0,451	0,580
3	2,064	2,532	2,322	1,984	2,577
4	2,295	2,646	1,828	1,681	2,832
5	2,447	2,174	2,218	1,987	2,469
6	4,437	4,218	4,219	3,304	4,986
7	1,594	1,506	1,837	1,367	1,873
8	0,215	0,181	0,183	0,173	0,253
9	1,037	1,049	0,808	0,761	1,186
10	1,596	1,538	1,950	1,510	1,979

TAULUKKO 5. Karheuden mittaustaulukko, testi 4.

Tulokset ovat esillä kuvissa 17 ja 18. Parannusta saatiin noin 17 prosenttiyksikön verran, jolloin tulok-
sena siis oli 15,2 %. Tulosta voidaan pitää jo kohtuullisena. Kuvasta 18 on nähtävissä, että vaihteluväli
osissa pienentyi erittäin paljon verrattuna aikaisempiin testeihin.



KUVA 17. Karheus: MSA-testi 4, yhteenveto.



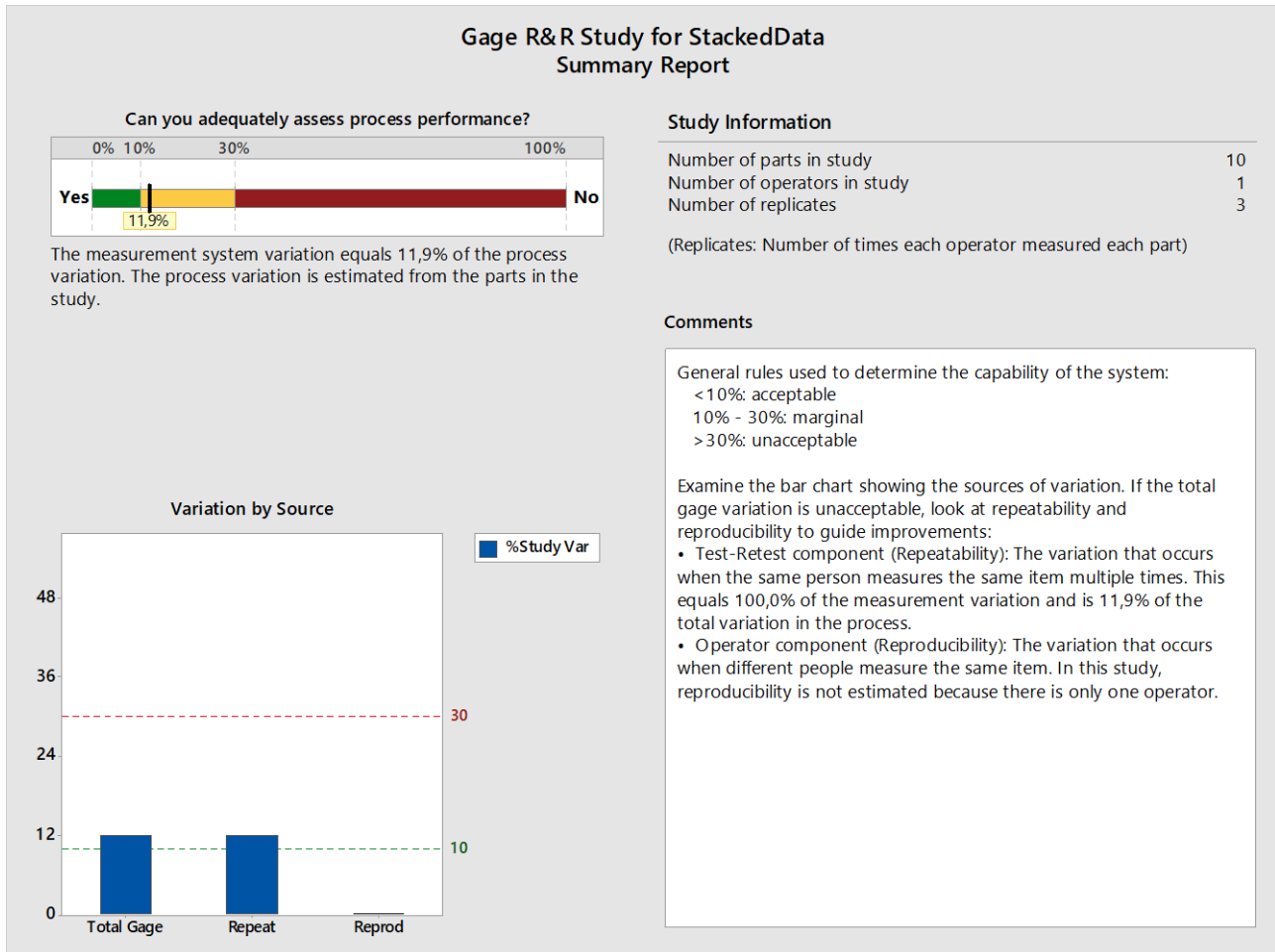
KUVA 18. Karheus: MSA-testi 4, kuviot.

Aikaisemmissä testeissä Ra:n mittaamiseen laitteen näytepituus oli 0,8mm. Seuraavaan testiin näytepituudeksi muutettiin 2,5mm. Olettamuksena oli, että pidempi näytepituus tuottaisi tasaisempia tuloksia. Muuten testi toteutettiin samalla tavalla kuten testinumero neljä. Taulukossa 6 on esillä mittauslukemat testistä viisi.

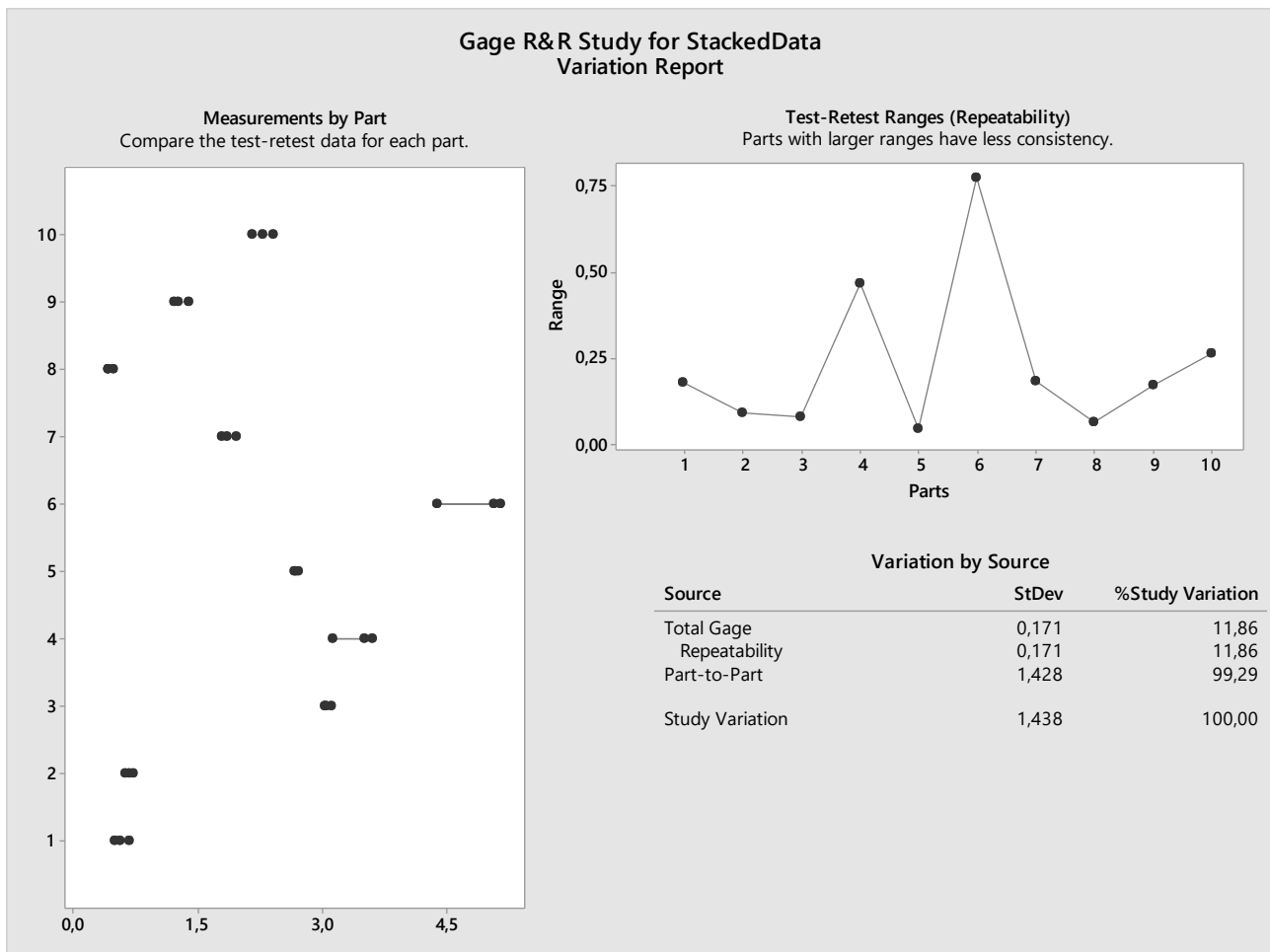
Kappale	Lukema 1	Lukema 2	Lukema 3	Pienin	Suurin
1	0,671	0,490	0,556	0,483	1,122
2	0,620	0,673	0,714	0,536	0,807
3	3,100	3,039	3,019	2,977	3,158
4	3,496	3,125	3,594	3,063	3,758
5	2,659	2,706	2,673	2,570	2,725
6	5,062	4,367	5,141	4,061	5,466
7	1,964	1,780	1,847	1,525	2,169
8	0,412	0,478	0,414	0,329	0,485
9	1,387	1,215	1,258	1,209	1,396
10	2,408	2,269	2,144	2,129	2,467

TAULUKKO 6. Karheuden mittauslasku, testi 5.

Tulokset testistä numero viisi ovat kuvissa 19 ja 20. Tulokseen saatiin noin kolmen prosenttiyksikön parannus. Lisäksi tulos jäi enää 1,9 prosenttiyksikköä hyvästä tuloksesta, joten päätin hyväksyä tämän mittaustavan koesuunnittelutulosten mittaamista varten.



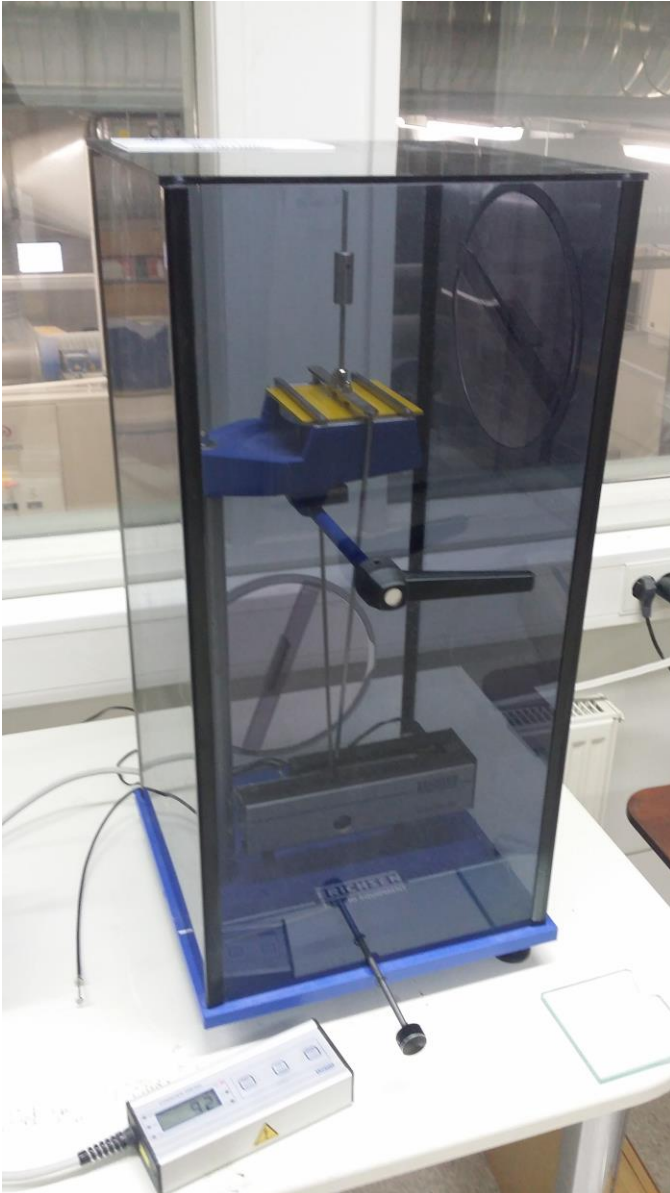
KUVA 19. Karheus: MSA-testi 5, yhteenveto.



KUVA 20. Karheus: MSA-testi 5, kuviot.

4.3.2 Heilurikovuus

Kovuuden mittaamisessa käytettiin Erichsen 299/300 -heilurikovuustesteriä Königin menetelmällä (KUVA 21). Laite toimii siten, että testattava kappale sijoitetaan laitteen pitimimeen, jonka jälkeen sitä nostetaan. Tällöin König-heiluri istuu testattavan kappaleen päällä kahden metallipallon varassa. Tämän jälkeen heiluri asetetaan tiettyyn kulmaan ja vapautetaan se liikkeeseen, jolloin laite alkaa laskea heilautuksia. Kalibroinnissa käytetään lasilevyä, jonka oletusarvotulos on 179 heilautusta. Vertailuna esimerkiksi polyuretaanimaalilla pinnoitetulla kappaleella tulokseksi saadaan yli 90 heilautusta.



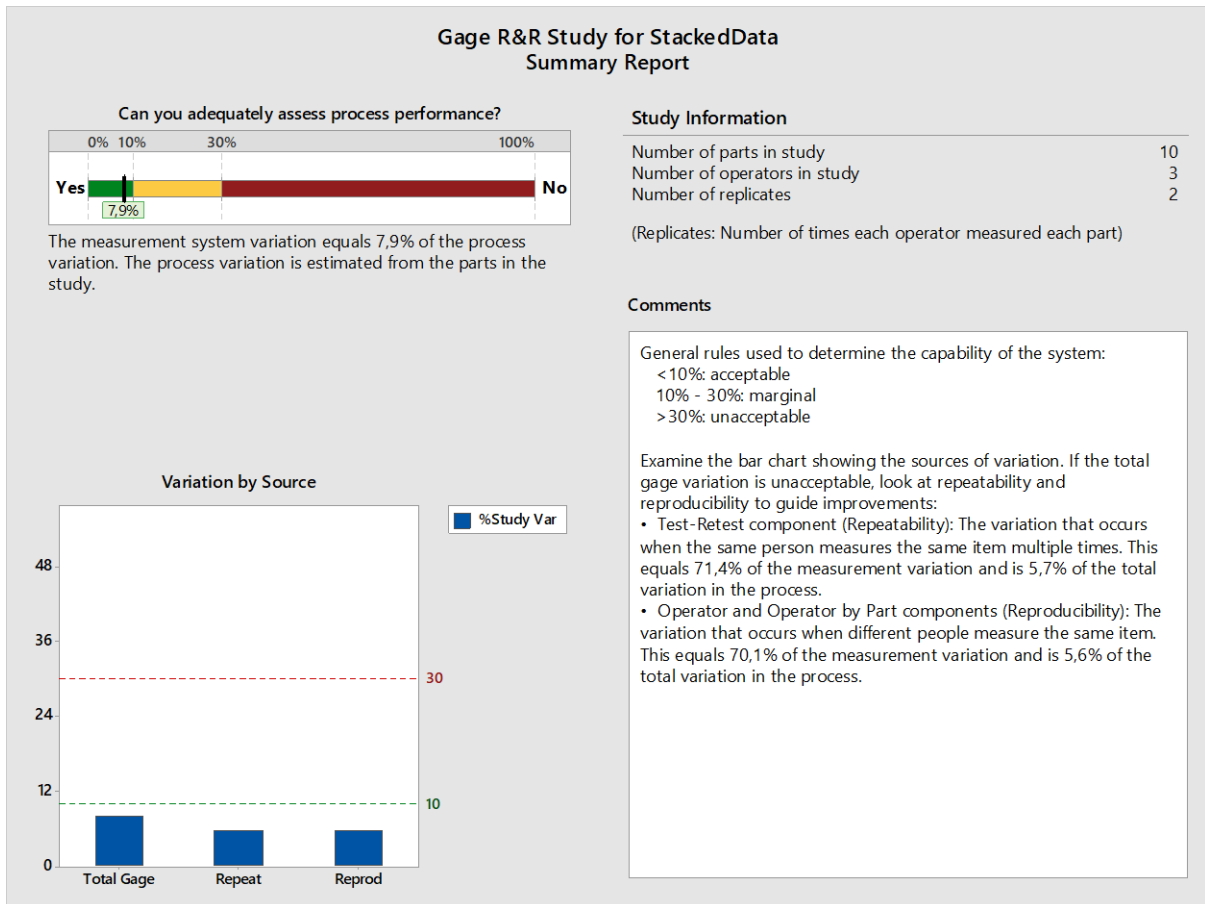
KUVA 21. Erichsen 299/300 -heilurikovuustestilaite.

Heilurikovuuden testaus toteutettiin taulukko 7 mukaisesti. Luotettavuuden arviointia lähdettiin toteuttamaan heti MINITAB:in ohjeiden mukaisesti. Testauskappaleita oli testissä kymmenen ja testiin osallistui itseni lisäksi kaksi Centrian työntekijää. Jokaiselle kappaleelle testaus suoritettiin kahdesti. Testaukset suoritettiin epäsäännöllisessä järjestyksessä testaajien kesken.

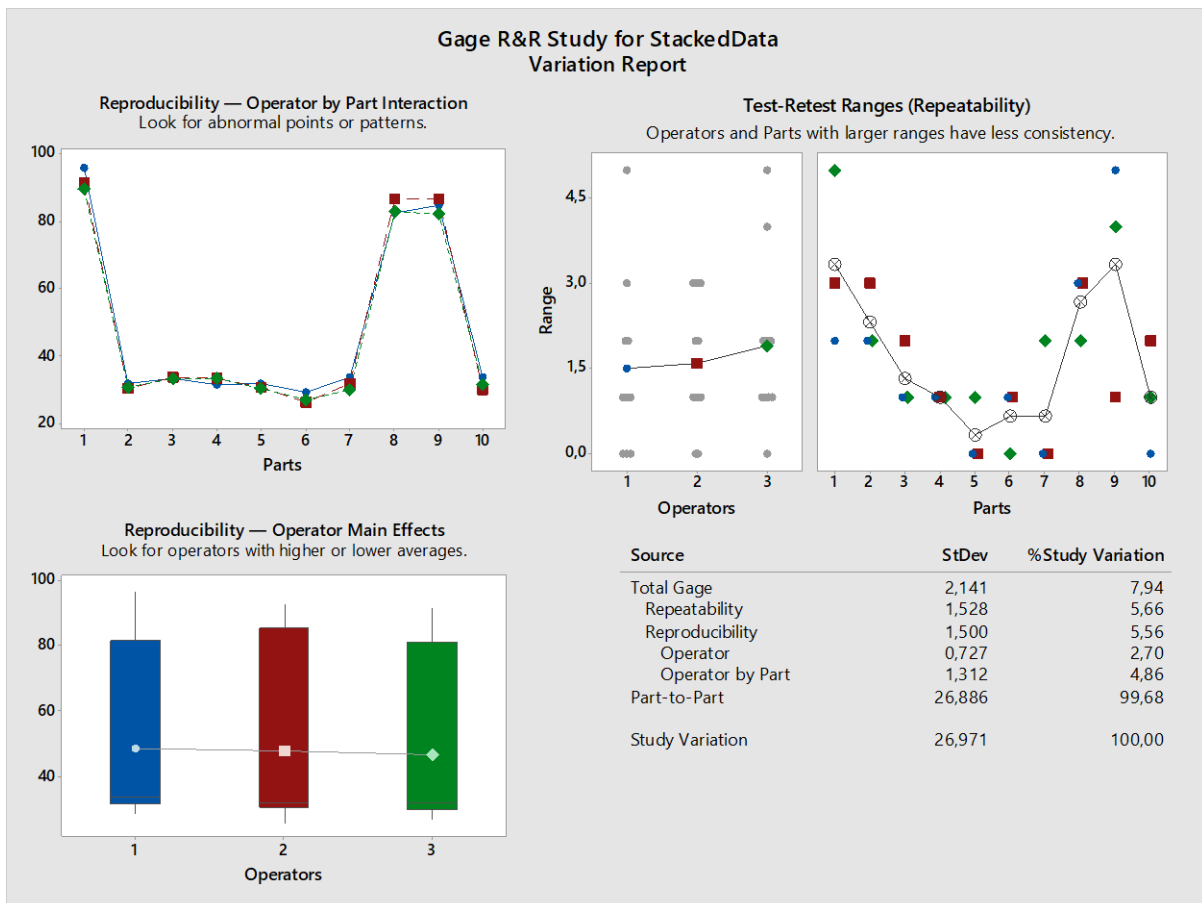
Kappale	Mitta 1	Mitta 2	Mittaja
1	97	95	Arto
2	33	31	Arto
3	33	34	Arto
4	31	32	Arto
5	32	32	Arto
6	29	30	Arto
7	34	34	Arto
8	84	81	Arto
9	87	82	Arto
10	34	34	Arto
1	93	90	Hanna
2	32	29	Hanna
3	33	35	Hanna
4	33	34	Hanna
5	31	31	Hanna
6	26	27	Hanna
7	32	32	Hanna
8	88	85	Hanna
9	86	87	Hanna
10	31	29	Hanna
1	92	87	Matias
2	30	32	Matias
3	33	34	Matias
4	33	34	Matias
5	30	31	Matias
6	27	27	Matias
7	31	29	Matias
8	84	82	Matias
9	80	84	Matias
10	31	32	Matias

TAULUKKO 7. Heilurikovuuden mittaustaulukko, testi 1.

Tulokset testistä ovat esillä kuvissa 22 ja 23. Testitulokseksi saatiin, että 7,9 % prosessinvaihtelusta johtuu mittalaitteesta. Tulos oli hyvä, joten heilurikovuusmittaussysteemiä ei täten tarvinnut ryhtyä parantamaan kuten karheutta. Kuvasta 23 on nähtävissä, että mittalaitteen uusittavuus ja toistettavuus käsittivät lähes yhtä paljon tästä 7,9 prosenttiyksiköstä. Voidaan olettaa, että vaihtelu vielä puolittuisi, jos sama henkilö mittaisi koesuunnittelun kaikki testauskappaleet. Toisaalta ihmeellistä oli, että eroavaisuuksia edes syntyi, koska mittalaitteen käyttäminen on hyvin muuttumatonta. Ainoastaan kappaleen nostaminen ja heilurin kulmaan asettaminen pystytään tekemään nopeammin tai hitaammin. Kaikki muu pysyy koko ajan muuttumattomana ja testauslaite on tilassa, jossa ilmavirran vaikutus on vähäinen.



KUVA 22. Heilurikovuus: MSA-testi 1, yhteenveto.



KUVA 23. Heilurikovuus: MSA-testi 1, kuvat.

4.3.3 Peittävyys ja virheet

Peittävyden ja virheiden mittaaminen toteutettiin Elisa Saarelan ja Hanna Parikan kehittämällä tavalla. Mittaamisessa käytettiin 5 kertaa 5 ruutuista ruudukkoa, joka soveltui 10cm kertaa 10cm oleville testauskappaleille. Jokainen yksittäinen ruutu oli neljän pisteen arvoinen, eli virheettömällä tai hyvän peiton omaavalla testauskappaleella oli enimmäis pistemäärä 100. Jos yksittäisessä ruudussa ilmeni virhe tai ruudussa oli huono peitto, niin se vähensi enimmäis pistemäärää neljällä pisteellä per ruutu. Kuvassa 24 Elisa Saarela on tekemässä mittausta kyseisellä menetelmällä.



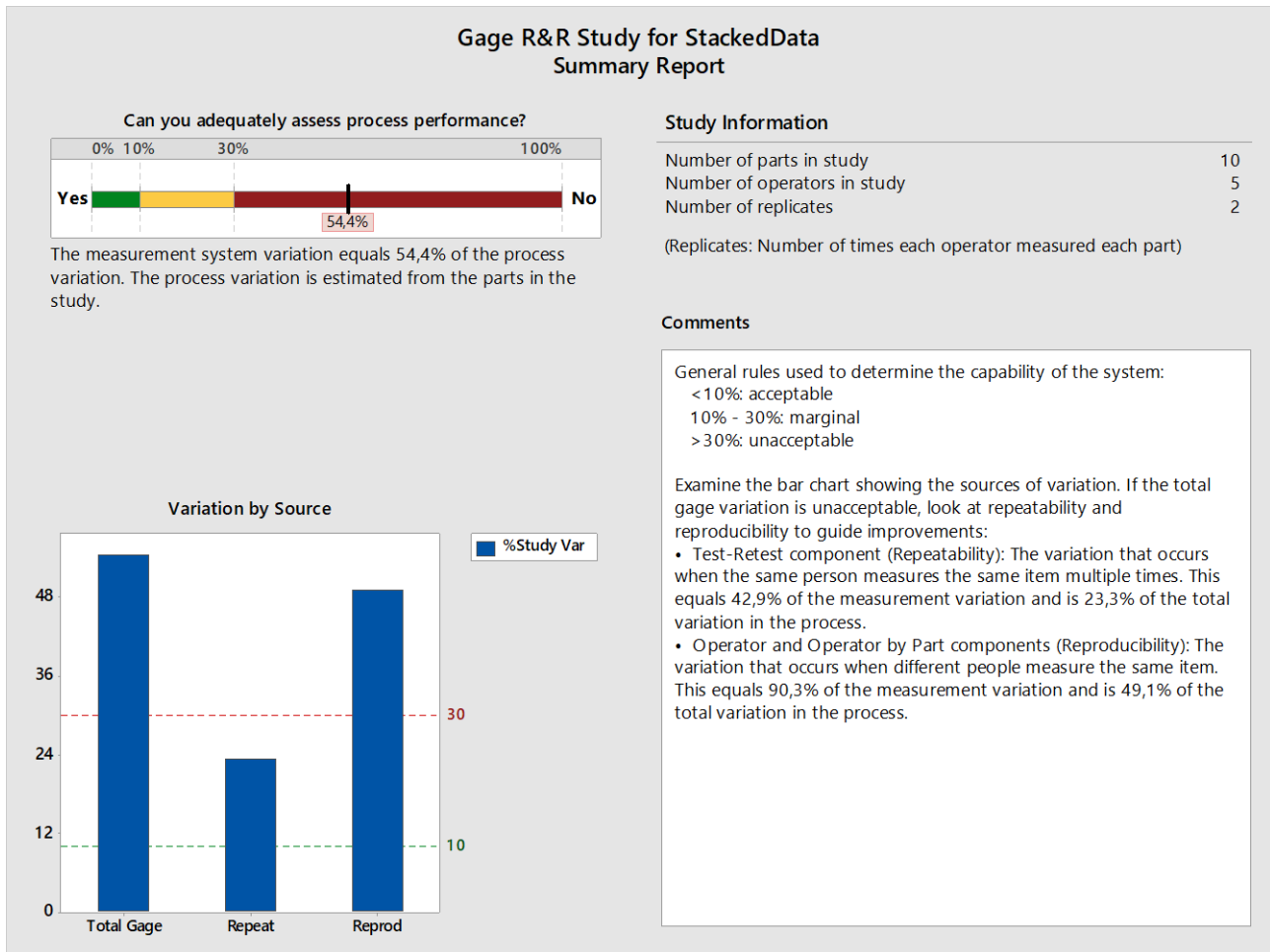
KUVA 24. Virheiden ja peittävyuden mittaus.

Mittaussysteemi perustuu täysin testajaan näkö- ja arviointikykyyn. Ensimmäisessä testissä (TAULUKKO 8) tutkin miten isoja eroavaisuuksia syntyy, kun ei anneta ohjeita mitkä ovat virheitä ja mitkä eivät, eli annetaan testajan päättää arviointikriteerit. Tiedettiin, että tämä lisäisi vaihtelua paljon, mutta päämääräinen tarkoitus testillä oli nähdä, miten testi käytännössä toimii, koska mitaussysteeminä se oli aivan uusi. Tämän testin avulla pystyttäisiin luomaan tarvittavaa ohjeistusta seuraavaa testiä varten. Testiin osallistui itseni lisäksi neljä Centrian työntekijää. Jokainen kappale testattiin kahdesti epäsäännöllisessä järjestyksessä ja testauskappaleita oli yhteensä kymmenen.

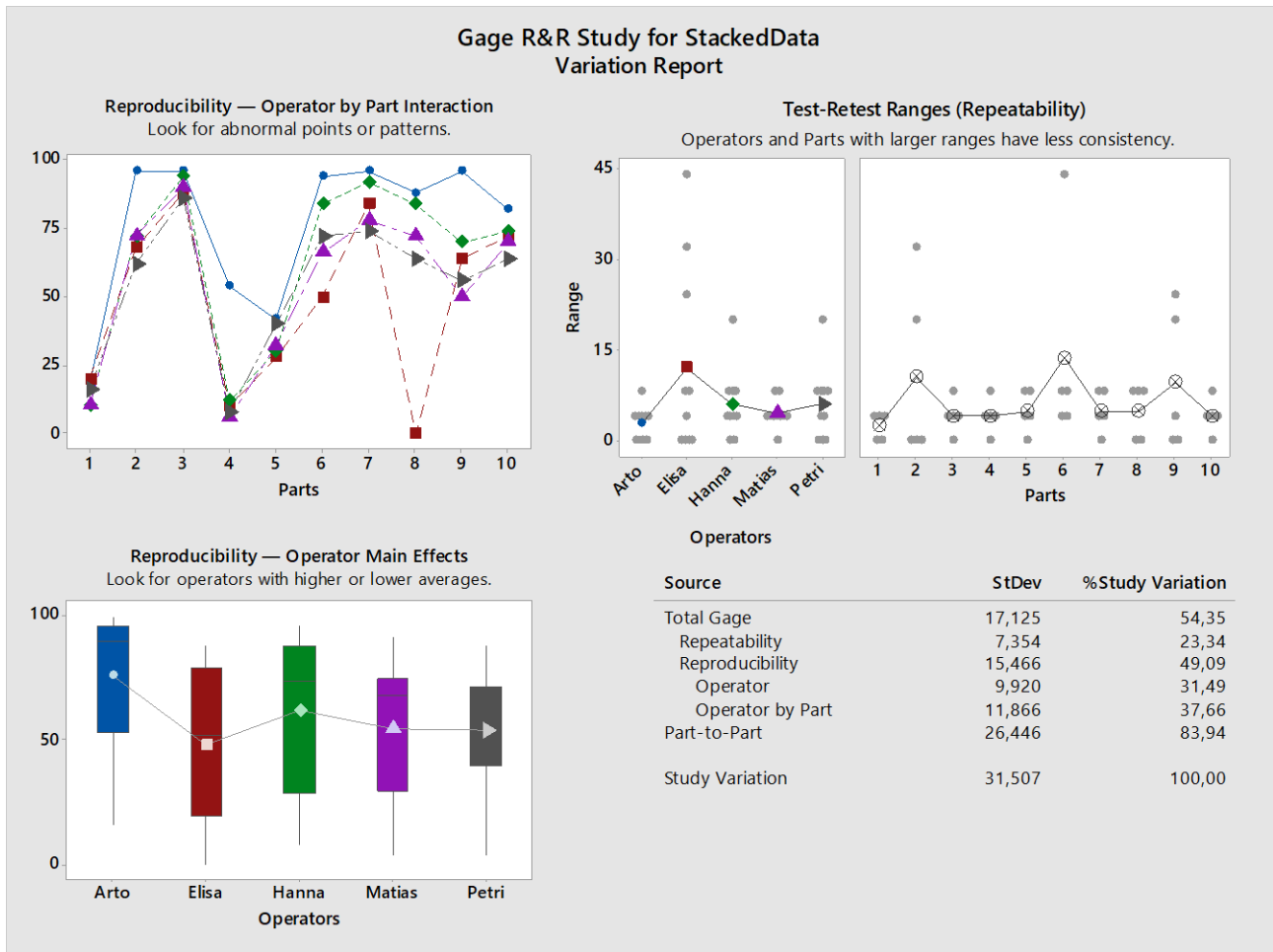
Kappale	Virheelliset ruudut	Pisteet	Virheelliset ruudut	Pisteet	Mittaja
1	21	16	21	16	Petri
2	7	72	12	52	Petri
3	4	84	3	88	Petri
4	22	12	24	4	Petri
5	15	40	15	40	Petri
6	6	76	8	68	Petri
7	7	72	6	76	Petri
8	8	68	10	60	Petri
9	11	56	11	56	Petri
10	10	60	8	68	Petri
1	20	20	21	16	Arto
2	1	96	1	96	Arto
3	2	92	0	100	Arto
4	11	56	12	52	Arto
5	14	44	15	40	Arto
6	1	96	2	92	Arto
7	1	96	1	96	Arto
8	3	88	3	88	Arto
9	1	96	1	96	Arto
10	5	80	4	84	Arto
1	20	20	20	20	Elisa
2	4	84	12	52	Elisa
3	3	88	3	88	Elisa
4	23	8	22	12	Elisa
5	19	24	17	32	Elisa
6	18	28	7	72	Elisa
7	3	88	5	80	Elisa
8	25	0	25	0	Elisa
9	12	52	6	76	Elisa
10	7	72	7	72	Elisa
1	23	8	22	12	Hanna
2	7	72	7	72	Hanna
3	2	92	1	96	Hanna
4	22	12	22	12	Hanna
5	17	32	18	28	Hanna
6	5	80	3	88	Hanna
7	3	88	1	96	Hanna
8	5	80	3	88	Hanna
9	10	60	5	80	Hanna
10	6	76	7	72	Hanna
1	23	8	22	12	Matias
2	7	72	7	72	Matias
3	2	92	3	88	Matias
4	24	4	23	8	Matias
5	16	36	18	28	Matias
6	9	64	8	68	Matias
7	5	80	6	76	Matias
8	6	76	8	68	Matias
9	13	48	12	52	Matias
10	7	72	8	68	Matias

TAULUKKO 8. Peittävyiden sekä virheiden mittaustaulukko, testi 1.

Tulokset ovat kuvissa 25 ja 26. Tulokseksi saatiin 54,4 prosenttia, mikä ei sinänsä ollut yllättävää, koska tarkkaa ohjeistusta ei ollut. Kuvasta 26 on nähtävissä, että mittaajien välinen vaihtelu on yli kaksi kertaa suurempi kuin mittaussysteemin toistettavuus. Huomasin myös mittauksien aikana, että mittaajien välillä enemmän eroavaisuuksia virheiden kuin peittävyuden arvioinnissa. Peittävyys oli huomattavasti helpompi erottaa kuin se, oliko jokin asia pinnassa virhe vaiko ei. Tätä ei MSA-testistä selviä, koska tässä testissä oli sekä peittävyys että virheet yhdistettynä samaan testiin.



KUVA 25. Peittävyys sekä virheet: MSA-testi 1, yhteenveto.



KUVA 26. Peittävyys sekä virheet: MSA-testi 1, kuvat.

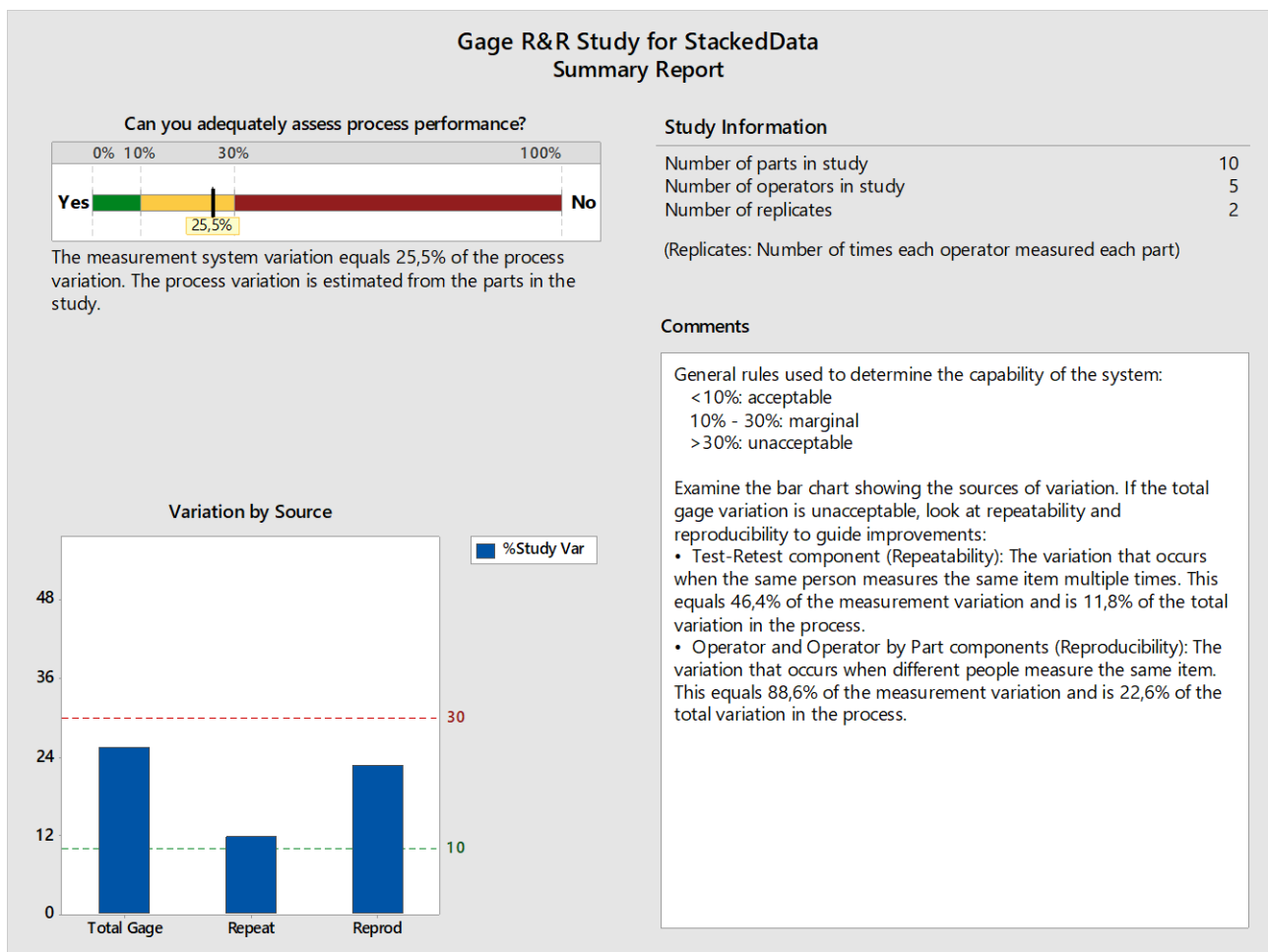
Ennen seuraavaa testiä erotettiin peittävyden ja virheiden arviointi toisistaan. Tässä vaiheessa ei osattu arvioida, mitä virheitä varsinaisessa koesuunnittelussa esiintyy, koska pintakäsittely virheiden skaala on varsin suuri. Näin ollen päädyin siihen, että MSA-testaus tehtäisiin pelkästään peittävyydelle, ja virheiden arviointia pitäisi miettiä sitten, kun kappaleet saadaan ensimmäisestä koesuunnittelukierroksesta.

Toinen testi (TAULUKKO 9) tehtiin pelkästään peittävyydelle. Testiin osallistui samat mittajat, saman verran mittaustuloksia per testattava kappale ja testissä käytettiin samoja koekappaleita kuin testissä yksi. Erona tässä testissä oli, että mitattava kappale oli kaikilla mittajilla samassa kohtaa pöydällä ja sitä ei saanut nostaa pöydältä. Näin valaistus kappaleeseen pysyi kaikilla samalla tavalla.

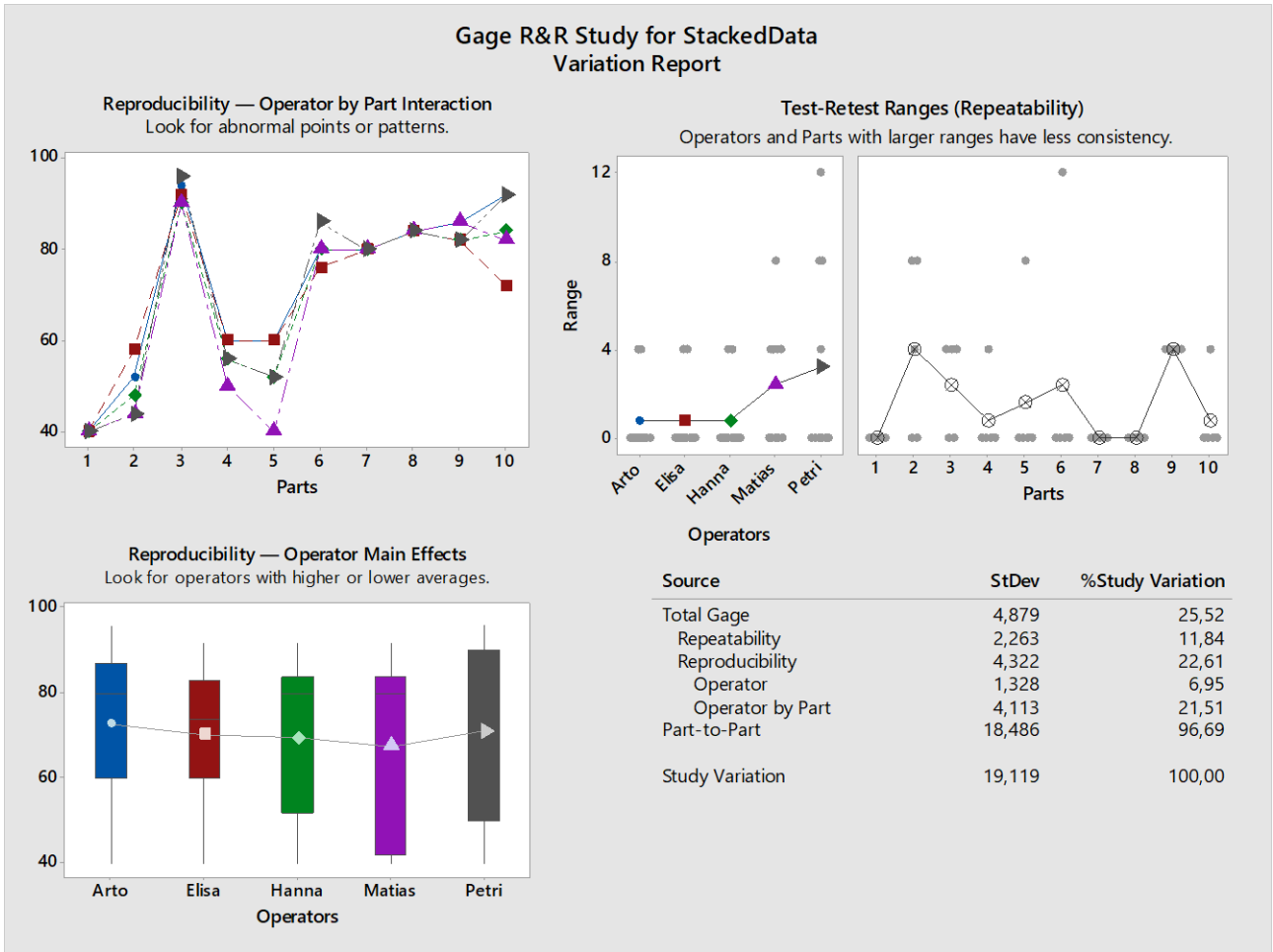
Kappale	Virheelliset ruudut	Pisteet	Virheelliset ruudut	Pisteet	Mittaaja
1	15	40	15	40	Petri
2	15	40	13	48	Petri
3	1	96	1	96	Petri
4	11	56	11	56	Petri
5	13	48	11	56	Petri
6	2	92	5	80	Petri
7	5	80	5	80	Petri
8	4	84	4	84	Petri
9	5	80	4	84	Petri
10	2	92	2	92	Petri
1	15	40	15	40	Arto
2	12	52	12	52	Arto
3	1	96	2	92	Arto
4	10	60	10	60	Arto
5	10	60	10	60	Arto
6	5	80	5	80	Arto
7	5	80	5	80	Arto
8	4	84	4	84	Arto
9	4	84	3	88	Arto
10	2	92	2	92	Arto
1	15	40	15	40	Elisa
2	10	60	11	56	Elisa
3	2	92	2	92	Elisa
4	10	60	10	60	Elisa
5	10	60	10	60	Elisa
6	6	76	6	76	Elisa
7	5	80	5	80	Elisa
8	4	84	4	84	Elisa
9	5	80	4	84	Elisa
10	7	72	7	72	Elisa
1	15	40	15	40	Hanna
2	13	48	13	48	Hanna
3	2	92	3	88	Hanna
4	11	56	11	56	Hanna
5	12	52	12	52	Hanna
6	5	80	5	80	Hanna
7	5	80	5	80	Hanna
8	4	84	4	84	Hanna
9	5	80	4	84	Hanna
10	4	84	4	84	Hanna
1	15	40	15	40	Matias
2	15	40	13	48	Matias
3	2	92	3	88	Matias
4	13	48	12	52	Matias
5	15	40	15	40	Matias
6	5	80	5	80	Matias
7	5	80	5	80	Matias
8	4	84	4	84	Matias
9	3	88	4	84	Matias
10	4	84	5	80	Matias

TAULUKKO 9. Peittävyiden mittaustaulukko, testi 2.

Tulokset on esitetty kuvissa 27 ja 28. Kuten aiemmin arvelin, peittävyys on yksinkertaisempi arvioida kuin virheet. Tulokseksi testistä saatiin 25,5 %, eli tapahtui huomattava parannus aiempaan testiin verrattuna. Kuvasta 28 selviää, että edelleen mittaajien ero on kaksi kertaa suurempi kuin testin toistettavuus. Lisäksi kappaleen samalla tavalla käsittely pienensi vaihtelua. Testissä käytetty mittaussverkko muodosti jonkin verran ongelmia, koska se ei ollut täydellisen symmetrinen ja tietyissä asennoissa se muodosti varjoja testauskappaleen pintaan. Myös mittaajat käsittelivät sitä hiukan erilaisesti toisiinsa nähden. Nämä asiat selittivät osan vaihtelusta. Näiden syiden takia yhden henkilön pitäisi tehdä mittaus kokonaan, jotta käsittely jokaisen kappaleen kohdalla olisi aina samanlainen. Myöskin samalla menetelmällä voidaan mitata virheet, koska yksi henkilö määrittäisi itse mikä on virhe ja mikä ei.



KUVA 27. Peittävyys: MSA-testi 2, yhteenvedo.



KUVA 28. Peittävyys: MSA-testi 2, kuvat.

4.4 Ensimmäinen koesuunnittelukierros

Ensimmäinen koesuunnittelu toteutettiin käyttämällä Taguchi-menetelmää. Tämä koesuunnittelumalli valikoitui sen perusteella, että sen käytöstä oli parhaiten kokemusta muihin menetelmiin verrattuna. Lisäksi tuloksien tulisi olla samoja menetelmästä riippumatta. Taguchi-kokeet luokitellaan haravakokeiksi. Kokeen tarkoituksena oli rajata muuttujalista sitten, että saisi selville muutaman tärkeimmän muuttujan, joita voisi testata vielä täysfaktorikokeella. Ensimmäisessä kokeessa ei voitu käyttää täysfaktorikoeita sen takia, että kymmenellä muuttujalla (muuttujalla kaksi tasoa) tulisi olemaan 1024 testausriviä, jolloin testistä tulisi niin laaja, ettei tässä opinnäytetyössä olisi ollut resursseja toteuttaa sitä. Matriisikooksi valikoitu L12 -matriisi. Nimitys tulee siitä, että matriisissa on kaksitoista testausriviä. Tämä koko on yksi suositelluista matriisikooista. Seuraava koko olisi ollut L36 -matriisi, jolloin ongelmaksi olisi tullut taas resurssit. Lisäksi ensimmäiseen koesuunnittelukierrokseen ei kannata käyttää yli 25 % työhön varatuista resursseista. Haittapuolena tällä matriisikoolla toisaalta oli, että kymmentä muuttujaa tutkiessa saadaan ainoastaan muuttujien yksittäisvaikutuksia esille. Matriisi luotiin käyttämällä MINITAB-ohjelmaa. Taulukossa 10 on esitetty Taguchi L12 -matriisi raakamallina, eli koodattuina yksikköinä. Kuvassa vaakasarakkeissa A-K on muuttujia ja pystyriivillä ovat muuttujien tasot 1 tai 2.

Taguchi L12-matriisi									
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
1	2	1	2	2	1	2	2	1	1
1	2	2	1	2	2	1	2	1	2
1	2	2	2	1	2	2	1	2	1
2	1	2	2	1	1	2	2	1	2
2	1	2	1	2	2	2	1	1	1
2	1	1	2	2	2	1	2	2	1
2	2	2	1	1	1	1	2	2	1
2	2	1	2	1	2	1	1	1	2
2	2	1	1	2	1	2	1	2	2

TAULUKKO 10. Taguchi L12 -matriisi koodatussa yksiköissä.

Taulukossa 11 on esitetty koesuunnittelussa käytetyt muuttujat ja niille annetut tasot. Sijoitin muuttujat vaakariville (sarakkeet A-K) prioriteettiluvun mukaiseen järjestykseen. Poikkeuksena oli kuivausuu- nin lämpötila, joka piti laittaa A-kirjaimelle, koska muuten olisi joutunut tason vaihtuessa odottamaan uunin jäähtymistä. Käytetty maaliaine oli Teknoksen Aquatop 2760–12. Maalia oli aikaisemmin testattu

samalla linjalla, jolloin muuttujille löytyi valmiiksi historia-arvot. Tasot 1 ja 2 otin keskitason ympäriltä tarpeeksi suurilla eroilla, jotta muuttujien vaikutus pitäisi pystyä arvioimaan. Puhalluksissa ja lämpötiloissa ensimmäinen arvo tarkoittaa ensimmäistä uunia ja toinen arvo jälkimmäistä uunia prosenteissa uunin maksimaalisesta puhallustehosta.

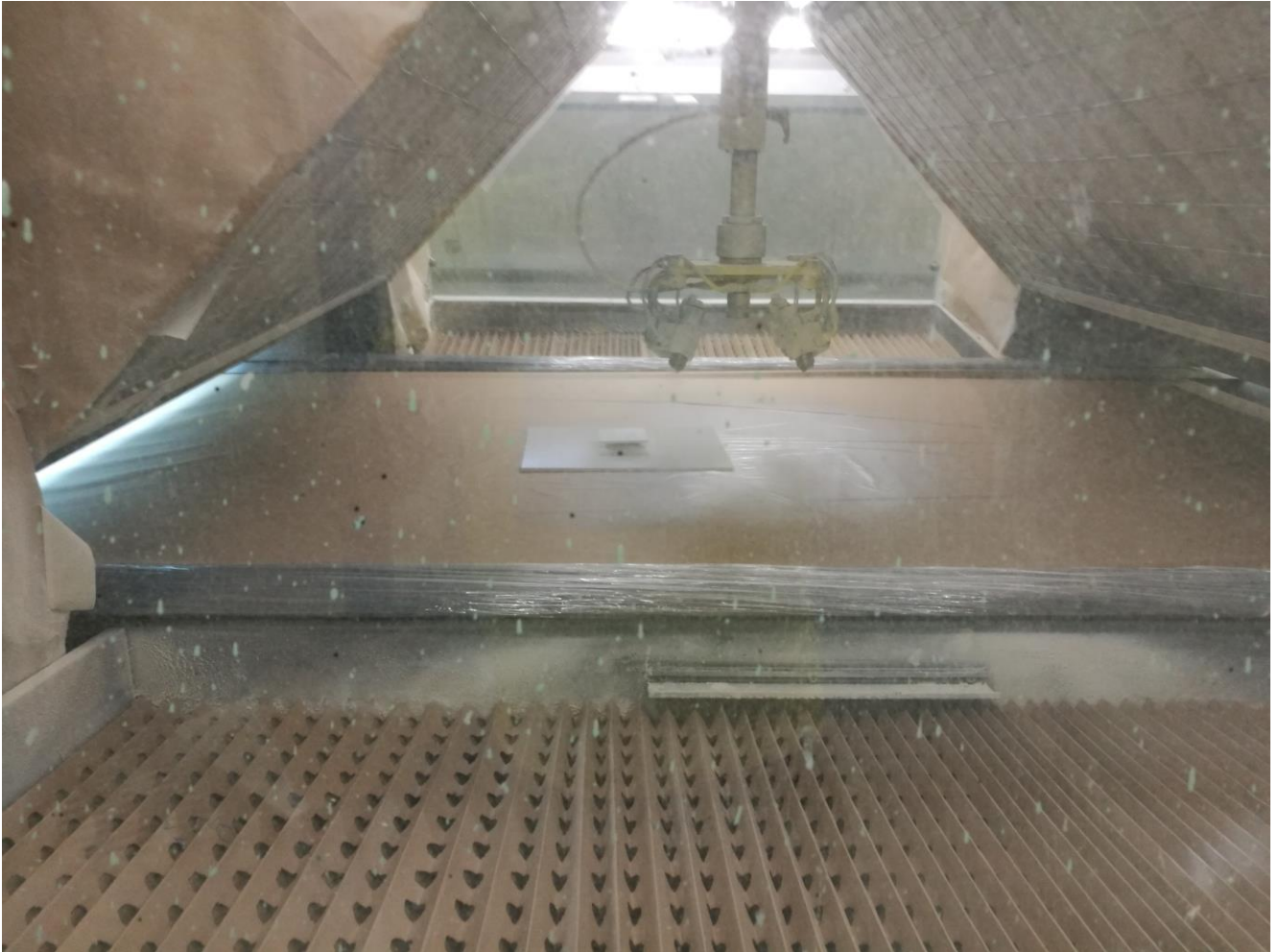
Muuttuja	Historia-arvot	Muuttuja kirjain	1	2
Maalin sekoitus systeemi/tapa	30	K	20	40
Suuttimet		B	0.9	1.4
Pumpun paine		C	2	4
Pistoolien kulma	45	D	30	60
Linjanopeus		E	3	6
Traverssin nopeus (m/s tai syklinopeus)	85	F	70	100
Kuivausuuni tuloilma/poisto puhallus	x1 50 x2 100	G	30/60	60/100
Hajoitusilmanpaine		H	1	3
Suuttimen keskikohta pöydästä	181	J	160	200
Kuivausuunin lämpötila	45	A	30	55

TAULUKKO 11. Koesuunnittelu yksi muuttujat ja tasot.

Liitteessä 4 on maalauksessa käytetty koesuunnitelma, joka on koodaamattomissa yksiköissä. Lisäyksenä tavalliseen koesuunnittelumatriisiin käytiin ”tarkastettu” riviä. Ennen kuin riviä alettiin maalaamaan, muuttujien arvot käytiin läpi ja ne merkattiin tarkastetuksi tarkistusriville. Ideana oli, ettei jonkin muuttujan arvo vahingossakaan jäisi vanhalle arvolle ja pilaisi näin koesuunnittelua. Toistojen määräksi laskettiin neljä toistoa (neljä testaus kappaletta) per testausrivi käyttämällä KISS (englanniksi keep it simple, but scientific) kaavaa. Kaavassa lisätään ajojen kokonaismäärään 32 ja jaetaan edellä saatu luku ajojen määrällä, jolloin tuloksena saadaan toistojen määrä. Riittävällä näytekoolla koe saadaan riittävän, mutta ei liian herkäksi havaitsemaan kriittisen eron tuloksissa.

Ennen maalausta ruiskutuskammio puhdistettiin. Puhdistuksen tavoitteena oli minimoida maalattavissa kappaleissa ruiskutuskammioista irronnutta pölyä, joka pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vaihtelua virheiden arvioinnissa. Maalaus toteutettiin pääosin rivien mukaisessa järjestyksessä muuttaen aina muuttujien arvoja rivien mukaan. Lopussa ongelmaksi tuli ajan puute ja maalin määrä. Maalauksen loppupuolella ajojärjestystä vaihdettiin hieman rivien välillä (viimeiset neljä riviä), koska joidenkin muuttujien arvojen muuttaminen vei yllättävän paljon aikaa. Ensin haluttiin ajaa sellaiset rivit, joissa ei toisiinsa nähden montaa muuttujaa tarvinnut muuttaa. Lisäksi lopussa maalin määrä muodostui ongelmaksi. Testaukseen kului yllättävän paljon maalia. Alussa se jaettiin kahteen astiaan. Toista astiaa sekoitettiin 20s ja toista astiaa 40s joka kerta kun ne ladattiin pumppuun. Maaliastiaa vaihdettaessa piti entinen maali ajaa letkustosta pois, jolloin järjestelmään siirtyi vettä. Tämän jälkeen uutta maalia sisään ajettaessa syntyi aina hukkaa, koska piti varmistua siitä, ettei järjestelmään jäänyt enää vettä, ja myöskään entistä

maalia, joka oli letkustoissa, ei saanut kokonaan takaisin. Viimeisen kolmen rivin aikana kaksi maaliasiaa yhdistettiin, jotta maali saatiin riittämään loppurivien ajaksi. Tämä tietenkin aiheutti vaihtelua ”maalin sekoitusaika” -muuttuajan, jolloin tuloksia tästä muuttujasta ei voida pitää luotettava. Kuvassa 29 maalataan yhtä koesuunnittelurivin kappaletta. Kuvassa maalattava 10 cm kertaa 10 cm lasilevy on apulevyn päällä. Apulevyä tarvitaan siksi, että linjastossa olevien rullien välit ovat niin suuret, että lasilevy muuten putoaisi linjastolta.



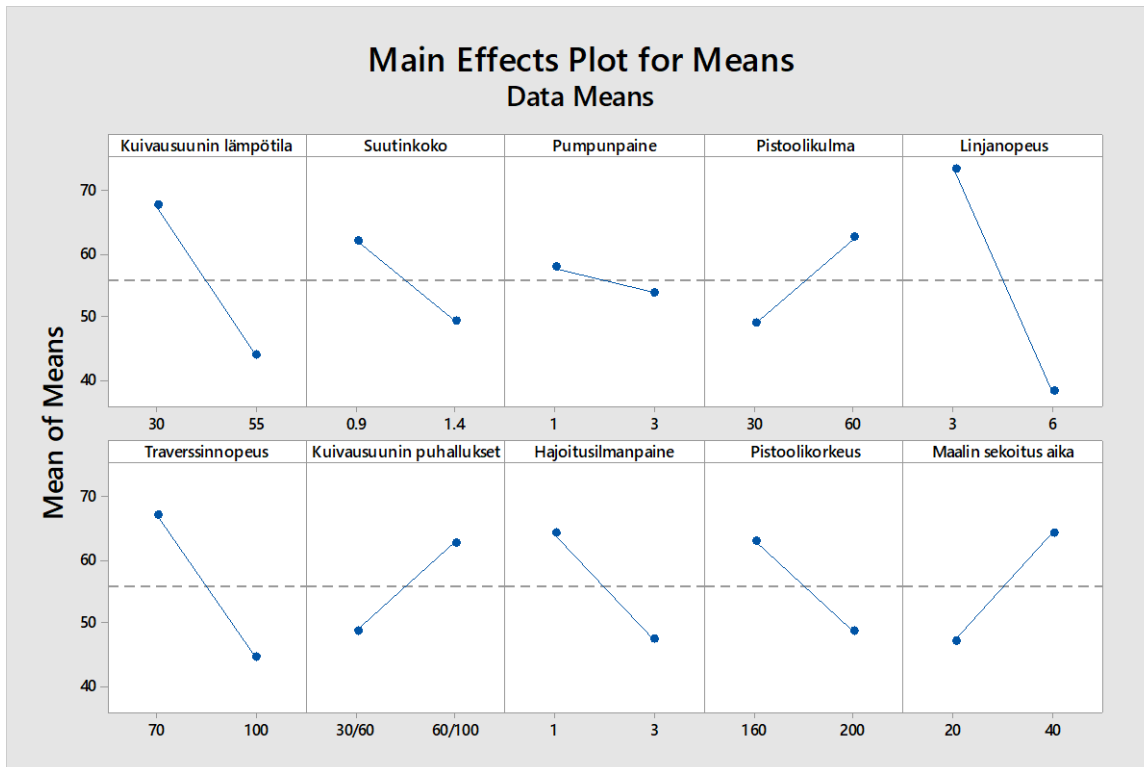
KUVA 29. Lasilevyn maalaus ruiskuautomaatilla.

Mittaustulokset ovat esitettyinä liitteessä 4 koesuunnitelman ohella. Maalauksen aikana yhdestä ylimääräisestä kappaleesta otettiin levitysmäärä per maalattava rivi. Tätä mitta-arvoa ei käytetty kappaleiden arvioinnissa. Sillä haluttiin tutkia minkälaisia levitysmääriä rivit tuottavat. Levitysmäärän mittaamiselle ei myöskään tehty MSA-testiä, jolloin sitä ei voi muutenkaan pitää täysin luotettavana. Olisimme halunneet mitata maalin viskositeettiä, mutta maalin ominaisuuksista ja käytettävistä laitteista johtuen sitä ei

voinut mitata. Testauksen aikana kappaleista testattiin heilurikovuus heti, kun kappale tuli uunista. Joissakin tapauksissa kappaleisesta ei voitu testata kovuutta, koska maali ei kerennyt kovettua. Tällaiset kappaleet ovat saaneet testissä tulokseksi nolla. Kappaleiden annettiin kovettua viikonlopun yli, minkä jälkeen niille tehtiin karheuden mittausta ja virheiden ja peittävyuden arviointi. Lisäksi tein vielä uuden kovuusmittauksen yhdeksän päivän jälkeen testauksesta, sillä halusin tutkia onko uunin jälkeisen kovuuden ja pidemmän kuivumisajan välillä eroavaisuuksia ja ovatko kovuuden arvot tasaantuneet kappaleiden välillä. Kovuuden ja karheuden pisteytyksen päätin toteuttaa sitten, että kappaleiden arvoja verrataan parhaaseen testeissä olleeseen arvoon. Tämän jälkeen saadut tulokset kerrottiin sadalla, jolloin ne olivat samalla asteikolla virheiden ja peittävyuden kanssa. Sen jälkeen kaikki nämä neljä mittaustulosta summattiin yhteen, jolloin jokaiselle riville saatiin kokonaistulos.

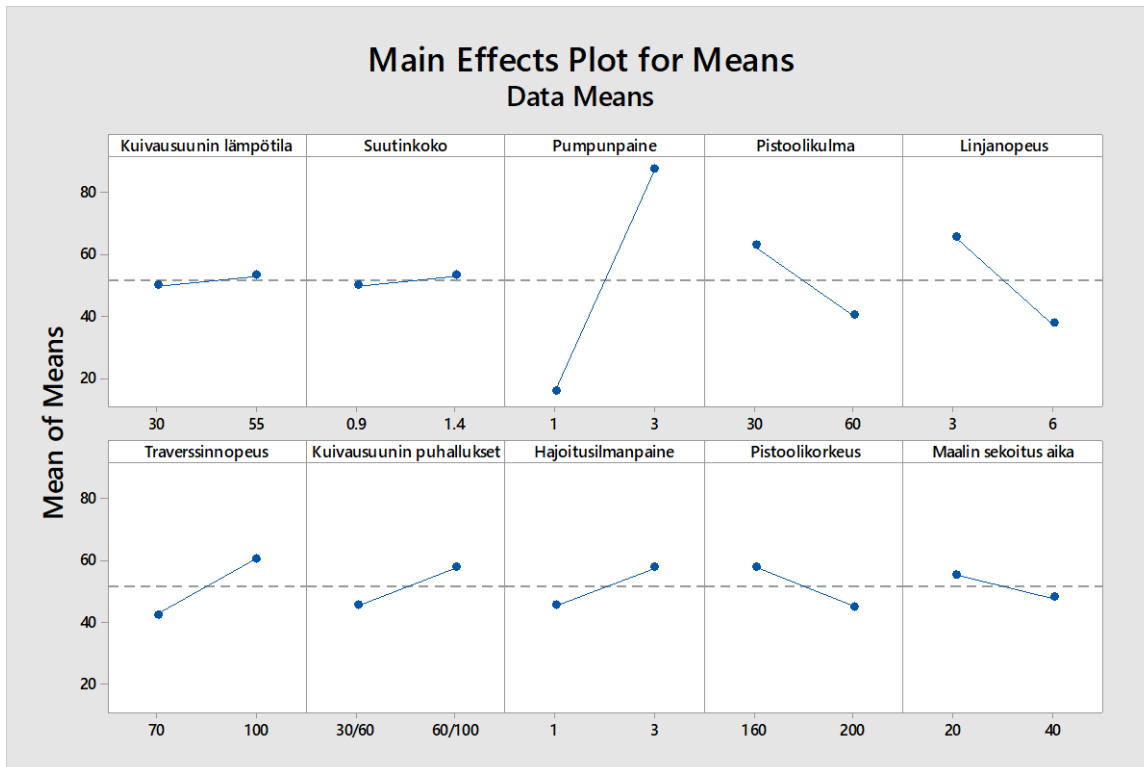
Tulosten analysoiminen tehtiin MINITAB-ohjelmalla, jolla luotiin myöskin alla olevat jakauman kuvat (KUVAT 30-37). Analysointi tehtiin kaikille ulostuloille, mutta uusi muuttujien rajaaminen tulotisiin tekemään kokonaistulosten perusteella.

Eniten virheisiin ja virheettömyyteen (KUVA 30) vaikuttivat linjanopeus, kuivausuunin lämpötila ja traverssinopeus. Vähiten vaikutti pumpunpaine ja loput muuttujista ovat suurin piirtein samalla tasolla. Kuvaa tulkitessa pitää myös ymmärtää, että mitä suurempi tulos on, sitä vähemmän virheitä on ollut ja mitä vähemmän pisteitä, niin sitä enemmän virheitä kappaleissa on ollut. Toisin sanoen riveissä, jossa linjanopeus on ollut 6 m/min, kuivausuunin lämpötila ollut 55°C ja traverssinopeus 100 m/min on ollut eniten virheitä.

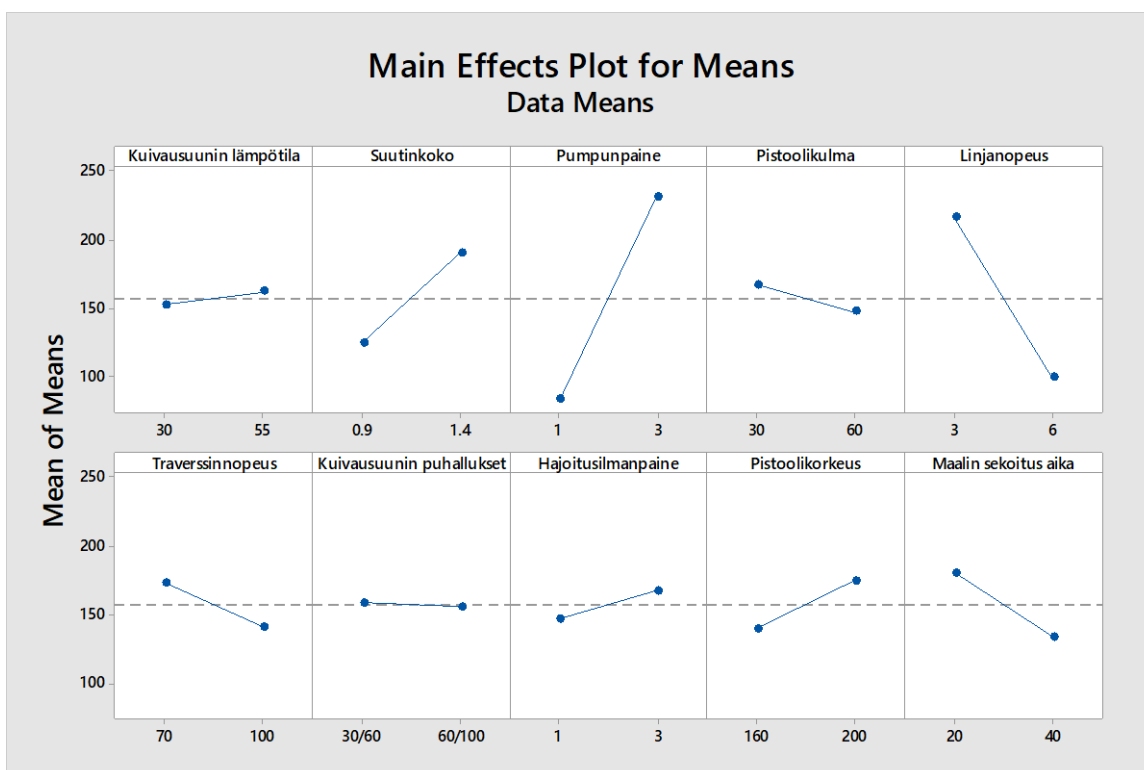


KUVA 30. Virheiden jakaumat.

Kuvassa 31 esitetään peittävyiden jakaumat. Peittävyiden osalta tulokset tulkitaan samoin kuin virheissä, eli mitä isompi tulos, sen parempi peittävyys ja mitä vähemmän pisteitä, sen huonompi peittävyys. Eniten peittävyteen vaikutti pumpunpaine. Vähiten peittävyteen vaikutti kuivausuunin lämpötila ja suutinkoko. Lopuilla muuttujilla oli melko sama vaikutus, tosin pistoolikulmalla ja linjanopeudella on hieman suurempi vaikutus kuin muilla loppuilla. Kuvassa 32 on esitetty levitysmäärän jakauma. Mielenkintoista tuloksissa on, että kun arvoja katsoo, ne viittaavat siihen, että peittävyys on suoraan verrannollinen suureen levitysmäärään (korkea pumpun paine, matala pistoolikulma, hidas linjanopeus, matala pistoolikorkeus, jne.). Silti suutinkoon vaikutus jäi erittäin pieneksi.

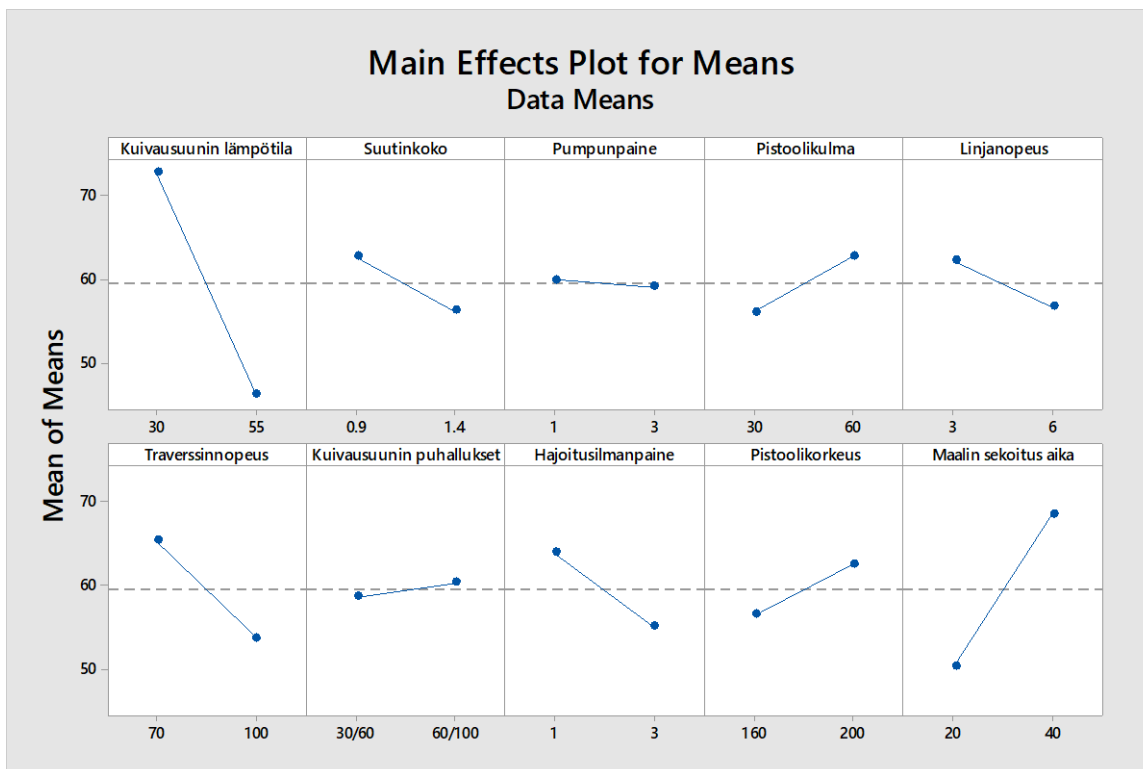


KUVA 31. Peittävyiden jakauma.



KUVA 32. Levitysmäärän jakauma.

Karheuden tuloksia (KUVA 33) tarkasteltaessa on muistettava, että mitä isompi pistemäärä, sitä matalampi karheuden arvo on ollut. Suurin vaikutus oli kuivausuunin lämpötilalla ja maalin sekoitusajalla. Kuten aiemmin mainitsin, maalin sekoitusaikaa ei voida pitää täysin luotettavana tuloksena, mutta tulos on sinänsä ymmärrettävä. Mitä pidempi maalin sekoitusaika on, sen pienemmän viskositeetin se saa, ja se tasoittuu siten paremmin. Vähiten karheuteen vaikutti pumpun paine ja kuivausuunin puhallukset. Muiden vaikutus oli tasaista toistensa kanssa. Suutinkoon olisin kuvitellut vaikuttavan enemmän, koska luulisi, että pienemmän suuttimen läpi maalattaessa raekoko olisi pienempi ja näin maali tasoittuisi paremmin. Tällöin vaikutus olisi muita muuttajia hieman suurempi.



KUVA 33. Karheuden jakauma.

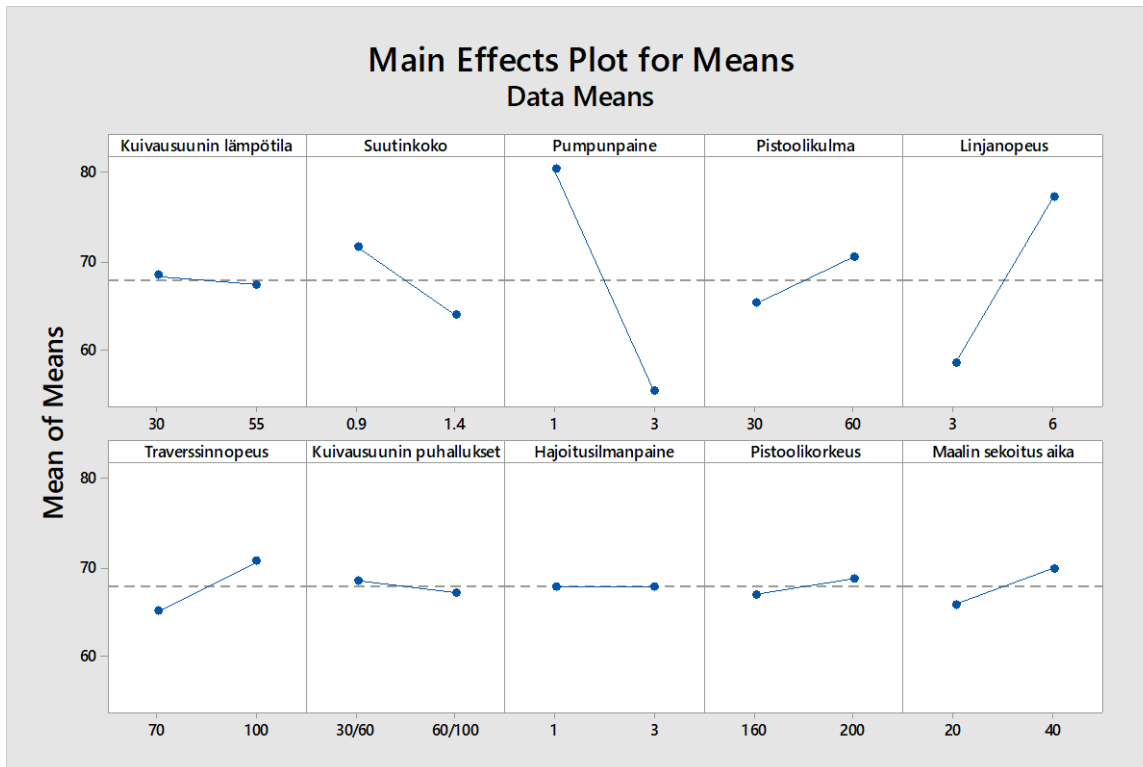
Kovuudessa oli ongelma yhdeksännen koesuunnittelurivin toisen kappaleen kanssa. Sen arvo on noin 25 heilautusta suurempi kuin muilla sen rivin kappaleilla. Tämä luultavasti johtui erittäin pienestä levitysmäärästä, joka tällä rivillä oli. Ilmeisesti heilurikovuus ei enää tämän kappaleen kohdalla syntynyt maalikalvon kovuudesta, vaan siihen pikemminkin vaikutti pohjamateriaalin eli lasin kovuus. Seurauksena kyseisen rivin ja kappaleen tulosta ei otettu huomioon arvioinnissa. Kovuuden tuloksissa (KUVA 34) suurin vaikuttaja on selvästi pumpun paine, seuraavana on kuivausuunin lämpötila. Näiden lisäksi huomionarvoisia ovat linjanopeus, suutinkoko ja kuivausuunin puhallukset. Vaikkakin kuivausuunin

lämpötilalla on kohtuullisen suuri vaikutus, osa muuttujien arvoista viittaavat siihen, että kovuus on verrannollinen pieneen levitysmäärään (KUVA 32).



KUVA 34. Uunin jälkeinen heilurikovuusjakauma.

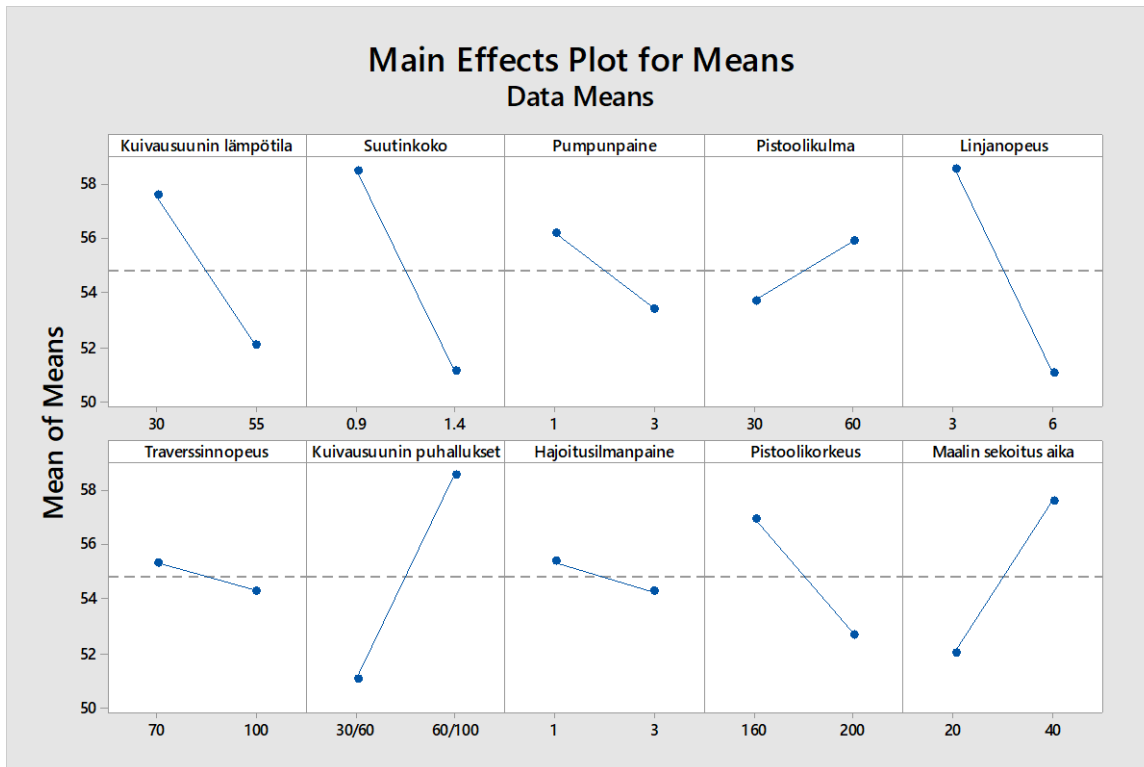
Kuten uunin jälkeisissä heilurikovuuden arvoissa, myös yhdeksän päivän kuivumisajan jälkeen mitatuissa arvoissa (KUVA 35) huomaa yhteneväisyyden pienen levitysmäärän kanssa. Tosin nyt kuivausuunin muuttujat ovat jääneet pois. Mittausarvot ovat hieman tasaisempia, koska kaikki kappaleet olivat tässä testissä kuivia, eikä millään rivillä ollut nolla-arvoa, joten tämä selittää vähäiseksi jääneet kuivausuunin vaikutukset. Toisaalta mielenkiintoista oli, että maalin kuivuttua olisi voinut kuvitella, että arvot kappaleiden välillä olisivat tasaantuneet lähestulkoon samoiksi, mutta testi osoitti tämän oletuksen vääräksi. Ero suurimman ja pienimmän arvon välillä oli 57 heilautusta.



KUVA 35. Yhdeksän päivän jälkeen heilurikovuus jakauma.

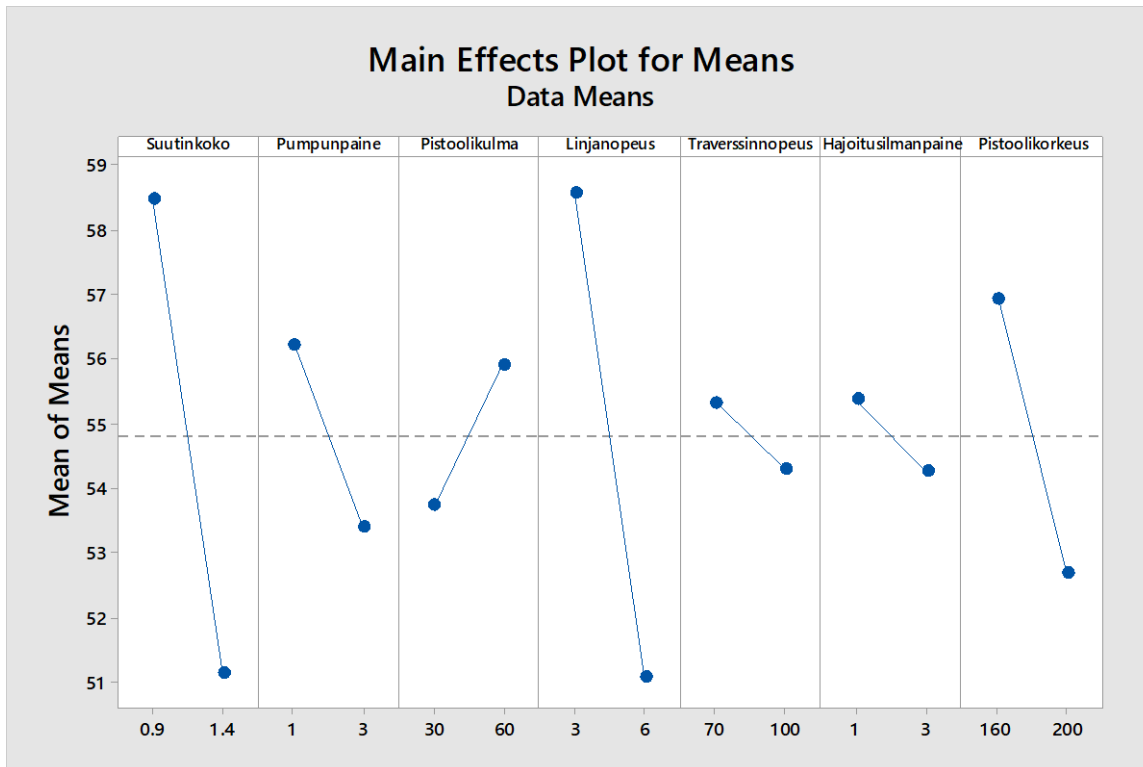
Kokonaispisteiden jakaumassa (KUVA 36) suurimmat vaikuttajat ovat kuivausuunin puhallukset, linjanopeus, suutinkoko, kuivausuunin lämpötila ja maalin sekoitusaika. Seuraavana on pistoolikorkeus. Tämän jälkeen melkein yhtä suuria ovat pumpun paine ja pistoolikulma, ja vähiten vaikuttavat hajotusilmanpaine ja traverssinopeus.

Seuraavaksi muuttujalista karsittiin siten, että muuttujia olisi kohtuullinen määrä, ja niille voisi näin toteuttaa täysfaktorikokeen. Maalin sekoitusaika jätettiin pois, koska sen arvoja ei pidetty luotettavina kuten aiemmin mainitsin, sillä viskositeettiä ei pystytty testin aikana dokumentoimaan. Lisäksi testauksen jälkeen sain selville, että testauksessa käytetty maalin sekoitustapa ei ole suositeltavaa, koska jos maalia sekoittaa liian useasti sen ominaisuudet, kuten maalin vaahtoutuminen, voivat heikentyä (Ilo 2017). Parempi tapa olisi sekoittaa maalia noin kahden tunnin välein. Sekoitustapa vakioitiin seuraavaan testiin. Myös kuivausuunin arvot vakioitiin, koska päätimme opinnäytetyön tilaajan kanssa keskittyä ruiskuautomaatin muuttujiin. Lisäksi meillä oli olemassa testituloksia toisesta opinnäytetyössä, jossa tutkittiin maalin haihtumista koesuunnittelulla, ja voisimme hyödyntää sitä kuivausuunin arvoissa.



KUVA 36. Kokonaispisteiden jakauma.

Kuvassa 37 on esitettyä muuttujien jakaumat kokonaispisteityksen osalta, poistettuna aiemmin mainitut muuttujat. Tämän perusteella jatkotutkimukseen valitsin linjanopeuden, suutinkoon, pistoolikorkeuden ja pumpun paineen.



KUVA 37. Kokonaispisteiden jakauma. Vähennetty muuttujia.

4.5 Toinen koesuunnittelukierros

Toinen koesuunnittelukierros toteutettiin käyttämällä täysfaktorikoetta. Täysfaktorikoe on karakterisointikoe. Toisin kuin aiemmin tehty koe, tämä koe ajaa kaikki mahdolliset tekijöiden ja tasojen yhdistelmät, jolloin saadaan yksittäisvaikutusten lisäksi myös keskinäisvaikutukset. Myöskin täysfaktorikoella luodaan $Y = f(x)$ yhtälö. Taulukossa 12 on esillä kokeessa käytetty täysfaktorikoesuunnitelma koodatuissa yksiköissä. Taulukosta huomaa eroavaisuudet aiemmin tehtyyn kokeeseen. Toisin kuin Taguchi-koe, täysfaktorikoe satunnaistaa ajorjestyksen. Satunnaistamisella pyritään vähentämään kokeen ulkopuolisten tekijöiden vaikutusta. Taulukossa vasen pystyrivi StdOrder tulee englanninkielistä sanoista Standard Order, joka on suomennettuna standardijärjestys, eli satunnaistamaton järjestys. Sen vierellä on RunOrder eli järjestys, jonka mukaan testaus ajetaan. Tämän jälkeen tulee CenterPt eli Center Points suomennettuna keskipisteet. Tällä tarkoitetaan ajorivejä, joissa muuttujien arvot ovat otettu tasojen keskeltä, mutta tätä ei käytetty testissä. Kokeen ajamisen jaoin kahdelle päivälle, jolloin ajan ei pitäisi tulla ongelmaksi kuten aiemmassa kokeessa. Täysfaktorikokeessa tämä huomioidaan käyttämällä block-tekijää. Lisäksi eroavaisuutena Taguchi-kokeeseen on, että tasot ovat koodatuissa yksiköissä muotoa -1 ja 1.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Suutinkoko	Pumpunpaine	Linjanopeus	Pistoolikorkeus
16	1	1	2	1	1	1	1
12	2	1	2	-1	1	1	-1
9	3	1	2	-1	-1	-1	-1
11	4	1	2	1	-1	1	-1
10	5	1	2	1	1	-1	-1
14	6	1	2	-1	1	-1	1
13	7	1	2	1	-1	-1	1
15	8	1	2	-1	-1	1	1
6	9	1	1	1	1	-1	1
8	10	1	1	-1	1	1	1
5	11	1	1	-1	-1	-1	1
3	12	1	1	-1	-1	1	-1
4	13	1	1	1	1	1	-1
1	14	1	1	1	-1	-1	-1
2	15	1	1	-1	1	-1	-1
7	16	1	1	1	-1	1	1

TAULUKKO 12. Täysfaktorikoe koodatuissa yksiköissä.

Taulukossa 13 on kuvattuna kokeessa käytetyt muuttujat ja vakioidut muuttujat. Suutinkoot säilyivät samana edelliseen testiin verrattuna. Pumpun paineen alatasoa muutin hieman isommaksi, ettei enää syntyisi aivan minimaalisia levitysmääriä. Myöskin linjanopeuden ylätasoa muutin hieman matalammaksi. Tässä testissä pistoolikulma on vakioitu 45 asteeseen pöytään nähden, ja pistoolin korkeudelle tarkoitetaan hypotenuusaa pistoolin nokasta pöytään, ei pystysuoraa korkeutta kuten aiemmassa testissä. Aiemmassa testissä oli yksinkertaisempaa mitata pystysuoraan korkeutta, koska pistoolikulma ja korkeus vaihtelivat, mutta tässä testissä pistoolikulma pysyy samana. Keskiarvotilanteessa kulmana käytetään 45 astetta ja pituutena 25 cm, joiden ympärillä ala- ja ylätasoa on muodostettu korkeuden osalta.

Travessinopeuden vakioin sopimaan eri linjanopeuksiin siten, että kummallakin linjanopeudella automaatti maalaa kappaleen päälle neljä kerrosta samalla suihkuleveydellä. Jos traverssinopeus olisi sama molemmilla linjanopeuksilla, se voisi aiheuttaa Ei toivottua vaihtelua lopputuloksessa. Normaalitilanteessa traverssinopeus on aina optimoitu linjanopeuteen nähden, jolloin ruiskutus on tasaista ja kappaleeseen ei synny kohtia, joissa on enemmän tai vähemmän maalia. Hajotusilmanpaineena käytin edellisen testin keskitasoa. Kuivausuunin arvot saatiin Hong Diep Bui:n opinnäytetyöstä, jonka aiheena oli lämpötilan ja ilmankosteuden vaikutus kuivumiseen vesiohenteisilla maaleilla (Bui 2017, 41). Arvot on testattu samalla linjastolla, joten niitä pystyi hyödyntämään tässäkin testissä. Nämä arvot ovat sellaiset, että niillä saadaan testatusti tehokkain maalin kuivuminen. Suurin eroavaisuus oli tasaantumisaika, josta

käytetään usein englanninkielistä termiä flash-off-time. Tasaantumisaika ei aiemmassa koesuunnittelussa ollut ollut muuttujana, mutta sen arvo oli noin 30 sekuntia. Seuraavaan koesuunnitteluun se vakioitiin neljään minuuttiin. Lisäksi kuivausuunissa käytettiin yhtä IR-lamppua. Kuivausuunissa olisi myös pitänyt käyttää 30 %:n ilmakeuhetta, mutta laiterikon takia sitä ei pystytty vakioimaan

Muuttuja	-1	1
Suutinkoko	0,9	1,4
Pumpun paine	1,5	3
Linjanopeus	3	5
Pistoolikorkeus	220	280
Vakioidut muuttajat	Lukemat	
Pistoolikulma	45	
Hajoitusilmanpaine	2	
Traverssinopeus	3m/s = 62 m/min	5m/s = 104 m/min
Lämpötilat	30/45	
Flash off time	4min	
Linjannopeus	4,5 m/s	
Puhallukset	50/100	

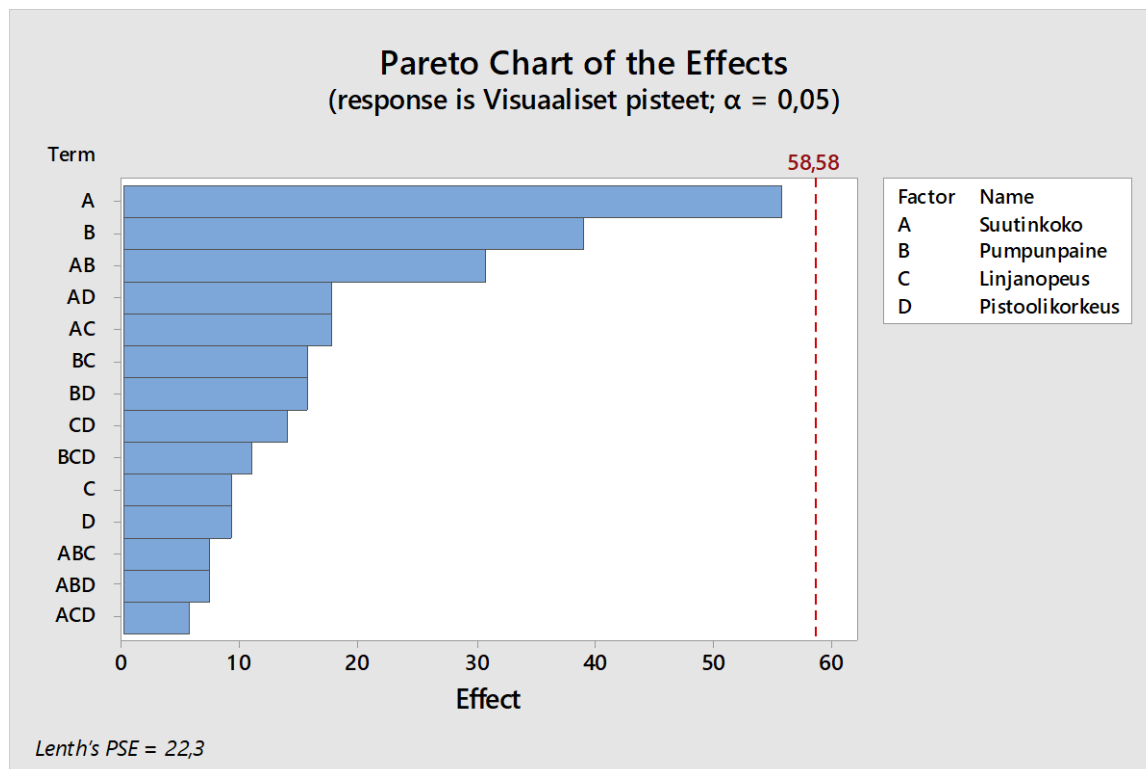
TAULUKKO 13. Koesuunnittelu kaksi muuttujat ja tasot.

Liitteessä 4 on tässä maalauksessa käytetty koesuunnitelma, joka on koodaamattomissa yksiköissä. Näytämäärän laskin käyttäen samaa kaavaa kuin ensimmäisessä testissä, eli 16 ajoa lisättynä 32 ja tämä tulos jaettuna 16 ajolla on yhteensä kolme testikappaletta per testattava rivi eli yhteensä 48 lasilevyä. Toisin kuin aiemmassa testissä, tässä ei tarkastusriviä käytetty, vaan muuttujat merkattiin yksinkertaisesti merkkauksilla tarkastetuksi. Kuten aiemmin mainitsin, edellisestä testistä opittuna maalaus toteutettiin kahdessa päivässä (block-tekijä), millä taattiin ajan riittävyys. Lisäksi ennen testiä varmistettiin maalin riittävyys. Käytetty maali oli Teknoksen Aquatop 2760–02. Erona aiempaan testimaaliin oli viskositeetti. Maalaus toteutettiin RunOrder-rivin mukaisessa järjestyksessä. Nyt pidettiin erittäin tarkkaa huolta siitä, ettei rivien järjestyksestä missään tapauksessa muuteta. Testi saatiin toteutettua ilman suurempia ongelmia, ainoastaan uunin puhallukset jäivät 50/50 kun niiden olisi pitänyt olla 50/100, mutta toisaalta tämä ei sen suurempia ongelmia loppujen lopuksi aiheuttanut.

Mittaustulokset ovat liitteessä 5 koesuunnitelman ohella. Kuten aiemmin, yhdellä kappaleella mitattiin jokaisen rivin levitysmäärä. Sen mittaaminen oli hieman aiempaa ongelmallisempaa. Tuntui, että mitaukset eivät jokaisen kappaleen kohdalla olleet luotettavia. Esimerkiksi rivi kahdella oli yksi pienimmistä levitysmääristä, mutta silti sen peittävyys on ollut ongelmaton. Kappaleiden heilurikovuus mitattiin, kun ne tulivat kuivausuunista. Kuivausuunin arvot toimivat hyvin sen osalta, että ainoastaan yksi

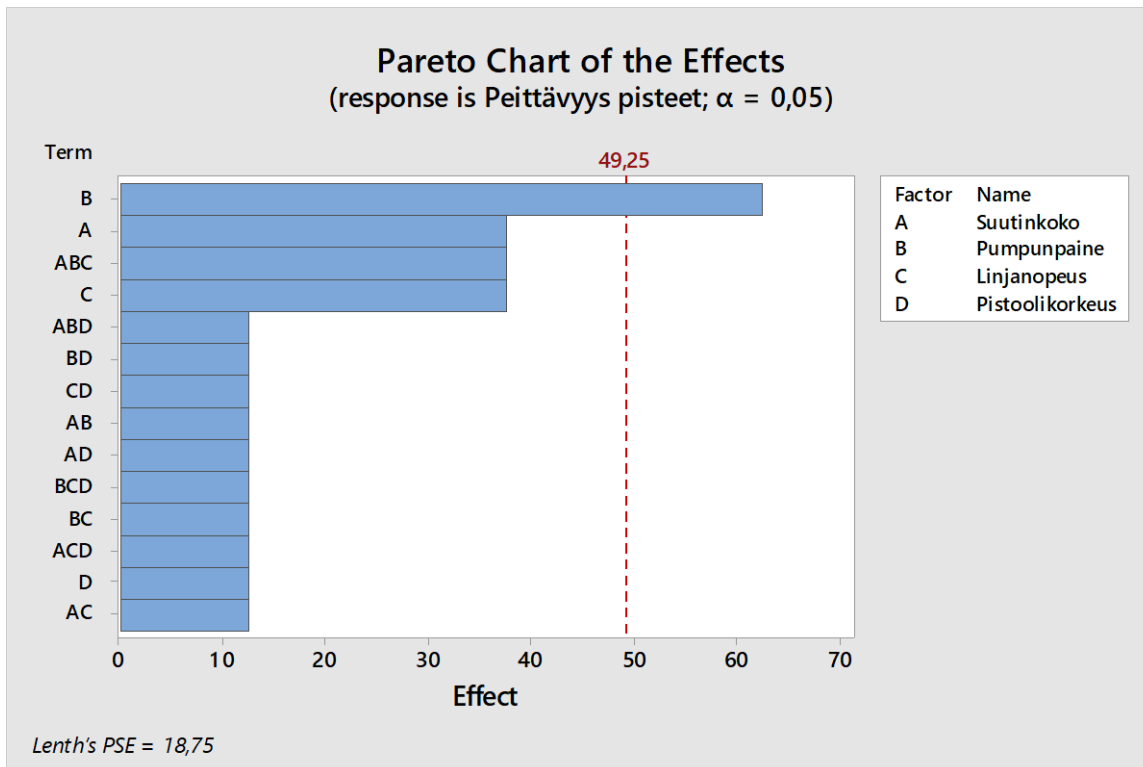
kappaleista jäi sen verran kosteaksi, ettei siitä voinut kovuutta mitata. Karheuden ja peittävyuden arviointi toteutettiin kuten aiemmassa testissä. Virheiden arviointi oli ongelmallisempaa kuin aiemmin. Joissain kappaleissa esiintyi reikäisyyttä, luultavasti tehokkaan kuivauksen takia. Joissain kappaleissa reikäisyys oli selkeämpää ja jossain vähemmän näkyvää. Virheiden arviointi perustui kappaleiden reikäisyyteen. Mittaustulosten valmistuttua analysointi tehtiin MINITAB-ohjelmalla.

Kuvassa 38 on pareto-kaavio visuaalisiin virheisiin vaikuttavista tekijöistä. Kuvassa punainen katkoviiva kuvaa tilastollisesti merkittävän rajaa. Yksikään muuttujista ei yltänyt tälle rajalle. Lähimpänä tilastollisen merkittävyyden rajaa on suutinkoko. Tämän jälkeen ovat pumpun paine sekä suutinkoon ja pumpun paineen yhteisvaikutus. Tulos ei sinänsä ole ihmeellinen, koska virheet, joita testissä ilmeni, luultavasti suurimmaksi osaksi syntyivät erittäin tehokkaan kuivauksen seurauksena.



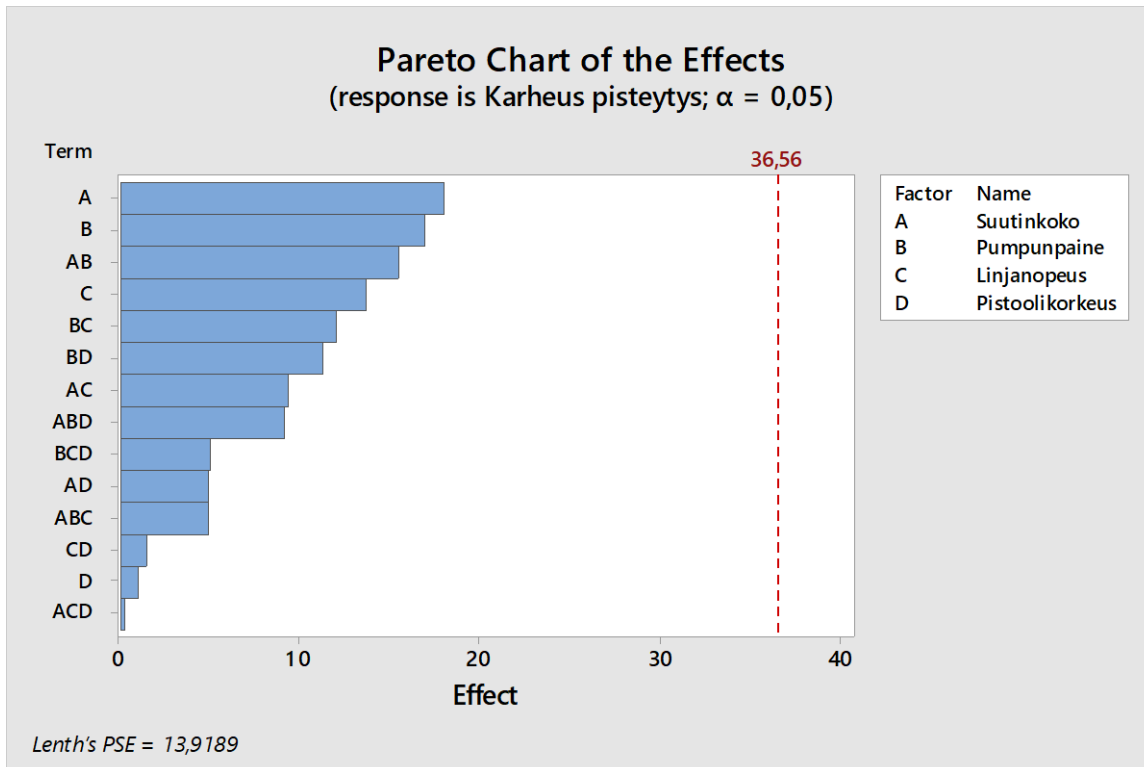
KUVA 38. Pareto-kaavio virheisiin vaikuttavista tekijöistä.

Peittävyuden osalta (KUVA 39) ei yllätyksiä ole. Ainoastaan pumpun paine ylittää tilastollisen merkittävyyden rajan. Tulos on varsin verrannollinen ensimmäisen koesuunnittelun peittävyuden tulosten kanssa (KUVA 31). Mielenkiintoista on, että tulokset tässä testissä ovat hyvin tasaisia. Tasaisuus johtuu siitä, että peittävyttä mitattaessa kappaleet ovat olleet joko peittävydeltään hyviä tai sitten kokonaan huonoja. Mikään kappaleista ei ole ollut osaksi vain peittävä.



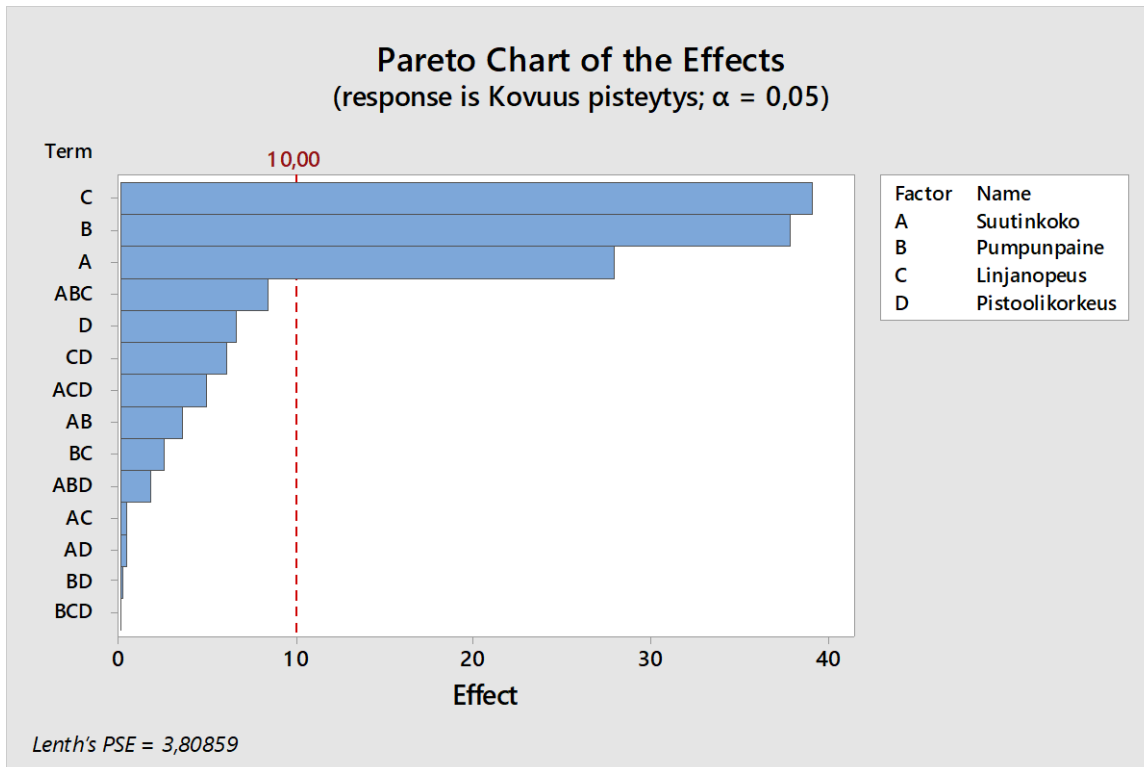
KUVA 39. Pareto-kaavio peittävyteen vaikuttavista tekijöistä.

Karheuden tuloksissa (KUVA 40) mikään muuttujista ei ole noussut lähellekään merkittävyyden rajaa. Kun tuloksia verrataan aiempaan koesuunnittelun tuloksiin (KUVA 32) niin huomataan, että muuttujat, jotka ovat nousseet siinä testissä tärkeimmäksi eivät päässeet mukaan tähän koesuunnittelukierrokseen. Jos jatkaa vertailua tämän testin muuttujien kanssa, niin suutinkoko ja pumpun paine sekä niiden yhteisvaikutus ovat kolme suurin tekijää tässä testissä. Mielenkiintoinen eroavaisuus tämän koesuunnittelun ja edellisen välillä on, että aiemmassa testissä pumpun paineella on ollut häviävän pieni merkittävyys ja linjanopeudelle on ollut isompi, mutta tässä testissä ne ovat vaihtaneet paikkaa.

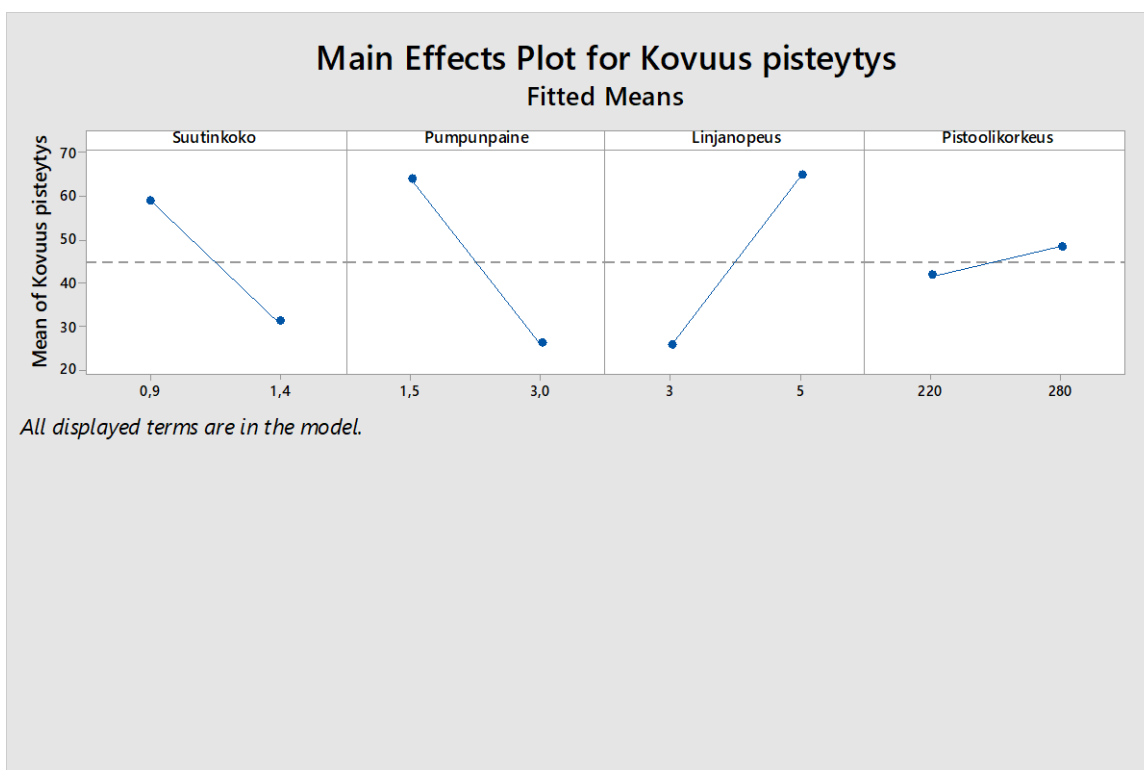


KUVA 40. Pareto-kaavio karheuteen vaikuttavista tekijöistä.

Kovuuden osalta (KUVA 41) merkittävimmät muuttujat ovat selkeästi olleet linjanopeus, pumpun paine ja suutinkoko. Jos kuivausuuniin liittyvät muuttujat jätetään huomioimatta, niin testin tulokset ovat lähes tulkoon samat kuin aiemmassa kovuuden testissä (KUVA 34). Lisäksi kun verrataan aiempaan testiin, jossa kovuus mitattiin yhdeksän päivän kuivumisen jälkeen (KUVA 35) tulevat muuttujat samalla tavalla esille vaikuttavuuden osalta. Myöskin kuvasta 42 selviää, että muuttujien arvot viittaavat taas siihen, että mitä pienempi levitysmäärä kappaleissa on, sitä kovempia ne ovat. Näin ollen en nähnyt tarpeelliseksi tehdä enää useamman kuivumispäivän jälkeen uutta kovuuden testausta.

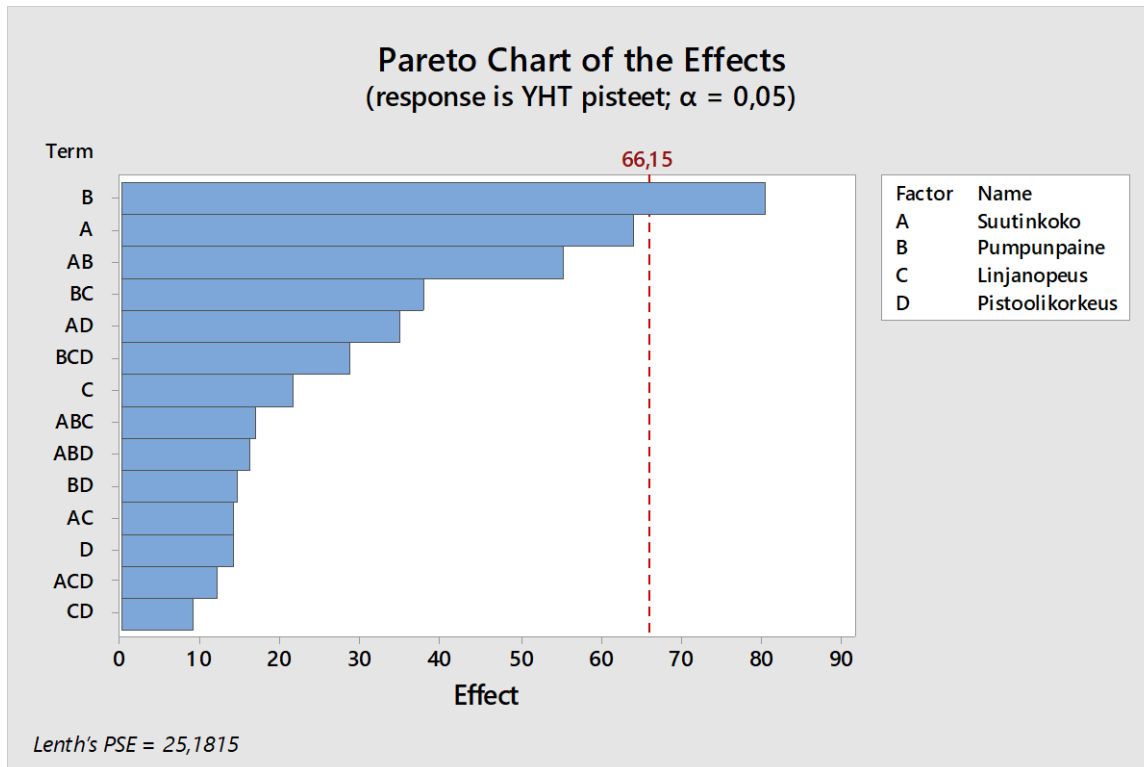


KUVA 41. Pareto-kaavio kovuuteen vaikuttavista tekijöistä.



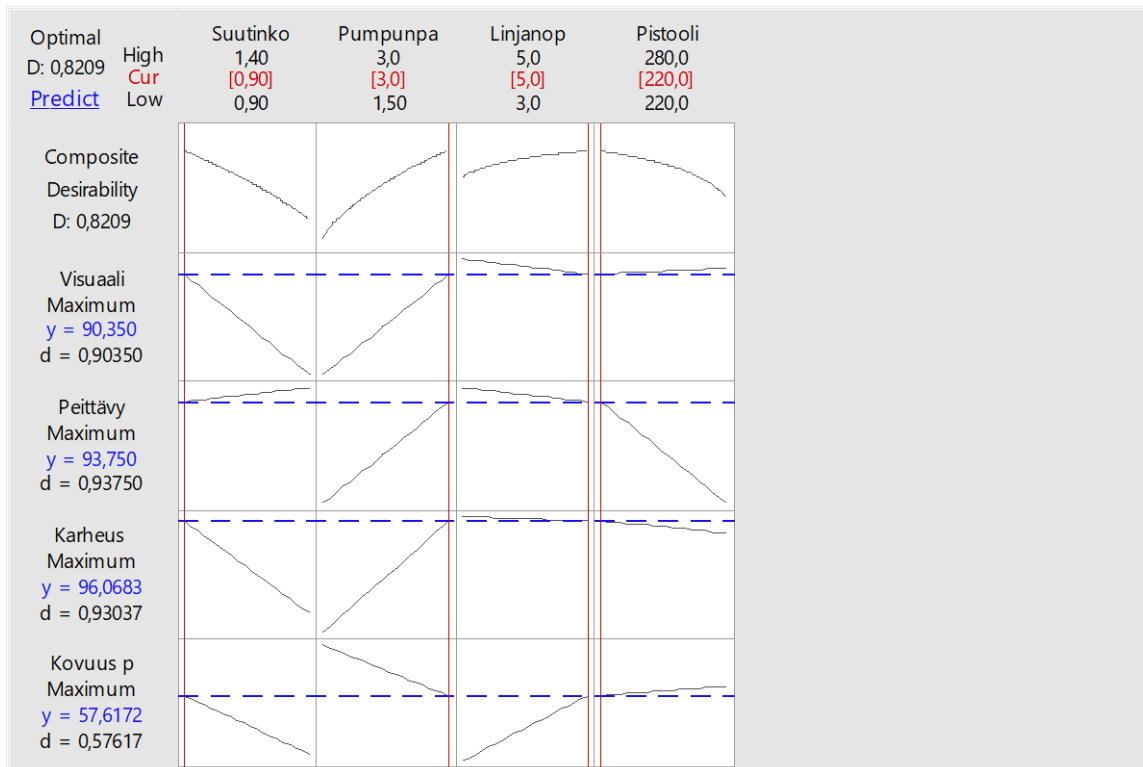
KUVA 42. Kovuuden jakaumat.

Kokonaispisteityksen osalta (KUVA 43) tilastollisesti merkittävyyden rajan ylittää pumpun paine. Hyvin lähellä rajaa on suutinkoko. Kolmantena on pumpun paineen ja suutinkoon yhteisvaikutus. Kokonaispisteitys ratkaisee, toisin sanoen tärkeimpänä vaikuttajana pinnanlaatuun oli pumpun paine.



KUVA 43. Pareto-kaavio kokonaispisteisiin vaikuttavista tekijöistä.

Myös muuttujien optimointi toteutettiin MINITAB-ohjelmalla (KUVA 44). Parhaan tuloksen optimoinnin mukaan saa, kun suutinkoko on 09, pumpun paine 3 baaria, linjanopeus 5 m/min ja pistoolinkorkeus 22 cm. Tulokseksi pitäisi optimoinnin mukaan tulla 337,79 pistettä. Arvot ovat samat kuin koesuunnittelun rivillä kaksi (LIITE 5). Kyseinen rivin tulos on 351,9 pistettä. Näiden kahden tuloksen eroavaisuus luultavasti johtuu virheiden ja peittävyuden mittauksesta, jotka luultavasti olisivat 100 pistettä molemmat, toisin kuin MINITAB-laskemat tulokset. Peittävyys ja virheet olivat joko tässä testissä 0 pistettä tai 100 pistettä. Tuloksen varmentaminen jätettiin maalaamatta, koska testissä oli jo ajettu rivi näillä muuttujien arvoilla, ja mielestäni siitä saatuun tulokseen voi luottaa.



KUVA 44. Muuttujien optimointi maksimipisteitä haettaessa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin pintakäsittelylinjan muuttujia. Tavoitteena oli löytää pinnanlaatuun eniten vaikuttavat muuttujat, joista luodaan vaikuttavuuskuvaajat. Tutkimus toteutettiin hyödyntämällä Lean Six Sigma DMAIC -prosessia. Päätyökaluna tutkimuksessa käytettiin koesuunnittelua, jonka avulla muuttujien vaikutusta tutkittiin.

Tutkimuksessa pinnanlaadun määrittäminen osoittautui haasteelliseksi. Mielestäni pinnanlaadulle ei ole olemassa yhtä oikeaa määritelmää. Se voi tarkoittaa yhtä tai useampaa asiaa riippuen keneltä sitä kysyy. Joillekin se tarkoittaa, että maalattu kappale näyttää hyvältä, joillekin taas, että uunista tullessaan maalikalvo on kova. Koesuunnittelutulosten arvioinnin kannalta olisi ollut yksinkertaisempaa käyttää yhtä arviointimenetelmää, mutta näistä seikoista johtuen se ei ollut täysin mahdollista. Mielestäni tutkimuksessa sain luotua hyvän pinnanlaadun mittauskokonaisuuden, jossa lopputuloksena on yksi pinnanlaadun mittaussuure eli kokonaispisteitys, johon vaikuttavat karheus, kovuus, virheiden esiintyvyys ja peittävyys.

Koesuunnittelut onnistuivat kokonaisuudessa mielestäni hyvin, ja tuloksia voidaan pitää luotettavana, lukuun ottamatta ensimmäisen koesuunnittelukierroksen maalin sekoittamista, jota voisi tulevaisuudessa testata uudestaan. Toisen koesuunnittelukierroksen tulos on mielestäni hyvinkin todenmukainen, koska pumpun paineella voidaan tehdä kaikkein viimeinen hienosäätö linjastoon, kun muut arvot pitäisi olla kohdallaan.

Mielenkiintoista olisi tehdä ensimmäinen koesuunnittelu uudestaan sitten, että muuttujien tasoja muutettaisiin estämään aivan minimaalisten levitysmäärien syntyminen. Täten voisi saada vielä todenmukaisempia tuloksia kovuudesta, jolloin luultavasti uuninarvot vaikuttaisivat enemmän. Lisäksi tutkimusta voisi jatkaa tekemällä täysfaktorikoe nimenomaan pelkästään uunista, joka tässä testissä jätettiin pois. Myös joidenkin muuttujien keskinäisvaikutuksia kuten linjanopeuden ja traverssinopeuden keskinäisvaikutusta olisi mielenkiintoista tutkia lisää, koska tiedetään, että niiden välillä on vaikutuksia, mutta olisiko se siltikään isompi kuten toisessa koesuunnittelussa oli suuttimen ja pumpun paineen keskinäisvaikutus.

Huomion arvoista tuloksissa on, että ne ovat täydellisesti luotettavia ainoastaan tavalla kuten näissä testeissä on tehty. Tulokset eivät luultavasti pidä täydellisesti paikkaansa, jos ruiskutustapa muuttuu, materiaali vaihtuu, materiaali muuttuu, prosessiin lisätään pohjamaalaus, tai kun käytetään kokonaan toista

pintakäsittelylinjaa. Näiden asioiden muuttuessa näistä testeistä saatuja tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina. Lisäksi tulokset ovat täysin riippuvaisia siitä, miten pinnanlaatu määritellään ja miten sitä mitataan. Mielenkiintoista olisi jatkaa testausta muuttamalla näitä asioita ja verrata niitä tämän opinnäytetyön testeissä saatuihin tuloksiin. Testeissä olevat koesuunnittelupohjat sopivat hyvin tällaiseen testaukseen, ja ovathan ne myös yksinkertaisesti sovellettavissa.

Toivon, että Centrian puulaboratorio pystyy hyödyntämään tässä opinnäytetyössä saatuja tuloksia, koesuunnittelu pohjia ja mittaussysteemin analysointeja tulevaisuuden projekteissa. Suurimmat kiitokset kuuluvat Hanna Parikalle ja Elisa Saarelle parhaasta mahdollisesta ohjauksesta, ja kiitokset Petri Wirkkalalle ja Arto Myllyniemelle opinnäytetyön työosuuden testeihin osallistumisesta.

LÄHTEET

Becker Acroma. 2007. Pintakäsittelyn perusteet opas.

Bui, H. 2017. The Effects of temperature and air humidity on drying of waterborne paint products. Centria-ammattikorkeakoulu, Degree programme in Industrial Management. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/140491>

Ilo, J. 2017. Hionnasta ja pintakäsittelystä vastaavan tuotepäällikön kanssa käyty keskustelu. 25.10.2017. Penope Oy. Lahti.

IFS The Italian Finishing School, Manager/Operator of Finishing line. Luentomateriaali 25.1.2010.

Karjalainen, T & Karjalainen, E. 2008. Six Sigma Uuden sukupolven johtamis- ja laatu-menetelmä. 3. painos. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Karjalainen, T. 2007. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Koesuunnittelu - Tehokas prosessin sekä datankeräys- ja analysointimenetelmä. Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/koosuunnittelu-tehokas-prosessin-sekae-datankeraeys-ja-analysoin/> Luettu 12.10.2017

Malinen T. Luentomateriaali 2.1.2017. Prosessien kehittäminen Lean & Six Sigma.

Modig, N & Åhlström, P. 2016 Tätä on Lean. 6. painos. Rheologica Publishing.

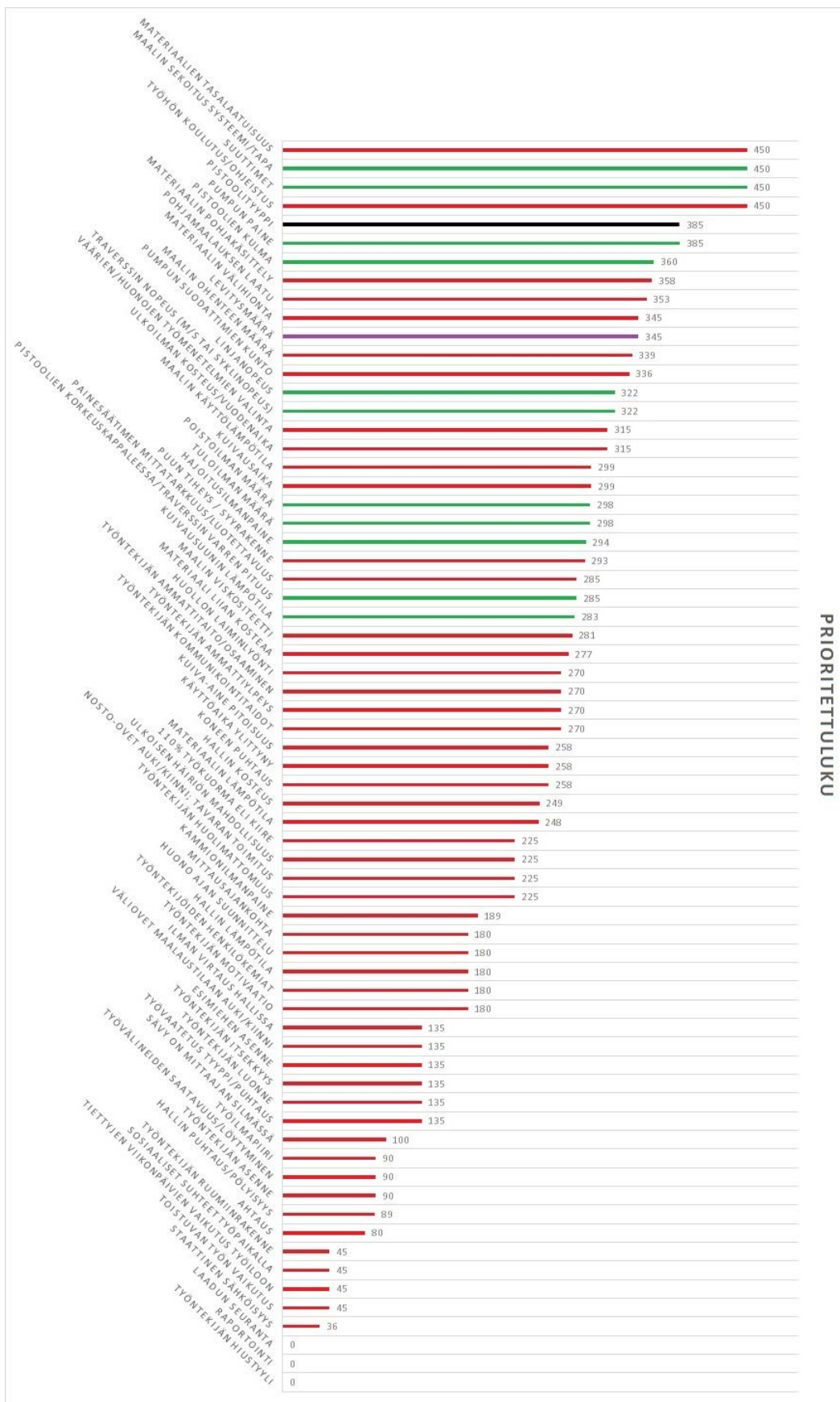
Saarela E. Luentomateriaali 26.10.2015. Teollinen pintakäsittely.

Six Sigma. Yleistä Leanistä. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/yleinen/> Luettu 19.12.2017

Six Sigma. Six Sigman kehitysvaiheet. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/roolit/> Luettu 19.12.2017

Six Sigma. Mitä Lean Six Sigma on? Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/six-sigma/> Luettu 1.9.2017

What is Six Sigma. X-Y Matrix. Saatavissa: <http://www.whatissixsigma.net/x-y-matrix/> Luettu
12.9.2017



PRIORITETITULUKU

Mittaukset										Kappale 2											
Kappale 1															Kappale 2						
Kovus 1	Kovus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Pettävyys Virheet 1	Pettävyys Virheet 2	Visuaaliset virheet 1	Visuaaliset Virheet 2	Kovus 1	Kovus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Pettävyys Virheet 1	Pettävyys Virheet 2	Visuaaliset virheet 1	Visuaaliset Virheet 2
12	14	0,510	0,534	0,539	0,617	0,777	25	25	0	0	12	12	0,605	0,637	0,649	0,726	0,883	20	20	0	0
15	15	0,417	0,431	0,514	0,529	0,552	5	5	0	0	18	17	0,512	0,568	0,585	0,598	0,755	25	25	1	1
0	0	0,451	0,460	0,467	0,480	0,553	14	16	1	1	0	0	0,350	0,379	0,384	0,412	0,483	11	12	0	0
18	17	0,582	0,595	0,617	0,642	0,646	25	25	1	2	18	18	0,558	0,653	0,699	0,835	0,924	25	25	7	7
0	0	0,528	0,703	0,782	0,788	0,856	0	0	25	25	0	0	0,729	0,758	0,780	0,789	0,829	0	0	25	25
0	0	0,674	0,683	0,725	0,783	0,787	0	0	7	7	0	0	0,612	0,624	0,683	0,788	0,814	0	0	6	6
10	10	0,529	0,692	0,755	0,782	0,965	0	0	0	0	11	10	0,618	0,633	0,660	0,733	0,782	0	0	0	0
10	11	1,233	1,434	1,629	1,667	1,951	0	0	25	25	8	9	1,323	1,454	1,580	1,634	1,665	0	0	25	25
30	29	1,412	1,444	1,735	1,808	1,844	25	25	25	25	53	57	1,644	1,662	1,665	1,760	1,877	25	25	25	25
0	0	1,084	1,141	1,194	1,365	1,579	0	0	25	25	0	0	0,909	0,962	1,172	1,352	1,463	0	0	25	25
14	14	0,623	0,734	0,775	0,821	0,842	25	25	0	0	18	17	0,790	0,872	0,903	0,939	0,973	25	25	8	7
22	21	0,743	0,749	0,764	0,854	0,858	25	25	25	25	17	17	0,453	0,605	0,738	0,802	0,859	25	25	0	0

Kappale 3					Kappale 4																
Kovus 1	Kovus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Pekittävyys Virheet 1	Pekittävyys Virheet 2	Visuaaliset virheet 1	Visuaaliset Virheet 2	Kovus 1	Kovus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Pekittävyys Virheet 1	Pekittävyys Virheet 2	Visuaaliset virheet 1	Visuaaliset Virheet 2
15	14	0,431	0,501	0,541	0,560	0,580	25	25	0	0	11	11	0,540	0,690	0,701	0,720	0,932	0	0	0	0
16	16	0,498	0,518	0,570	0,607	0,659	0	0	0	0	18	17	0,487	0,546	0,550	0,559	1,602	25	25	0	0
0	0	0,419	0,450	0,467	0,547	0,634	25	25	0	0	0	0	0,364	0,396	0,420	0,437	0,469	25	25	0	0
21	21	0,527	0,676	0,832	0,864	0,955	25	25	7	7	18	18	0,594	0,644	0,701	0,724	0,824	25	25	7	7
0	0	0,865	0,878	0,894	0,913	0,994	0	0	25	25	0	0	0,614	0,689	0,719	0,751	0,948	0	0	25	25
0	0	0,605	0,658	0,756	0,811	1,016	0	0	12	15	0	0	0,426	0,434	0,454	0,515	0,573	0	0	3	2
9	9	0,664	0,697	0,811	0,839	0,849	0	0	0	0	7	8	0,573	0,631	0,633	0,756	0,757	0	0	0	0
11	11	1,028	1,096	1,286	1,322	1,720	0	0	25	25	9	10	0,991	1,120	1,161	1,272	1,403	0	0	25	25
27	26	0,623	1,111	1,136	1,216	1,501	25	25	25	25	26	26	0,952	0,991	1,180	1,295	1,295	25	25	25	25
0	0	1,082	1,283	1,411	1,432	1,704	0	0	25	25	0	0	0,722	0,793	0,860	0,948	1,011	0	0	25	25
16	15	0,645	0,654	0,736	0,748	1,061	9	9	0	0	18	17	0,704	0,747	0,766	0,928	1,154	24	24	0	0
22	21	0,602	0,748	0,751	0,839	1,136	25	25	4	7	20	19	0,662	0,671	0,680	0,838	0,847	25	25	5	5

RunOrder	CenterPt	Blocks	Suutinkoko	Pumpunpaine	Linjanopeus	Pistoolikorkeus	levitys g/m ²
1	1	2	1,4	3	5	280	318
2	1	2	0,9	3	5	220	106
3	1	2	0,9	1,5	3	220	164
4	1	2	1,4	1,5	5	220	144
5	1	2	1,4	3	3	220	423
6	1	2	0,9	3	3	280	266
7	1	2	1,4	1,5	3	280	228
8	1	2	0,9	1,5	5	280	70
9	1	1	1,4	3	3	280	413
10	1	1	0,9	3	5	280	133
11	1	1	0,9	1,5	3	280	140
12	1	1	0,9	1,5	5	220	78
13	1	1	1,4	3	5	220	221
14	1	1	1,4	1,5	3	220	193
15	1	1	0,9	3	3	220	278
16	1	1	1,4	1,5	5	280	102

Kappale 1					Virheettömät ruudut					
Kovuus 1	Kovuus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Peittävyys 1	Peittävyys 2	Visuaaliset 1	Visuaaliset 2
7	8	0,728	0,943	0,981	1,009	1,282	25	25	0	0
11	11	0,556	0,557	0,609	0,697	0,705	25	25	25	25
11	10	0,526	0,576	0,584	0,615	0,690	0	0	25	25
16	15	0,842	1,072	1,123	1,133	1,210	0	0	0	0
0	0	1,082	1,381	1,423	1,436	1,878	25	25	0	0
4	3	0,583	0,586	0,628	0,654	0,730	25	25	25	25
4	3	0,894	0,927	0,991	1,048	1,437	25	25	0	0
23	21	1,291	1,374	1,513	1,526	1,880	0	0	0	0
0	0	0,747	0,817	0,991	1,117	1,307	25	25	0	0
14	13	0,491	0,593	0,639	0,745	0,906	0	0	25	25
15	14	0,706	0,736	0,908	0,963	0,991	0	0	0	0
20	19	1,023	1,132	1,211	1,212	1,445	0	0	0	0
5	4	0,863	0,956	1,057	1,194	1,278	25	25	0	0
7	7	0,627	0,642	0,730	0,762	0,801	25	25	0	0
3	3	0,532	0,609	0,631	0,731	0,771	25	25	20	20
17	17	0,830	0,917	0,993	1,045	1,428	0	0	0	0

Kappale 2							Virheettömät ruudut			
Kovuus 1	Kovuus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Peittävyys 1	Peittävyys 2	Visuaaliset 1	Visuaaliset 2
7	7	0,727	0,744	0,747	0,802	1,164	25	25	0	0
13	13	0,572	0,643	0,703	0,733	0,827	25	25	25	25
13	13	0,536	0,639	0,723	0,766	0,807	0	0	25	25
14	13	0,856	1,027	1,311	1,340	1,868	0	0	0	0
0	0	0,845	1,228	1,392	1,495	1,711	25	25	0	0
4	3	0,548	0,579	0,673	0,681	0,692	25	25	25	25
5	5	0,814	0,914	0,948	1,100	1,134	25	25	0	0
20	19	0,924	1,109	1,241	1,279	2,092	0	0	0	0
0	0	0,558	0,564	0,628	0,636	0,642	25	25	0	0
17	15	0,710	0,760	0,798	0,892	0,894	0	0	16	16
17	15	0,753	0,787	0,792	0,811	1,176	0	0	0	0
21	19	1,012	1,163	1,266	1,446	1,482	0	0	0	0
5	4	1,373	1,425	1,475	1,610	1,752	25	25	0	0
7	7	0,758	0,800	0,824	0,846	1,083	25	25	0	0
3	3	0,476	0,584	0,633	0,691	0,828	25	25	25	25
17	16	1,262	1,340	1,356	1,362	1,404	0	0	0	0

Kappale 3					Virheettömät ruudut					
Kovuus 1	Kovuus 2	Karheus 1	Karheus 2	Karheus 3	Karheus 4	Karheus 5	Peittävyys 1	Peittävyys 2	Visuaaliset 1	Visuaaliset 2
8	9	0,709	0,796	0,802	0,830	1,004	25	25	25	25
12	12	0,595	0,606	0,694	0,786	0,874	25	25	25	25
14	13	0,649	0,772	0,815	0,940	1,011	0	0	25	25
12	12	0,813	0,881	0,898	0,991	2,083	0	0	0	0
0	0	1,158	1,254	1,296	1,610	1,625	25	25	0	0
3	4	0,453	0,611	0,642	0,713	0,722	25	25	25	25
4	3	1,072	1,328	1,452	1,566	2,218	25	25	0	0
23	22	1,499	1,610	1,784	1,811	2,134	0	0	0	0
0	0	0,818	0,865	0,882	1,021	1,213	25	25	0	0
13	12	0,451	0,580	0,646	0,701	0,724	0	0	25	25
13	13	0,685	0,745	0,761	0,869	0,884	0	0	0	0
21	19	1,333	1,567	2,043	2,055	2,189	0	0	0	0
4	3	0,830	0,916	1,116	1,140	1,622	25	25	0	0
4	4	0,649	0,870	0,932	0,974	1,093	25	25	0	0
4	3	0,566	0,641	0,662	0,662	0,715	25	25	25	25
20	18	0,980	1,287	1,358	1,365	1,655	0	0	0	0

