

**Jaana Blomqvist**

**OLOSUHDETEKIJÖIDEN VAIKUTUS IKKUNAN  
SISÄPUITTEEN PINNANLAATUUN**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Tuotantotalouden koulutusohjelma  
Maaliskuu 2015**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Ylivieska	<b>Aika</b> Maaliskuu 2015	<b>Tekijä/tekijät</b> Jaana Blomqvist
<b>Koulutusohjelma</b> Tuotantotalous		
<b>Työn nimi</b> Olosuhdetekijöiden vaikutus ikkunan sisäpuitteen pinnanlaatuun		
<b>Työn ohjaaja</b> Tapio Malinen		<b>Sivumäärä</b> 45 + 3
<b>Työelämäohjaaja</b> Miika Sumela		
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää, mistä ikkunan sisäpuitteen pinnalle varastoinnin ja rakentamisen aikana syntyvä helmiäispinta johtuu. Tavoitteena oli selvittää, mitkä tekijät voivat aiheuttaa helmiäispinnan syntyä ja saada suljettua pois tekijät, jotka eivät helmiäispinnan syntyyn vaikuta.</p> <p>Helmiäispinnan syntyä tutkittiin laboratoriotestien avulla sekä keräämällä mittadataa varastoinnin ja rakentamisen aikaisista olosuhteista. Laboratoriotesteissä tehtiin erilaisia olosuhdetestejä muuttujilla, joiden ajateltiin vaikuttavat helmiäispinnan syntyyn. Kenttätutkimuksen avulla saatiin tietoa todellisista olosuhteista, joita varastoinnin ja rakentamisen aikana esiintyy. Opinnäytetyössä perehdyttiin DMAIC-prosessiin ja koesuunnitteluun ja niitä sovellettiin oppimismielessä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat helmiäispinnan syntyyn. Laboratoriotestien perusteella saatiin myös poissuljettua muutamia tekijöitä, jotka eivät vaikuta helmiäispinnan syntyyn sekä saatiin selvitettyä ne olosuhteet, joissa helmiäispintaa esiintyy.</p>		
<b>Asiasanat</b> DMAIC, koesuunnittelu, laatu, Six Sigma		

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Ylivieska	<b>Date</b> March 2015	<b>Author</b> Jaana Blomqvist
<b>Degree programme</b> Industrial Management		
<b>Name of thesis</b> Conditions that affect to the quality of window's inner sash		
<b>Instructor</b> Tapio Malinen		<b>Pages</b> 45 + 3
<b>Supervisor</b> Miika Sumela		
<p>The subject of this thesis was to find out what causes the pearly surface to the window's inner sash during the storage and building. The purpose was to identify the factors which may cause the pearly surface and eliminate the factors that do not cause the pearly surface.</p> <p>The study was made by implementing different laboratory tests and gathering metric data from the storage and building. Laboratory tests were executed with different condition tests by parameters that may affect to generation of pearly surface. The real conditions of storing and building were identified by means of field research. DMAIC process and design of experiments were studied and applied in the thesis for learning purpose.</p> <p>As a result of this thesis the factors that may affect to the generation of pearly surface were identified. In addition, the factors that do not affect to the generation of pearly surface and the conditions that cause pearly surface were found out based on the laboratory tests.</p>		

<p><b>Keywords</b> DMAIC, design of experiments, quality, Six Sigma.</p>
--

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Affinity -diagrammi	Organisoi suuren määrän ryhmän ideoita tietystä asiasta. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 114.)
CTQ-puu	Kääntää asiakkaan tarpeet tuote ja palveluominaisuuksiksi sekä linkittää nämä ominaisuudet prosesseihin (Karjalainen & Karjalainen 2008, 117.)
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control – määritä, mittaa, analysoi, paranna ja ohjaa. Systemaattinen, tieteellinen ja tosiasioihin perustuva jatkuvan parantamisen prosessi. Tämä ympyräprosessi eliminoi tuottamattomat askeleet, keskittyy usein uusiin mittauksiin ja tuo esiin uusia kehityskohteita. (Ihalainen & Hölttä 2001, 9–10.)
FMEA	Failure Mode & Effect Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi. Kartoittaa tuotteeseen tai prosessiin liittyviä vikariskejä sekä niiden esiintymistodennäköisyyksiä ja vaikutuksia. (Ihalainen & Hölttä 2001, 10.)
Gage R&R	Tunnistaa ja määrittää eri vaihtelun lähteitä, jotka vaikuttavat mittaussysteemiin. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 143.)
Korrelaatioanalyysi	Määrittää muuttujien välisen yhteyden asteen. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 160.)
MSA	Measure Systems Analysis, mittaussysteemin analysointi. Sarja suunniteltuja testejä, jotka mahdollistavat organisaatiolle mittaussysteemin luotettavuuden määrittämisen (Karjalainen & Karjalainen 2008, 143.)

Multi-vari -kortit	Käytännöllisiä graafisia työkaluja, jotka kuvaavat input-muuttujien vaihtelun vaikutusta ulostulomuuttujaan tai vasteeseen. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 158.)
Ohjaukortit	Graafisia kortteja, joita käytetään monitoroimaan, ohjaamaan ja stabiloimaan prosessin suorituskykyä. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 170.)
QFD	Quality Function Deployment. Työkalu, jonka avulla asiakkaan kvalitatiiviset tarpeet priorisoidaan ja kytketään tuotteen laatuominaisuuksiin kvantitatiivisen laskennan keinoin. (Ihalainen & Hölttä 2001, 17.)
Regressioanalyysi	Määrittää muuttujien välisen funktionaalisen suhteen. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 160.)
RTY	Rolled Throughput Yield, läpivyoitytetty saanto. Määrittää prosessin todellisen saannon. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 106.)
Sigma $\sigma$	Kreikkalainen kirjain. Standardipoikkeama, keskimittamittaustulosten etäisyydestä keskiarvosta. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 18.)
SIPOC	Prosessikartta, joka sisältää toimittajat, inputit, prosessin, outputit ja asiakkaat. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 100.)
Six Sigma ( $6\sigma$ )	Laadun visio, joka tarkoittaa 3,4:ää poikkeamaa miljoonaa tuotannon tai palvelun yksikköä kohden. (Ihalainen & Hölttä 2001, 22.)
SPC	Statistical Process Control, tilastollinen prosessin ohjaus. Tuotantoprosessin hajonnan syiden selvittämistä, eliminointia ja hajonnan hallintaa. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 180.)

Taguchi-menetelmä	Genichi Taguchin kehittämä tuotteen robustisuuteen ja toleransseihin perustuva suunnittelumenetelmä. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 180.)
VOC	Voice of the Customer, asiakkaan ääni. Kuvaa asiakkaiden tarpeita ja heidän havaintojaan tuotteesta tai palvelusta (Karjalainen & Karjalainen 2008, 112.)

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 YRITYSESITTELY</b>	<b>3</b>
<b>3 SIX SIGMA</b>	<b>4</b>
3.1 Six Sigman synty ja kehitysvaiheet	4
3.2 Mitä on Six Sigma?	5
3.3 Six Sigma -projekti	7
3.4 DMAIC–ongelmanratkaisumalli	9
3.4.1 Määrittelyvaihe (Define)	9
3.4.2 Mittaus (Measurement)	10
3.4.3 Analysointi (Analysis)	11
3.4.4 Parannus ja optimointi (Improvement)	12
3.4.5 Ohjaus ja valvonta (Control)	12
3.5 Koesuunnittelu (Design of experiments, DOE)	12
3.6 Six Sigman keskeisiä työkaluja	14
3.7 Six Sigman hyödyt yritykselle	16
<b>4 TUTKIMUSTYÖN TOTEUTUS</b>	<b>17</b>
4.1 Kenttätutkimuksen toteutus	18
4.2 Laboratoriokokeiden toteutus	20
4.2.1 Testikappaleiden teko	21
4.2.2 Olosuhdetestit	23
4.2.3 QUV-testit	28
<b>5 TUTKIMUSTYÖ DMAIC–PROSESSIN MUKAISESTI</b>	<b>30</b>
5.1 Määrittelyvaihe	30
5.2 Mittausvaihe	31
5.3 Analysointivaihe	35
5.4 Parannusvaihe	36
5.5 Ohjausvaihe	38
<b>6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>39</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>42</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>44</b>
<b>LIITTEET</b>	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on ikkunan sisäpuitteen pinnanlaatuun vaikuttavien olosuhdetekijöiden selvittäminen. Opinnäytetyön toimeksiantaja on ikkunoita ja ovia valmistava Eskopuu, joka kuuluu ruotsalaiseen Inwido AB –konserniin. Rakennustyömailla ikkunan sisäpuitteen pinnassa on havaittu satunnaisesti kimaltavaa pintaa, jota kutsutaan helmiäispinnaksi. Ikkunan pinnanlaatu on hyvä, kun se lähtee tehtaalta, mutta varastoinnin ja rakentamisen aikaiset olosuhteet saavat aikaan helmiäispinnan syntyä. Tämä aiheuttaa yritykselle lisäkustannuksia, sillä sisäpuitteet, joissa on helmiäispintaa, täytyy käydä rakennustyömaalla maalamassa uudelleen. Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä ikkunoiden valmistusprosessiin ja sitä kautta selvittää, mistä helmiäispinnan synty voi johtua.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada poissuljettua tekijät, jotka eivät vaikuta helmiäispinnan syntyyn. Yrityksellä ei ole aikaisempaa tietoa varastoinnin ja rakentamisen aikaisista olosuhteista, joten tavoitteena on myös saada kerättyä tietoa olosuhteista, joissa valmiit ikkunat joutuvat olemaan. Ongelman syntyyn perehdytään Six Sigma -laatumenetelmän avulla, johon myös opinnäytetyön teoriaosa perustuu. Helmiäispintaa on esiintynyt aina jonkin verran hyvin satunnaisesti, mutta sen syntyyn ei ole perehdytty tarkemmin. Tässä opinnäytetyössä tehdään ensimmäinen laajempi katsaus helmiäispintaongelmaan. Tavoitteena on saada parempi käsitys siitä, mikä ongelman aiheuttaa ja saada tehtyä yritykselle sellaisia ehdotuksia, joiden avulla helmiäispinnan syntyä voidaan paremmin ehkäistä.

Varastoinnin ja rakentamisen aikaisten olosuhteiden selvittämiseksi perehdyttiin varastointiolosuhteisiin koko ikkunoiden valmistusprosessin ajalta sekä tehtiin seuranta rakennustyömaalla. Eri tekijöiden vaikutusta helmiäispinnan syntyyn tutkittiin erilaisten laboratoriokokeiden avulla. Nämä kokeet toteutettiin Centrian olosuhdekaapeilla. Tutkimustyötä tehdessä perehdyttiin DMAIC-prosessiin, jonka avulla opittiin tuntemaan ikkunoiden valmistusprosessia ja saatiin poissuljettua eri tekijöiden vaikutusta helmiäispinnan syntyyn. Oppimismielessä perehdyttiin myös koesuunnitteluun, jonka avulla tehtiin ehdotus jatkotutkimuksille. Jatkotutkimuksen käytännön toteutus ei sisälly



opinnäytetyöhön, vaan yritys voi halutessaan jatkaa helmiäispinnan synnyn tutkimista tehdyn ehdotuksen mukaisesti.

Opinnäytetyön raportin rakenne jakautuu kahteen osaan: teoriaan ja käytäntöön. Ensimmäisessä pääluvussa käsitellään Eskopuun historiaa ja yrityksen toimintaa yleisesti. Toisessa pääluvussa perehdytään Six Sigmaan hieman laajemmin. Siinä käsitellään muun muassa mitä Six Sigma tarkoittaa, miten sitä käytetään ja mitä hyötyä yritykset siitä saavat. Kolmannessa pääluvussa käydään läpi käytännön työn toteutus eli se, miten tutkimustyö helmiäispinnan synnyn aiheuttajan selvittämiseksi tehtiin. Käytännön työssä perehdyttiin myös DMAIC-prosessiin sekä tehtiin jatkotutkimusehdotus koesuunnittelun avulla, nämä asiat käsitellään neljännessä pääluvussa. Viidennessä pääluvussa käydään läpi tutkimustyön tuloksia ja niistä tehtyjä johtopäätöksiä. Raportin lopussa on yhteenveto, jossa pohditaan, miten opinnäytetyö onnistui, saavutettiin tavoitteet ja minkälainen oppimisprosessi opinnäytetyö on ollut.

Six Sigmaan perehdyttiin lähinnä Quality Knowhow Karjalainen Oy:n materiaalien avulla ja näistä merkittävimpana lähteenä toimi Tanja Karjalaisen ja Eero E. Karjalaisen kirja Six Sigma – uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Tutkimustyö tehtiin yhteistyössä Centria tutkimus ja kehityksen kanssa ja Centrian henkilökunta oli koko projektin ajan tukemassa laboratoriotutkimuksien etenemistä. Testit toteutettiin Centrian tiloissa heidän testikaapeillaan.

## 2 YRITYSESITTELY

Ruotsalaiseen Inwido AB –konserniin kuuluva Eskopuu on ikkunoita ja ovia valmistava yritys Eskolassa. Yritys on perustettu vuonna 1939, jolloin se oli nimeltään Keski-Pohjanmaan sementtivalimo. Tällöin yrityksessä valmistettiin kolmen miehen toimesta erilaisia sementtituotteita, kuten seinä- ja kattotiiliä. Myöhemmin sodan jälkeen sementtivalimon rinnalle perustettiin puusepänyritys ja tällöin myös osakkaiden joukko kasvoi kuuteen henkeen. Sementtituotteiden rinnalla alettiin myydä puusepäntuotteita, kuten ikkunoita ja pirttikalusteita. Myös yrityksen nimi muuttui Eskolan Sementti ja puu Oy:ksi. (Nissi & Rossi, 2010.)

Sementtituotteista luovuttiin vuonna 1970 ja yritys keskittyi ikkunapuoleen, sahaan ja höyläämään. Samalla yrityksen nimi muutettiin Eskopuu Oy:ksi. Ikkunoiden ja ovien valmistukseen on keskitytty vuodesta 1980 lähtien. Vuosien varrella yrityksen toimitilat ovat kasvaneet noin 8000 m<sup>2</sup> suuruisiksi. Nykyään Eskopuun tuotevalikoimaan kuuluvat ikkunat sekä parveke- ja ulko-ovet. Ikkunoiden valmistus tapahtuu Eskolassa ja ovituotantoa on sekä Eskolassa että Kannuksessa. Ovien alkutuotanto tapahtuu Kannuksen tehtaalla ja kokoonpano Eskolan tehtaalla. Yrityksen pääasialliset asiakkaat ovat rakennusliikkeet. (Nissi & Rossi, 2010; Huhtakangas, 2014.)

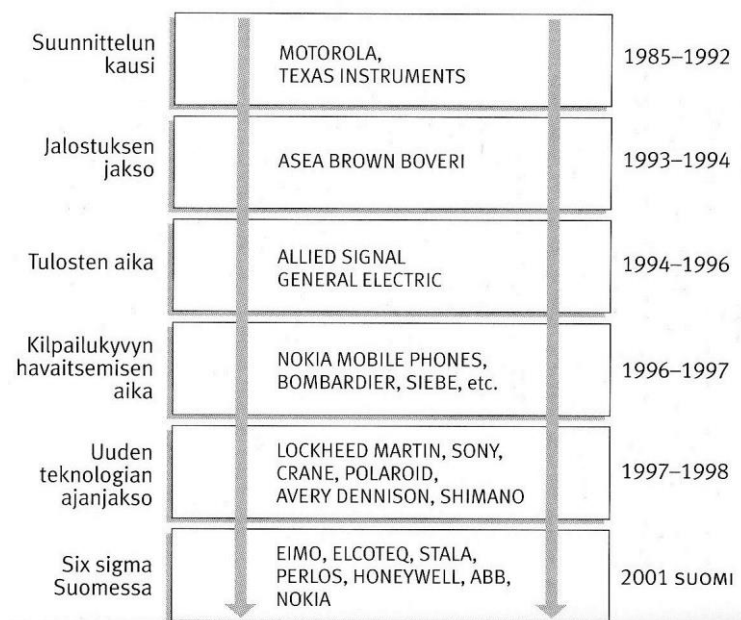
Eskopuun toimitusjohtajana on toiminut vuodesta 1996 lähtien Ipo Nissi. Vuonna 2006 Eskopuu Oy liittyi osaksi Inwido Finland Oy:tä yhdessä Pihlavan Ikkuna Oy:n ja Tiivituote Oy:n kanssa. Inwidon liiketoiminta Suomessa keskitettiin tämän vuoden alussa Inwido Finland Oy:n ja Eskopuu, Pihla sekä Tiivi säilyvät tuotemerkeinä. Tällä hetkellä Eskopuulla työskentelee noin 120 henkeä, joista 27 on toimihenkilöitä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2014 oli 32 miljoonaa euroa. Inwido Finlandin liikevaihto oli noin 148 miljoonaa euroa. Vuonna 2014 Eskopuulla valmistettiin 85 000 ikkunaa ja 13 500 ovea. (Nissi & Rossi, 2010; Huhtakangas, 2014; Pollari, 2015.)

### 3 SIX SIGMA

#### 3.1 Six Sigman synty ja kehitysvaiheet

Six Sigma –menetelmän juuret ovat saaneet alkunsa vuonna 1984 Motorolalla. Yhtiön huonolla tasolla ollutta laatua päätettiin lähteä parantamaan ja tavoitteeksi asetettiin toiminnan tehokkuuden kymmenkertaistaminen viiden vuoden sisällä. Motorolan insinöörin, Bill Smithin, tekemien havaintojen perusteella yhtiö lähti ratkaisemaan ongelmaa eri näkökulmasta kuin tavallisesti. Laadun tarkastuksen sijaan keskityttiin koko tuotantoprosessin kehittämiseen ja ennaltaehkäisevään toimintaan. Motorolassa tehty laadunkehitystyö johti menetelmään, joka nykyään tunnetaan Six Sigmana. Vuonna 1988 yritykselle myönnetyn Malcolm Baldrige –laatupalkinnon myötä Motorolan menestyksen salaisuus paljastui ja Six Sigman leviäminen alkoi. (Ihalainen & Hölttä 2001, 26; Karjalainen & Karjalainen 2008, 9.)

Six Sigman keksijänä pidetään yleisesti Bill Smithiä. Lopullisesti Six Sigma -menetelmän kuitenkin muotoili ja tuotteisti Smithin kanssa työskennellyt Mikael J. Harry. Hän muotoili yhdessä insinööriryhmän kanssa Six Sigman insinööriyökalusta johtamismalliksi. Six Sigmaa kehitettiin, sovellettiin ja levitettiin yhä laajemmalle. Teollisuuden ulkopuolelle palvelutuotantoon se alkoi levitä 1990-luvulla, kun yritykset ympäri maailmaa alkoivat kiinnittää enemmän huomiota Six Sigman avulla saavutettuihin tuloksiin. Vuonna 1994 General Electric aloitti Six Sigma –koulutuksen yhtiössään ja sen myötä menetelmän julkisuus oli taattu. Saavuttaessa 2000-luvulle Six Sigma oli jo levinnyt ympäri maailmaa kaikentyypisiin organisaatioihin raskaasta teollisuudesta terveydenhuoltoon. Kuvio 1 kuvaa Six Sigman kehitysvaiheita ja leviämistä yritysmaailmassa (Ihalainen & Hölttä 2001, 26–28; Karjalainen & Karjalainen 2008, 10.)



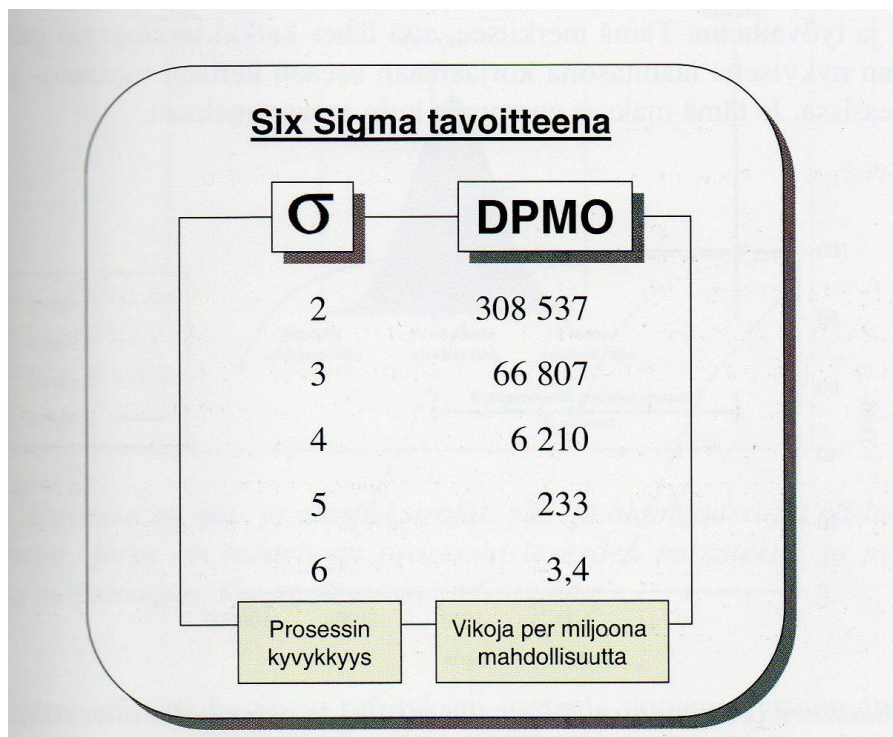
KUVIO 1. Six Sigman kehitysvaiheet (Ihalainen & Hölttä 2001, 30)

### 3.2 Mitä on Six Sigma?

Six Sigma on uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Sen tarkoituksena on saada aikaan parannusta ja tuoda säästöjä yrityksen jokaisella osa-alueella. Six Sigmassa organisaation kaikkien alueiden parantaminen tehdään siten, että asiakkaiden, markkinoiden ja teknologian muuttuvat tarpeet täyttyvät sekä samalla yrityksen työntekijöille, asiakkaille ja osakkaille saadaan hyötyä. Six Sigma on järkevämpi tapa johtaa liiketoimintaa, sillä se asettaa asiakkaan etusijalle sekä etenee faktojen ja datan perusteella kohti parempia ratkaisuja. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 17.)

Six Sigma –metodi on erityisesti yrityksen johdon parannusmenetelmä. Se on prosessin parannusta, kokonaisvaltaista johdon sitoutumista, asiakasfokusta sekä erinomaisuuden filosofiaa. Yrityksen johto saa Six Sigmasta todellisen ja testatun menetelmän tuloksen ja toiminnan parantamiseen. Sen avulla voidaan lyhentää jakso- ja läpimenoaikoja, lisätä myyntiä ja vähentää kustannuksia sekä vähentää tai poistaa kokonaan palveluissa, tuotteissa ja tuotantoketjuissa olevia virheitä ja vikoja. Lisäksi Six Sigma -menetelmän avulla voidaan lisätä merkittävästi asiakkaiden tyytyväisyyttä ja parantaa yrityksen tulosta. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 8, 17.)

Six Sigman tilastollinen tavoite on 0-virhettä, johon pyritään vaihtelun pienentämisellä. Vaihtelua pienentämällä saavutetaan mahdollisimman pieni standardipoikkeama eli Sigma  $\sigma$ . Kun standardipoikkeama on mahdollisimman pieni, niin silloin lähes kaikki tuotteet tai palvelut täyttävät asiakkaan odotukset. Standardipoikkeama kertoo, kuinka kaukana tulokset ovat keskiarvosta sekä kuinka paljon joukossa on vaihtelua. Six Sigma -ohjelmassa keskiarvoksi asetetaan 6, mikä tarkoittaa sitä, että miljoonassa tuotteessa saa olla poikkeavia vain 3,4. Keskiarvorytyksissä sigmataso on 4 ja tällä tasolla teollisuusyritykset keskimäärin ovat. Kuviossa 2 näkyy mitä eri sigmatasojen saavuttaminen vaatii. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 17–19; Järviö, Piispa, Parantainen & Åström 2007, 99.)



KUVIO 2. Six Sigma tavoitteena (Karjalainen & Karjalainen 2008, 21)

Six Sigma on yleiskäsite, joka asiayhteydestä riippuen voi tarkoittaa montaa eri asiaa. Six Sigma voi olla vertailumitta, suorituskyyvyn tavoite tai uusi tapa mitata laatua. Se voi olla filosofia, statistiikkaa, uusi kestävän kehityksen strategia tai osaamiseen perustuva kehittämisstrategia. (Karjalainen 2008, 19–24.)

### 3.3 Six Sigma -projekti

Six Sigma –projektin kohde määritellään tavallisesti laatu- ja kustannusanalyysin avulla. Yrityksen taloudellista tulosta parantavia kehitysprojekteja on helpompi löytää, kun yrityksen laadun ja huonon laadun kustannuksia analysoidaan tarkasti. Lisäksi vältetään kehityskohteiden mielivaltaiselta valinnalta ilman selkeitä faktoja projektilla saavutettavista hyödyistä. Yrityksen ylin johto määrittelee asiakkaalle ja yritykselle kriittiset asiat sekä käynnistää Six Sigma –projektin. Yrityksen johtoryhmä laatii tehtäväksiannon yrityksen Six Sigma –parannusryhmille. Tehtävänanto käsittää suorituskykyongelman kuvauksen, tavoitteet, organisoinnin, aikataulun ja resurssit. Tehtävänannon luovuttamisen jälkeen johtoryhmän tehtävänä on johtaa, ohjata ja tukea Six Sigma –parannusryhmää tavoitteen saavuttamisessa. (Ihalainen & Hölttä 2001, 57; Karjalainen & Karjalainen 2008, 12.)

Suorituskyvyn parantamiseen ja ongelmanratkaisuun koulutettu henkilö, Black Belt (BB), vetää Six Sigma projektia. Hän osaa johtaa projektia, omaa tarvittavan tietotaidon sekä hallitsee tilastolliset menetelmät. Näiden ominaisuuksien avulla hän saavuttaa halutun tuloksen. Tavallisesti projektit ovat kannattavuudeltaan 100 000–200 000 euroa ja aikataulu on 0,5–1 vuotta. Six Sigma –projektissa on mukana eri tason koulutuksia saaneita henkilöitä, joilla kaikilla on eri tehtävät. Projektissa mukana olevilla henkilöillä voi olla muun muassa seuraavia nimikkeitä: (Karjalainen & Karjalainen 2008, 12.)

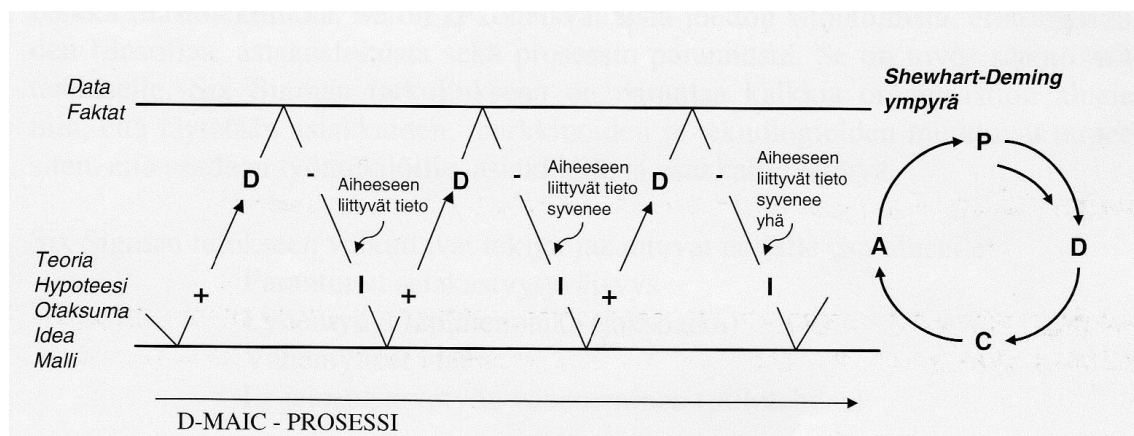
- Projektitiimin jäsen
- Green Belt
- Black Belt
- Master Black Belt
- Champion
- Funktiojohtaja

Projektitiimin jäsenet osallistuvat projekteihin ja tukevat projektien tavoitteita. Jäsenten oletetaan käyttävän Six Sigma –menetelmää ja työkaluja osana heidän normaalia työtään. Green Beltit suorittavat suhteellisen pieniä osastokohtaisia projekteja. Green Belt toimii joko tiimin jäsenenä tai osa-aikaisena tiimin johtajana. Black Belt on Six Sigma –ryhmän johtaja. Hän esittelee menetelmät ja työkalut tiimin jäsenille ja muulle organisaatiolle.

Black Belt on täysin omistautunut Six Sigmalle ja se on hänen päätyötään. Master Black Belt on kouluttaja, joka johtaa koko yrityksen vaadittavaan Six Sigma –osaamistasoon. Master Black Belt on myös Black Beltien mentori ja kouluttaja. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 73–77.)

Yrityksen johtoryhmä saa usein niin sanotun Champion –koulutuksen, jonka avulla he oppivat ymmärtämään Six Sigma –menetelmää ja siten nimeämään projekteja. Tulevaisuudessa tulee olemaan tavallista, että yrityksen johtoryhmässä on jo Black Belt –taustan omaavia henkilöitä, joten koulutusongelma tulee vähenemään huomattavasti. Funktiojohtaja hyväksyy projektin valinnan sekä odotettavat tulokset. Lisäksi hän tukee Black Beltejä ja tekee tarvittavia toimenpiteitä tulosten realisoimiseksi. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 75, 78.)

Six Sigma –projekti etenee jatkuvan parantamisen mallin mukaisesti, jossa teoria, hypoteesi, idea ja otaksuma vuorottelevat datan ja faktan kanssa. Liiketoiminnan parannuksen onnistumiseen vaaditaan yleensä viisi kierrosta teorian ja datan vuorottelua, jotta satunnainen vaihtelu saadaan häviämään ja totuus tulee esille. Kuviossa 3 näkyy jatkuvan parantamisen malli tai toiselta nimeltään PDCA –parannusympyrä. Kirjaimet tulevat sanoista Plan, Do, Check ja Act. Six Sigmassa jatkuvan parantamisen malli muodostuu DMAIC –prosessista. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 15–16).



KUVIO 3. Jatkuvan parantamisen malli (Karjalainen & Karjalainen 2008, 15)

### 3.4 DMAIC–ongelmanratkaisumalli

DMAIC–ongelmanratkaisumallin avulla prosessista pyritään löytämään satunnainen syy, jotta suorituskykyä voidaan lähteä parantamaan. DMAIC–prosessissa huomio keskittyy koko systeemiin ja siitä prosessin suorituskykyä parantavien tekijöiden löytämiseen sekä näiden radikaaliin parantamiseen. Keskeistä suorituskyvyn parantamisessa on löytää satunnainen syy, mikä eroaa perinteisestä ongelmanratkaisusta, jossa keskitytään ilmeisen syyn löytämiseen. DMAIC–prosessi etenee johdonmukaisesti induktio-deduktio –tietä ydin- tai juurisyytä kohti. Menetelmä perustuu dataan ja jäsennehtyyn tilastolliseen ongelmanratkaisumenetelmään, jossa lukuiset erilaiset tilastolliset työkalut yhdessä integroidun tilastosoitan kanssa ovat apuna. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 43.)

DMAIC–prosessi etenee hyvin järjestelmällisesti kohti ongelman ratkaisua. Prosessi alkaa karakterisointivaiheesta, jossa keskitytään kuvaamaan ongelmaa ja etsimään syyehdokkaita. Tämän vaiheen jälkeen seuraa optimointivaihe, jossa tuote tai prosessi optimoidaan ja parannetaan syytekijöitä muuttamalla. DMAIC–mallissa on useita etuja ja eroja normaaliin ongelmanratkaisuun verrattuna. DMAIC:ssa ei pelkästään oleteta, että ongelma ymmärretään vaan se täytyy aina todistaa tosiasioilla. Lisäksi juurisyyt täytyy todistaa uudelleen faktoilla ja datalla, koska pelkkä yhdestä syystä päättäminen ei riitä. Asiakkaaseen keskittyminen, vanhoista tavoista luopuminen, riskin johtaminen, tulosten mittaaminen ja muutoksen ylläpitäminen ovat myös DMAIC–prosessin etuja. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 43–44.)

#### 3.4.1 Määrittelyvaihe (Define)

Nimi DMAIC tulee englanninkielisistä sanoista define, measurement, analysis, improvement ja control eli määrittele, mittaa, analysoi, paranna ja ohjaa. Prosessi alkaa määrittelyvaiheesta, jossa ongelma ja asiakasvaatimukset määritellään. Näiden avulla voidaan selvittää projektin tarkoitus ja laajuus. Määrittelyvaiheessa asiakkaasta ja parannettavasta prosessista kerätään taustatietoa. Käsiteltäessä Liiketoimintaongelmia uudesta suunnasta tulee tässä vaiheessa esittää tiettyjä kysymyksiä, jotta projekti ei ajaudu väärälle perinteiselle uralle. Välttämättömiä kysymyksiä tässä vaiheessa ovat:

- Minkä asian parissa työskentelemme?



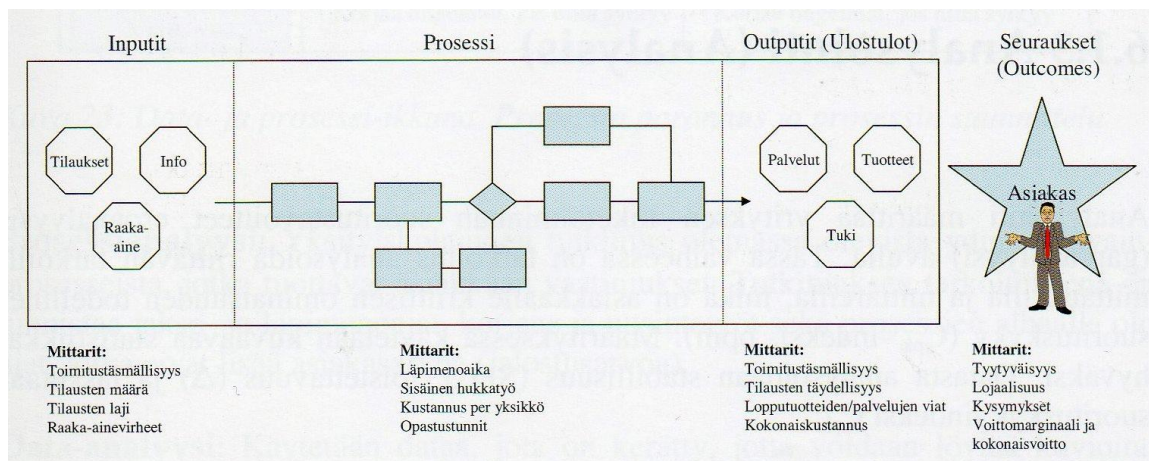
- Miksi työskentelemme tämän tietyn ongelman kimpussa?
- Kuka on asiakas?
- Mitkä ovat asiakkaan vaatimukset?
- Miten työ tai asia tällä hetkellä hoidetaan?
- Mitkä ovat parannuksen hyödyt?

Määrittelyvaiheessa johtoryhmä muotoilee yhdessä parannustiimin kanssa ongelman selkeäksi, arvioi kannattavuuden sekä resurssi- ja aikatauluttaa projektin. Tämän vaiheen tavoitteena on saada aikaan selkeä tavoite asetetun parannuksen saavuttamiseksi, kuvaus jalostusarvon muodostumisesta (SIPOC) sekä lista asioista, jotka ovat tärkeitä asiakastyytyvyydelle sekä kriittisiä toimitusajan, laadun ja kustannusten osalta. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 46.)

### **3.4.2 Mittaus (Measurement)**

Määrittelyvaiheen jälkeen tulee mittaus, joka käynnistää varsinaisen ongelmanratkaisun. Tässä vaiheessa valitaan yksi tai useampia kriittisiä tuoteominaisuuksia esimerkiksi QFD:n, SPC:n, FMEA:n tai muiden tilastollisten laatumenetelmien avulla. Ongelmasta tai mahdollisuudesta kerätään informaatiota, jonka avulla ongelman olemassaolo todennetaan. Tämä johtaa usein määrittelyvaiheessa asetettujen tavoitteiden hienosäätöön. Mittausvaiheessa alkaa ongelman tai mahdollisuuden ydin- ja juurisyiden etsintä ja projektitiimi tekee datankeräyssuunnitelman. Mittausvaiheen yhtenä tavoitteena on varmistaa mittauksien luotettavuus. Mittauksen on pystyttävä havaitsemaan prosessista kuusi sigmaa, johon tässä vaiheessa keskitytään. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 47.)

Prosessissa on mittauksille kolme pääkategoriaa, jotka ovat input, prosessi ja output (KUVIO 4). Asioita, jotka tulevat prosessiin sisään kutsutaan inputeiksi. Nämä asiat muuttavat ulostuloa ja huonot inputit voivat olla syynä huonoon ulostuloon. Input – mittaukset siis auttavat myös mahdollisen ongelman syiden tunnistamisessa. Prosessissa on asioita, joita voidaan mitata ja jäljittää. Nämä asiat auttavat ongelman syiden havaitsemisessa. Outputissa voidaan mitata itse ulostuloa tai seurausta. Ulostulon mittaus keskittyy välittömiin tuloksiin, kuten kuljetuksiin, vikoihin ja valituksiin. Seurauksia mittaamalla saadaan selville pitkäaikaisia vaikutuksia, joita ovat esimerkiksi tuotto ja tyytyväisyys. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 47–48.)



KUVIO 4. Prosessin kolme pääkategoriaa mittauksille (Karjalainen & Karjalainen 2008, 47).

Mittausvaiheen tuloksena syntyy dataa lähtötilanteesta sekä sellaiset datasta tehdyt käyrät, jotka kuvaavat tämän hetkisen tilanteen ja alustavat suorituskykymääräykset asiakkaalle. Lisäksi saadaan ongelmaa rajaavaa tai sen yleisyyttä ja laajuutta kuvaavaa dataa sekä varmistukset suorituskyvyn mittauksista. Ongelmaa edelleen rajaamalla se saadaan muutettua tilastolliseksi ongelmaksi. Kaikki nämä asiat ovat perustana seuraavalle vaiheelle eli analysoinnille. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 48.)

### 3.4.3 Analysointi (Analysis)

DMAIC –prosessin kolmas vaihe on analysointi. Tässä vaiheessa analysoidaan asiakkaalle kriittisen ominaisuuden todellista suorituskykyä tarkoilla mittauksilla ja mittareilla. Datasta analysoidaan toistettavuus ja vakaus sekä lasketaan suorituskykyindeksi. Analyysivaiheen tarkoituksena on luoda teoria eli hypoteesi, jota vahvistetaan tai joka kumotaan datalla ja tilastollisilla analyyseillä. Analyysivaiheesta syntyy kaksi ratkaisuiikkunaa, prosessi- ja dataikkuna. Näistä jälkimmäinen avaa näkökulman datamaailmaan, prosessiarvoihin ja tilastolliseen hypoteesitestaukseen. Prosessi-ikkunassa tarkastellaan prosessia, jalostusarvon muodostumista, kaavioita sekä pullonkauloja. Analyysivaiheen tuloksena siis saadaan hypoteesi siitä, mistä ongelmat johtuivat tai miten mahdollisuuteen päästään. Toisena tuloksena tulee hypoteesi, joka on vahvistettu datalla. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 48–51.)

### **3.4.4 Parannus ja optimointi (Improvement)**

Prosessin neljännessä vaiheessa, parannus ja optimointi, kokeillaan ja sovelletaan niitä ratkaisuja, joita ydin- ja juurisyys osoittivat mittaus- ja analyysivaiheessa. Parannusvaiheen työkaluja ovat screening-kokeet (haravointi- ja Taguchi -kokeet), karakterisointikokeet sekä optimointikokeet. Päätyökaluna tässä vaiheessa käytetään koesuunnittelua (Taguchi, DoE), jonka avulla optimointi tapahtuu ja vaihtelu pienenee. Parannusvaiheen jälkeen suunnitelmat ja testatut toimenpiteet ovat selvillä ja näiden avulla ongelman tulisi ratketa. Lisäksi selvillä on suunnitelma siitä, miten saavutettuja tuloksia voidaan seuraavassa vaiheessa arvioida. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 51–52.)

### **3.4.5 Ohjaus ja valvonta (Control)**

Ohjausvaiheessa sovelletaan parannusvaiheessa löydettyjä ja testattuja ratkaisuja. Ohjauksen ja valvonnan tavoitteena on arvioida löydettyjä ratkaisuja sekä kehittää suunnitelmat saavutettujen tulosten ylläpitämiseksi. Tässä vaiheessa myös prosessijohtamisen menetelmät ja laatu järjestelmät luodaan sekä otetaan käyttöön. Lisäksi ohjausvaiheessa luodaan uudet suuntaviivat tuleville jatkuvan parantamisen askelille. DMAIC-prosessin viimeisen vaiheen tuloksena saadaan tulosanalyysi, prosessin monitorointi ja seurantajärjestelmät, dokumentit tuloksista, saadut opit, suositukset, päivitetty johtamisjärjestelmä ja muutokset laatu järjestelmään sekä päivitetty riskianalyysi ja FMEA. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 52–53.)

## **3.5 Koesuunnittelu (Design of experiments, DOE)**

DMAIC-prosessin parannusvaiheen päätyökaluna on koesuunnittelu, jonka avulla voidaan tutkia tehokkaasti useiden prosessin muuttujien ja ulostulojen välisiä syy-seuraussuhteita. Koesuunnittelu soveltuu lähes joka alalle, mutta eniten sitä käytetään teollisuudessa ja palvelusektorilla. Oikein käytettynä koesuunnittelu antaa vastauksia systeemin toiminnan kannalta erityisiin kysymyksiin. Lisäksi vastaus etsittyyn kysymykseen saadaan ilman mittavaa ajan ja resurssien käyttöä. Koesuunnittelussa on tärkeää, että kokeet suunnitellaan yhtä huolellisesti kuin itse toteutus tehdään. Huolellinen koesuunnittelu johtaa ratkaisuun nopeammin sekä antaa parempia tuloksia. Koesuunnittelun avulla kokeita voi suorittaa suuren määrän ilman lukuisia testiajoja, sillä prosessista opitaan paljon yhtäaikaaisesti.

Kokeiden avulla voidaan nopeasti selvittää ulostuloon eniten vaikuttavat tekijät. (Karjalainen 2007; Quality Knowhow Karjalainen Oy 2014; Mathews 2004, 94.)

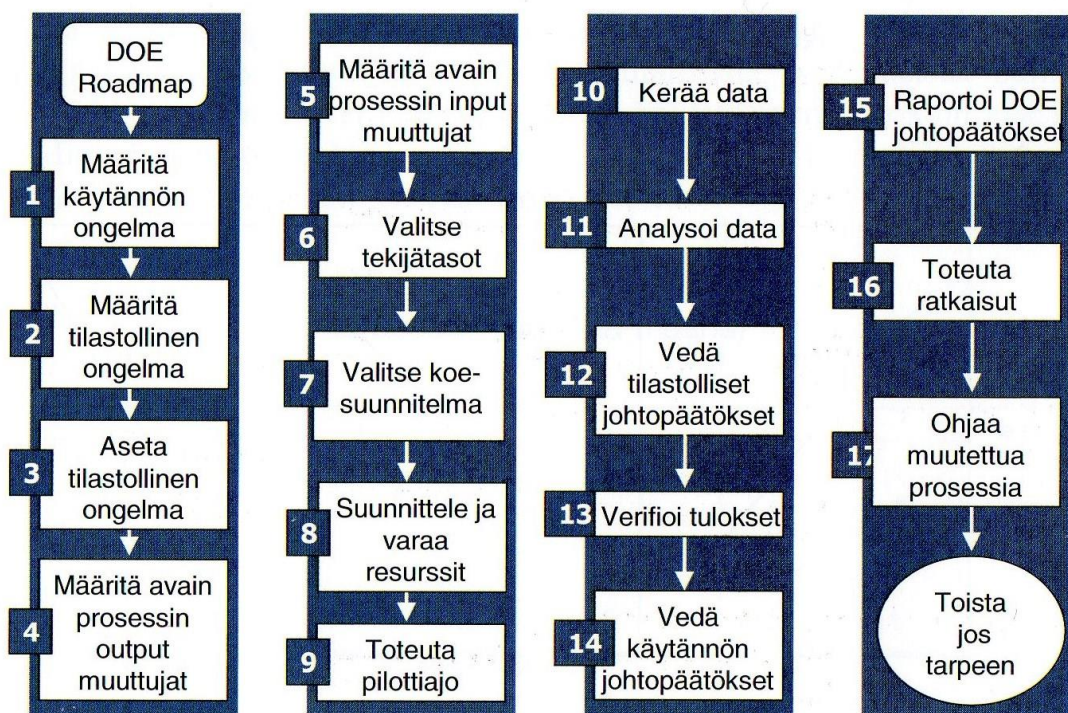
Kokeet jaetaan tyypillisesti neljään kategoriaan, jotka ovat yksimuuttujakokeet (OFAT), haravointikokeet (screening), karakterisointikokeet sekä optimointikokeet. Näistä optimointikokeet tuottavat tehokkainta dataa, mutta nämä ovat myös yleensä suurempia, monimutkaisempia ja kalliimpia kokeita. Hyvin usein haravointikokeet ovat riittäviä ja ne ovat perinteistä yksimuuttujakoetta huomattavasti tehokkaampia. Haravointikokeilla saadaan nopeasti ja suhteellisen edullisesti selville ne tekijät, jotka eniten vaikuttavat ulostuloon. Näiden kokeiden avulla saadaan jo paljon uutta tietoa tutkittavasta prosessista, mutta jos haetaan prosessin optimi toimintakohtaa, niin monimutkaisemmat optimointikokeet ovat parempia. (Karjalainen 2007.)

Suunnitteluun perustuvissa DOE–kokeissa suunnitellaan etukäteen, miten prosessia ajetaan tai miten systeemiä tullaan muuttamaan tutkimuksen aikana. Koeajot suoritetaan näiden suunnitelmien tai matriisien mukaisesti. Prosessin muuttujien tasoja vaihdellaan tehdyn suunnitelman mukaisesti ja koeajon eri tekijöiden yhdistelmistä syntynyt ulostulo mitataan. Koematriisien luonnissa ja analysoinnissa voidaan käyttää apuna eri tietokoneohjelmistoja, kuten MINITAB. Tämä ohjelma tarjoaa paljon erilaisia koematriiseja ja se mahdollistaa 2–47 tekijän tutkimisen. MINITAB–ohjelman avulla voidaan tehdä esimerkiksi ortogonaalimatriisi (KUVIO 5), josta nähdään suoraan miten koe tulisi suorittaa tietyllä muuttujamäärällä. Suunnittelussa kokeessa voidaan analysoitaessa matriisien avulla poistaa tekijöiden keskinäisriippuvuuksia. (Karjalainen 2007.)

		Tutkittavat tekijät										Tutkittava kohde	
Ortogonaalimatriisi	Ajo	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	Ulostulo
	1	2	34	10	70	1	75	530	400	50	30	80	x
	2	2	20	14	70	1	95	530	360	40	30	100	x
	3	1	34	10	44	1	95	630	400	40	30	100	x
	4	2	34	14	44	2	95	530	400	40	25	80	x
	5	2	20	14	44	1	75	630	400	50	25	100	x
	6	1	20	10	70	2	95	530	400	50	25	100	x
	7	1	20	10	44	1	75	530	360	40	25	80	x
	8	1	34	14	70	1	95	630	360	50	25	80	x
	9	2	20	10	44	2	95	630	360	50	30	80	x
	10	1	20	14	70	2	75	630	400	40	30	80	x
	11	1	34	14	44	2	75	530	360	50	30	100	x
	12	2	34	10	70	2	75	630	360	40	25	100	x

KUVIO 5. Ortogonaalimatriisi (Karjalainen 2007)

Koesuunnittelussa käytettävät tekijät, joiden vaihtelu tai ohjaus mahdollisesti vaikuttaa prosessiin ulostuloon, voidaan löytää esimerkiksi prosessikuvauksesta, kalanruotokaaviosta tai aivoriihitekniikalla. Koesuunnittelu etenee systemaattisesti askel askeleelta (KUVIO 6) ja näitä vaiheita seuraamalla voi varmistaa, että kaikki asiat tulee hoidettua. Koesuunnittelun askeleet perustuvat kahdeksaan keskeiseen vaiheeseen: ongelma-kohteen määrittely, tavoitteen määrittely, ohjaus- ja häiriötekijöiden ja tasojen määrittely, kokeen suunnittelu, kokeiden suoritus ja datan kerääminen, datan analysointi, tuloksen tulkinta ja optimin valinta sekä tarkistuskoe. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 163; Karjalainen 1992, 53–54.)



KUVIO 6. DOE Roadmap (Karjalainen & Karjalainen 2008, 165)

### 3.6 Six Sigman keskeisiä työkaluja

Six Sigma menetelmässä on lähemmäs kaksi sataa erilaista työvälinettä, jotka vaativat opettelua. Osa apuvälineistä on laadunhallinnan perustyökaluja ja osa on vaativampia, laajaa tilastomatemattista osaamista tarvitsevia työkaluja. Vaativampien apuvälineiden käytön helpottamiseksi on olemassa valmisohjelmistoja. Keskeisimpiä Six Sigman työkaluja ovat syy- ja seurauskaavio, perusstatiikka, sigma-arvot, mittaussysteemin analysointi (MSA), prosessin kyvykkyys, graafiset analyysit, multi-vari –kortit, korrelaatio

ja regressio, koesuunnittelu (DoE), vika- ja vaikutusanalyysi (FMEA), ohjauskortit (SPC) sekä ohjaussuunnitelmat (Control Plan). (Leclin & Laine 2009, 286; Karjalainen & Karjalainen 2008, 130–176).

Six Sigman työkalut voidaan lajitella viiteen luokkaan. Nämä ovat informaation organisointiin sekä ideoiden luontiin tarvittavat työkalut, datan keräämiseen tarvittavat työkalut, datan ja prosessin analysointiin tarvittavat työkalut, tilastolliseen analyysiin sekä viidentenä prosessin johtamiseen ja ratkaisun johtamiseen tarvittavat työkalut. Oikean työkalun valinta oikeaan aikaan on erittäin vaikeaa. DMAIC–prosessi kuitenkin asettaa työkalut oikeaan järjestykseen, sillä niiden on vahvistettava toisiaan ja tuotava ongelman ydinsyy esille. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 55.)

Määrittelyvaiheen työkaluja ovat projektin määrittelylomake, SIPOC, osakasanalyysi, läpivyoitety saanto (Rolled Throughput Yield, RTY), asiakkaan ääni (Voice of the Customer, VOC), Affinity diagrammi, aivoriihi, Kano-malli sekä Critical-to-Quality (CTQ) –puu. Mittausvaiheen työkaluja ovat datan keräyssuunnitelma, datan keräyslomakkeet, ohjauskortit, frekvenssikulvat, Gage R&R, Pareto-kaavio, priorisointimatriisit, FMEA, prosessin kyvykkyys, prosessin sigman määrittäminen, näytteenotto, stratifiointi sekä aikasarjat. Analyysivaiheen työkaluja ovat Affinity diagrammi, aivoriihiyöskentely, syy-seurausdiagrammi, ohjauskortit ja trendikortit, histogrammi ja/tai frekvenssikulvat, datan keräyslomakkeet, datan keräyssuunnitelmat, vuokaaviot, hypoteesitestaus, Pareto-kaavio, regressioanalyysi, vastepintamenetelmä, näytteenotto, hajontakuvat sekä korrelaatio- ja regressioanalyysit. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 92, 125–126.)

Parannusvaiheessa on yksitoista työkalua: aivoriihiyöskentely, luovat tekniikat, datan keräys, koesuunnittelu, vuokaaviot, FMEA, hypoteesitestaus, suunnittelutyökalut, osakasanalyysi, simulointi sekä mallinnus. Viimeisessä vaiheessa, ohjaus, on myös yksitoista työkalua: ohjauskortit, datan keräyssuunnitelmat, vuokaaviot, vertailukuvat, laadun ohjauksen prosessikaavio, standardisointi, toleranssisuunnittelu, virheen estimet, laatu järjestelmät, Lean-tuotanto sekä ohjaussuunnitelma. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 127.)

### 3.7 Six Sigman hyödyt yritykselle

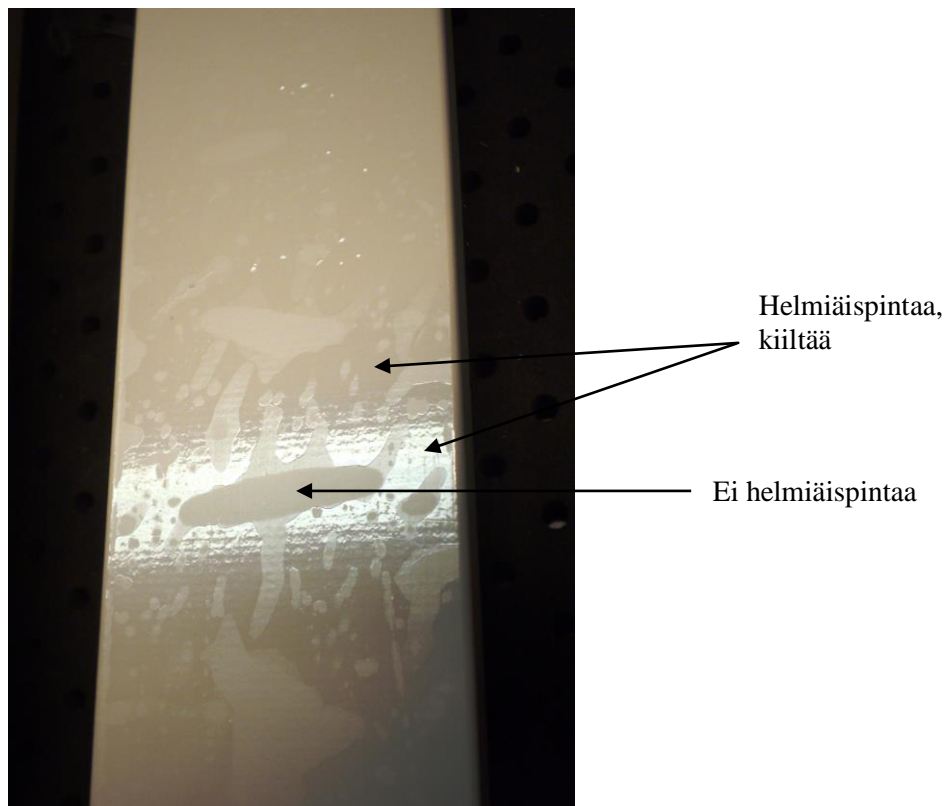
Six Sigmassa ongelman syntyyn perehdytään MAIC-prosessin avulla, jossa perehdytään koko prosessiin ja haetaan ratkaisuja sitä kautta. Yrityksissä on totuttu ratkaisemaan liiketoimintaongelmia niin sanotusti yhdellä laukauksella ja löytämään ratkaisuja ongelmiin, jotka näyttävät hyvin ilmeisiltä. Lukuja tarkastelemalla huomataan kuitenkin, että tämä lähestymistapa ei tuota toivottuja tuloksia. Tohtori W. Edwards Deming onkin todennut kirjassaan, että vain 5 % yrityksen johdon tekemistä muutoksista johtaa parannukseen ja 95 % epäonnistuu. Ne yritykset, jotka ovat oivaltaneet systeemin parannuksen vaativan erityistä osaamista sekä hankkineet apua satunnaisen syyn ongelman ratkaisemiseen, ovat myös saavuttaneet huomattavia tuloksia. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 12–13.)

Satunnaisen syyn ongelmaan on osattava löytää syyt vaikka ilmeisiä syitä ei ole. Black Belt –tiimit ovat erikoistuneet syiden löytämiseen ja sen avulla on saavutettu myös huikaita tuloksia. Esimerkiksi General Electric on hyödyntänyt Six sigma –menetelmää ja on saavuttanut sen avulla miljoonien dollarien säästöjä. Vuosina 1996–1997 yrityksessä toteutettiin 9000 Six Sigma –projektia ja näiden avulla saavutettiin 350 miljoonan dollarin säästöt. Säästöt nousivat vuonna 1998 750 miljoonaan dollariin ja vuotta myöhemmin 1,5 miljardiin dollariin. Lisäksi GE:n kate nousi vuosien 1996–2000 aikana 14,8 %:iin. Six Sigma –menetelmän toimivuudesta on siis selkeitä todisteita. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 13, 29.)

Jokainen Six Sigmaa oikein soveltanut yritys, jonka sigma-luku on parantunut yhdellä sigma-yksiköllä, on saavuttanut kuukausittaiseen liikevoittoon 20 %:n kasvun. Six Sigmaa käyttävät yritykset pystyvät ilman resurssilisäyksiä lisäämään kapasiteettiaan 12–18 %. Myös työvoimatarvetta kyetään vähentämään 12 % ja pääomatarvetta 10–30 % Six Sigma –yrityksissä. Six Sigmalla saavutetuista tuloksista löytyy paljon tietoa eri lähteistä. Erityisesti maailmanlaajuisesti toimivien yritysten saavuttamia tuloksia voi löytää useasta eri lähteestä ja heillä myös tulokset ovat erinomaisia. Suomessa Six Sigma on projektiluoneista ja tulokset ovat olleet hyvin vertailukelpoisia kansainvälisiin projekteihin nähden. Yksi Six Sigma –projekti tuottaa keskimäärin 100 000–200 000 euroa. (Karjalainen & Karjalainen 2008, 29–30.)

#### 4 TUTKIMUSTYÖN TOTEUTUS

Tutkimuksen aiheena oli selvittää, miten eri olosuhdetekijät vaikuttavat ikkunan sisäpuitteen pinnanlaatuun. Ikkunan sisäpuitteeseen syntyy toisinaan varastoinnin ja rakentamisen aikana helmiäispinta, minkä vuoksi puitteita joudutaan maalaamaan uudelleen ja yritykselle syntyy lisäkustannuksia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitkä tekijät aiheuttavat helmiäispinnan esiintymistä ja saada poissuljettua tekijät, jotka eivät sen syntyyn vaikuta. Tutkimusmenetelminä olivat rakennustyömaalla toteutettu seuranta ja erilaiset olosuhdekokeet, jotka toteutettiin yhteistyössä Centria tutkimus ja kehityksen kanssa. Kuviossa 7 näkyy olosuhdetesteissä aikaansaatu helmiäispinta. Rakennustyömailla havaittu helmiäispinta on kuvion pintaa huomattavasti lievempi.



KUVIO 7. Selkeä helmiäispinta

Opinnäytetyön käytännön osuus etenee DMAIC-ongelmanratkaisumallin mukaisesti. Sen avulla perehdytään ikkunoiden valmistusprosessiin ja etsitään sitä kautta helmiäispinnan syntyyn mahdollisesti vaikuttavat tekijät. DMAIC-prosessi etenee, siten että suuresta muuttujien joukosta karsiutuu vaihe vaiheelta merkityksettömät tekijät pois ja jäljelle



jäävät vain ne tekijät, joilla on merkitystä ongelman synnyssä. Jäljelle jäävistä vaikuttavista tekijöistä tehdään koesuunnitelman avulla ehdotus jatkotutkimukselle, jonka avulla ongelman syntyyn voidaan perehtyä vielä tarkemmin. Tutkimustyön toteutusta DMAIC-prosessin mukaisesti käsitellään kappaleessa 5.

Opinnäytetyön käytännön osuus jakautuu kahteen osaan: kenttätutkimukseen ja laboratoriotutkimukseen. Kenttätutkimuksen avulla kerätään dataa varastoinnin ja rakentamisen aikaisista olosuhteista, koska yrityksellä ei ole näitä tietoja kerättyinä. Laboratoriokokeissa tehtiin testejä eri muuttujilla ja seurattiin niiden vaikutusta helmiäispinnan syntyyn.

#### **4.1 Kenttätutkimuksen toteutus**

Kenttätutkimus toteutetaan rakennustyömaalla tehtävän seurannan avulla. Seuranta sijoittuu pitkälle aikavälille, noin 12 kk, joten kenttätutkimuksen lopulliset tulokset eivät ehdi mukaan opinnäytetyön raporttiin. Ikkunat ovat rakennustyömaalla noin vuoden ajan ja tänä aikana ne kohtaavat monenlaisia olosuhteita, joita tutkimuksessa on tarkoitus seurata sekä selvittää niiden vaikutusta helmiäispinnan syntyyn.

Rakennustyömaalla tehtävän seurannan avulla tarkkaillaan kosteutta, lämpötilaa ja ikkunoiden sijaintia lavalla sekä tehdään viikoittaisten seurantakäyntien yhteydessä visuaalista tarkastelua. Ikkunoiden ja suojamuovin väliin syntyvästä kosteudesta halutaan selvittää sen määrä ja vaikutus. Kosteutta mitataan ikkunan sisäpuitteen pintaan asennettavilla antureilla (KUVIO 9; KUVIO 10) ja kosteustieto käydään lukemassa paikan päällä kerran viikossa. Kosteuden seurannassa tutkitaan, miten paljon kosteutta syntyy, kestääkö maalipinta syntyvän kosteuden sekä tarttuuko suojamuovi kosteuden vuoksi sisäpuitteen pintaan. Lämpötilaa seurattaessa halutaan selvittää raja-arvot: mikä on alin ja mikä ylin lämpötila, jonka ikkuna joutuu kohtaamaan. Lämpötilaa mitataan samoilla antureilla kuin kosteutta ja data luetaan kerran viikossa. Lämpötilan tarkkailussa on tärkeää saada selville, minkälaisia lämpötilaeroja ikkuna kohtaa, onko äkillisiä lämpötilan muutoksia ja miten ne vaikuttavat. Lisäksi tarkkaillaan, miten lämpötila ja kosteus yhdessä vaikuttavat.

Visuaalisen tarkastelun avulla seurataan muutoksien tapahtumista. Kerran viikossa tapahtuvassa seurannassa tarkastellaan ikkunan sisäpuitteita silmämääräisesti ja tutkitaan onko havaittavia muutoksia tapahtunut. Huomionarvoisia asioita ovat muovin tarttuminen sisäpuitteeseen sekä helmiäispinta. Ikkunoiden sijainnin tarkkailulla halutaan seurata UV-valon vaikutusta. Jos helmiäispinta syntyy aina pakkauksen ensimmäiseen ikkunaan, joka on eniten alttiina UV-valolle, niin voidaan olettaa, että UV-valolla on jotain vaikutusta. UV-valon vaikutuksen seuraaminen toteutetaan tarramerkinnoillä. Tarroilla osoitetaan selkeästi se, onko ikkuna lavan ensimmäinen vai keskimmäinen.

Varastoinnin ja rakentamisen aikaisten olosuhteiden seurantaan valittiin mittausalueen, mittatarkkuuden ja toistettavuuden perusteella kaksi kappaletta Elkomen EL-USB-2+ -kosteus ja lämpötila dataloggeria (KUVIO 9) sekä yksi kappale EL-USB-2-LCD+ -kosteus ja lämpötila dataloggeria LCD-näytöllä (KUVIO 10). Anturit asennettiin ylimmän kerroksen ikkunoihin eri ilmansuuntiin. Lisäksi ikkunat otettiin eri lavojen eri kohdista, jotta mahdollista UV-valon vaikutusta voitaisiin seurata.



KUVIO 9. EL-USB-2+ dataloggeri



KUVIO 10. EL-USB-2-LCD+ dataloggeri

Kosteus- ja lämpötilatietoa mittaavat anturit asennettiin elementtitehtaalla ikkunoiden pintaan suojamuovin väliin. Anturit ovat ylimmän kerroksen ikkunoissa eri ilmansuunnissa. Ikkunaelementit olivat kesän ajan varastossa elementtitehtaalla ja syksyllä elementtien asennuksen jälkeen aloitettiin viikoittaiset seurantakäynnit rakennustyömaalla. Elementtitehtaalla tehtiin myös tarramerkinnot, joista selviää, mistä kohtaa lavalta ikkunat on otettu. Anturit ovat ikkunoissa siihen asti, kunnes suojamuovit voidaan poistaa ikkunoiden päältä ja nähdään, onko helmiäispintaa syntynyt. Lämpötila- ja kosteustiedot saadaan siis koko rakentamisprosessin ajalta eli varastoinnista rakennuksen valmistumiseen asti.

#### 4.2 Laboratoriokokeiden toteutus

Laboratoriokokeet toteutettiin Centrian laboratorioissa kahdella eri koekaapilla. Kokeissa käytettiin olosuhdekaappia, jossa voidaan testata eri lämpötilojen ja kosteuksien vaikutusta sekä QUV-kaappia, jolla voidaan tehdä testejä UV-valolla ja kondensaatiolla. Laboratoriokokeiden tarkoituksena oli tehdä testejä eri muuttujilla, jotka mahdollisesti aiheuttavat helmiäispinnan syntyä ja saada poissuljettua tekijät, jotka eivät sen syntyyn

vaikuta. Laboratoriokokeita tehtiin seitsemän kappaletta, joista viisi testiä tehtiin olosuhdekaapissa ja kaksi QUV-kaapissa.

Laboratoriokokeissa testattavia muuttujia oli 5 kappaletta. Kyseiset muuttujat valittiin 33 muuttujan joukosta hyödyntäen kalanruotokaavio ja riskianalyysi –menetelmiä sekä keskustelemalla tutkimuksessa mukana olleiden kanssa. Laboratoriokokeissa testattavat muuttujat olivat kosteus, lämpötila, UV-valo, sisäpuitteen maali ja suojamuovi. Muuttujien valintaa käsitellään kappaleessa 5.

#### **4.2.1 Testikappaleiden teko**

Kaikki testikappaleet tehtiin Eskopuulla ja tehtaalta otettiin myös kappaleiden teon aikana ylös eri tietoja: tehtaan lämpötila ja kosteus maalausprosessin eri vaiheissa, uunien lämpötilat ja kosteudet kolmesta eri kohtaa, puun kosteusprosentti, maalipinnan kalvonpaksuudet, maalin lämpötila ja testikappaleiden kuivumisajat. Jokaisessa testissä käytettiin kahta eri maalia, joten tehtaalla puolet testikappaleista maalattiin AkzoNobelin maalilla ja puolet Teknoksen maalilla. Olosuhdekokeen kappaleilla toinen maalaus tehtiin joka kerta linjalla sen mukaan kumpi maaleista sillä hetkellä oli käytössä ja puolet kappaleista maalattiin käsiruiskulla eri maalilla. QUV-kaapin kaikki testikappaleet maalattiin linjalla ja kuivumisen jälkeen kappaleet katkaistiin pienemmiksi, koska QUV-kaappiin sopii vain tietyn kokoiset kappaleet.

QUV-kaapissa testattavat kappaleet tehtiin kahdessa erässä ja kappaleet saivat kuivua muutaman viikon ennen testien aloittamista. Ensimmäinen erä maalattiin AkzoNobelin maalilla ja toinen erä Teknoksen maalilla. Maalausprossin aikaiset olosuhteet otettiin tehtaalla ylös ja testikappaleisiin merkattiin puun kosteusprosentti. Testikappaleiden kuivumisajat olivat AkzoNobelin maalilla maalatuilla kappaleilla kolme viikkoa ja Teknoksen maalilla maalatuilla kappaleilla kaksi viikkoa. Olosuhdekokeisiin kappaleet tehtiin Eskopuulla aamupäivällä ja laitettiin testiin heti kappaleiden valmistuttua.



KUVIO 11. QUV-testin testikappale



KUVIO 12. Olosuhdetestin testikappale

#### 4.2.2 Olosuhdetestit

Olosuhdetestit toteutettiin syyskuun ja joulukuun välisenä aikana. Yhden testin testiaika oli yksi viikko ja testeissä oli yhtä aikaa 30 kappaletta. Olosuhdetesteissä kokeita tehtiin kahdella eri maalilla, kahdella eri muovilla, lämpötilalla ja kosteudella. Testeissä maaleilla ja muoveilla tehtiin erilaisia variaatioita ja nämä testikappaleet laitettiin viikoksi olosuhdekaappiin (KUVIO 13), jolla ajettiin joka testissä eri lämpötila- ja kosteusalueita. Jokaisessa testissä yhtä variaatiota oli viisi kappaletta, jotta tulokset olisivat varmempia. Testiviikon aikana tehtiin muutamia seurantoja, jolloin kappaleet käytiin läpi ja seurattiin muutoksien tapahtumista. Muovien kiinnitykset pyrittiin tekemään niin kuin ne normaalisti tehtaalla tehdään, jotta tilanne olisi mahdollisimman todenmukainen.

Olosuhdetestejä toteutettaessa täytyi ottaa huomioon testikaapin tietyt rajoitukset, kuten se että kosteus on säädettävissä lämpötiloissa 25–85 ja muissa lämpötiloissa kosteutta on sen verran kuin sitä syntyy. Hyvin rajut lämpötilan ja kosteuden muutokset myös aiheuttavat kaapille ongelmia, joten muutokset täytyy tehdä tarpeeksi pitkällä aikavälillä. Lisäksi lämpötilan ja kosteuden muuttaminen yhtä aikaa esimerkiksi siten, että lämpötila nousee tasaisesti ja samalla kosteus laskee, ei ollut mahdollista viikon testiajalla.



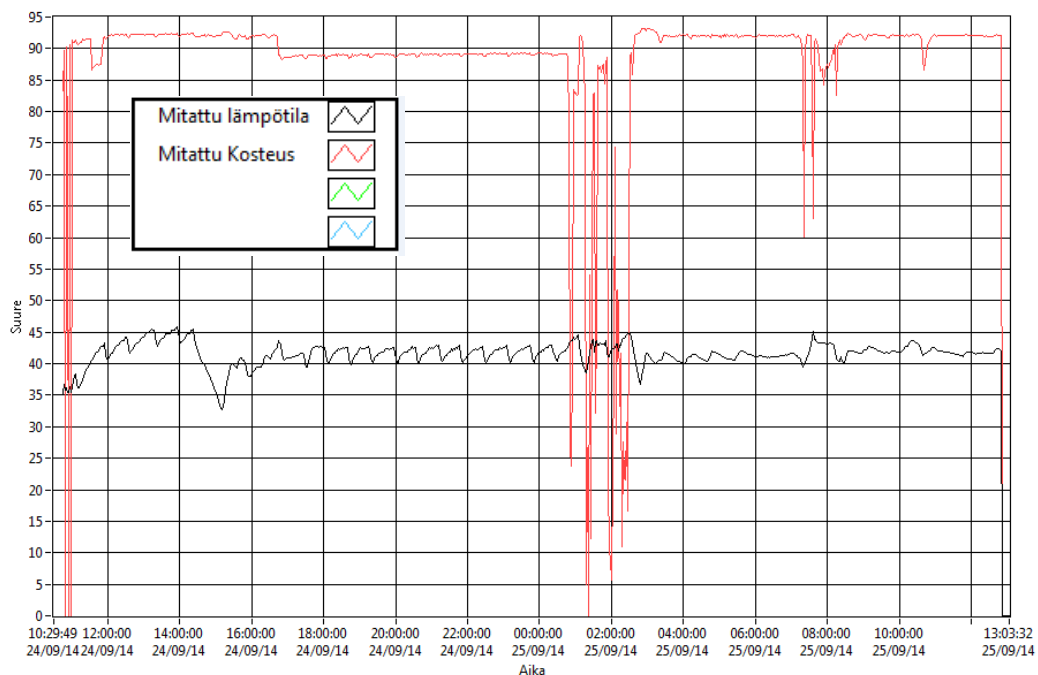
KUVIO 13. Testikappaleet olosuhdekaapissa

Ensimmäisessä olosuhdetestissä maaleilla ja muoveilla tehtiin kahdeksan erilaista variaatiota:

- Teknoksen maali
- Teknoksen maali + kirkas muovi
- Teknoksen maali + mattapintainen muovi
- Teknoksen maali + kierrätysmuovi
- AkzoNobelin maali
- AkzoNobelin maali + kirkas muovi
- AkzoNobelin maali + mattapintainen muovi
- AkzoNobelin maali + kierrätysmuovi

Ensimmäisessä testissä oli mukana myös vähän kierrätysmuovia. Sitä oli tarkoitus ottaa mukaan jokaiseen testiin, mutta muovia riitti vain ensimmäisen testin kahteen kappaleeseen. Ensimmäisessä olosuhdekokeessa seurattiin lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutusta ikkunan sisäpuutteen pinnanlaatuun. Testiviikon aikana oli tarkoitus ajaa lämpötila  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een ja ottaa myös kosteus mukaan  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa. Olosuhdekaapissa ilmeni kuitenkin ongelmia testiviikon aikana, joten lopulta testi ajettiin taulukon 1 mukaisesti. Alkutestin ajan kappaleet olivat  $-35\text{--}21\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa ja suhteellinen kosteus oli noussut 21 %.

TAULUKKO 1. Ensimmäisen olosuhdetestin ajokäyrä

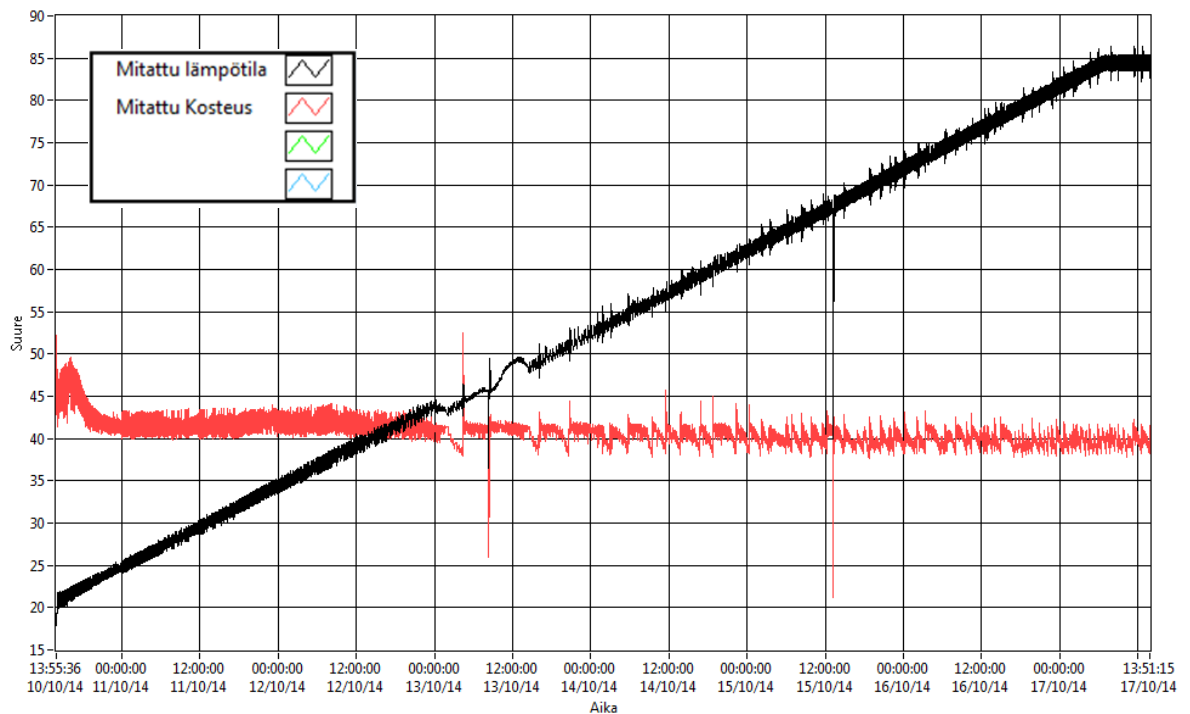


Toisessa olosuhdekokeessa testikappaleille tehtiin kuusi erilaista variaatiota:

- Teknoksen maali
- Teknoksen maali + kirkas muovi
- Teknoksen maali + mattapintainen muovi
- AkzoNobelin maali
- AkzoNobelin maali + kirkas muovi
- AkzoNobelin maali + mattapintainen muovi

Toisessa olosuhdekokeessa seurattiin lämpötilan vaikutusta helmiäispinnan syntyyn. Suhteellinen kosteus pysyi koko viikon vakiona 40 %:ssa ja lämpötila nousi viikon aikana tasaisesti 20 °C:sta 80 °C:een (TAULUKKO 2).

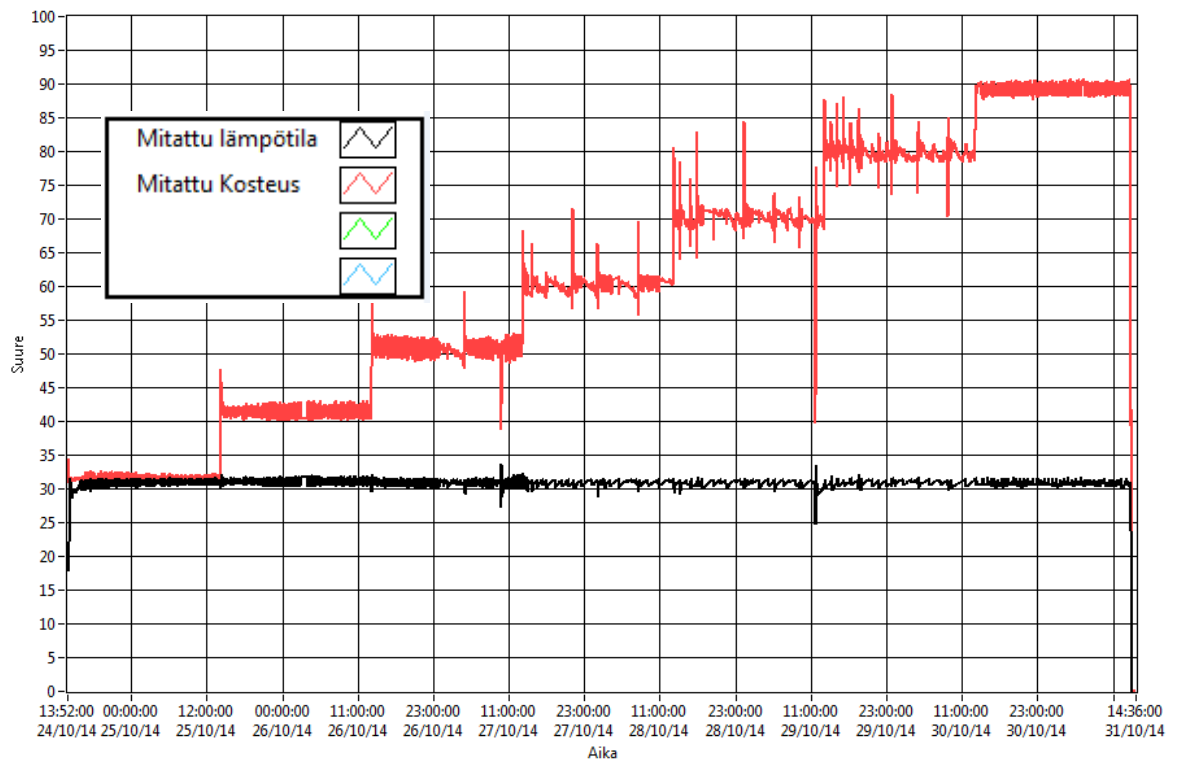
TAULUKKO 2. Toisen olosuhdetestin ajokäyrä



Kolmannessa olosuhdetestissä seurattiin kosteuden vaikutusta helmiäispinnan syntyyn. Lämpötila pysyi koko testiviikon ajan vakiona 30 °C:ssa ja suhteellinen kosteus nousi viikon aikana portaittain 30 %:sta 93 %:iin (TAULUKKO 3). Kolmannessa olosuhdetestissä testikappaleille tehtiin samat variaatiot kuin toisessa olosuhdetestissä



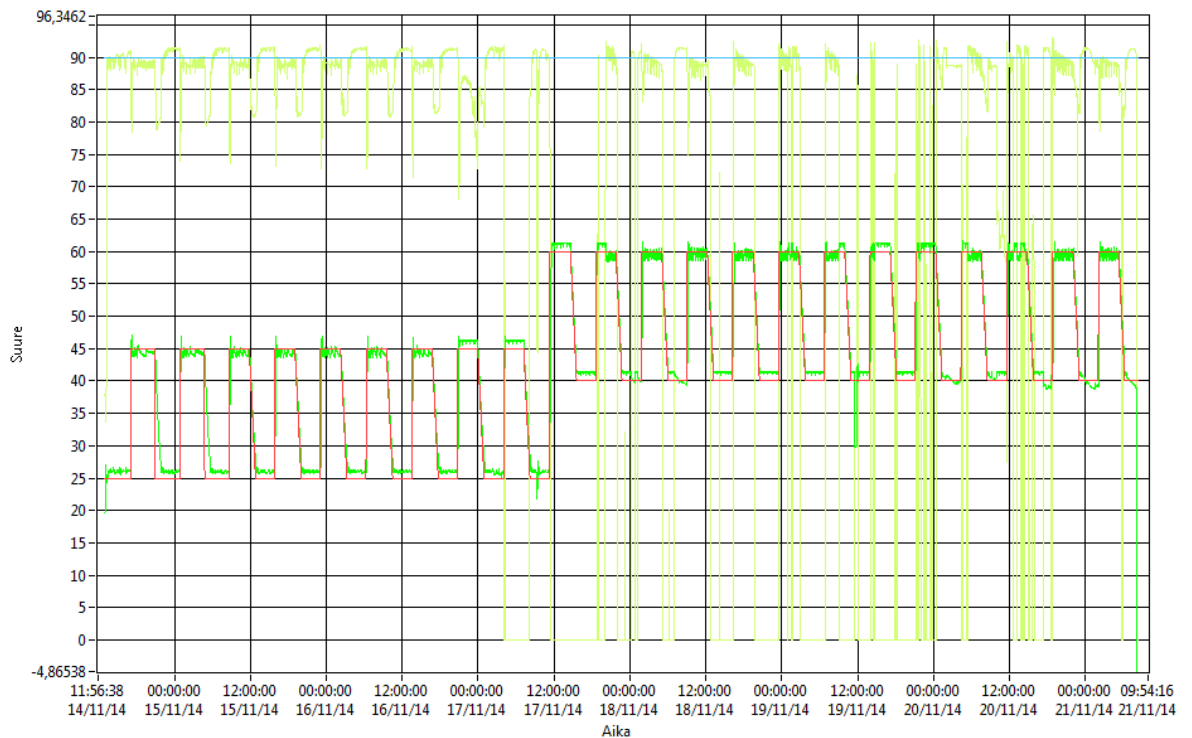
TAULUKKO 3. Kolmannen olosuhdetestin ajokäyrä



Neljännessä olosuhdetestissä testattiin, miten lämpötilan vuorokausivaihtelu vaikuttaa helmiäispinnan syntyyn (TAULUKKO 4). Lämpötilat valittiin edellisten testien perusteella siten, että testiin otettiin mukaan ne lämpötilat, joissa muutoksia on tapahtunut. Näin voitaisiin saada selville ne olosuhteet, joissa ongelman syntyä alkaa tapahtua. Kaapilla ei voinut ajaa siten, että myös kosteutta säädetään vuorokausivaihtelun mukaan, joten sen päätettiin antaa olla koko viikon ajan maksimissa eli noin 90 %:ssa. Lämpötilaa ajettiin alkutestin ajan sykliä 25–45 °C:n välillä ja lopputestin ajan 40–60 °C:n välillä. Neljänteen testiin testikappaleiden määrää vähennettiin, koska aikaisemmissa testeissä muutoksia ei ollut tapahtunut kappaleille, joissa ei ollut muovia. Neljännessä testissä oli 20 testikappaletta ja näille tehtiin neljä eri variaatiota:

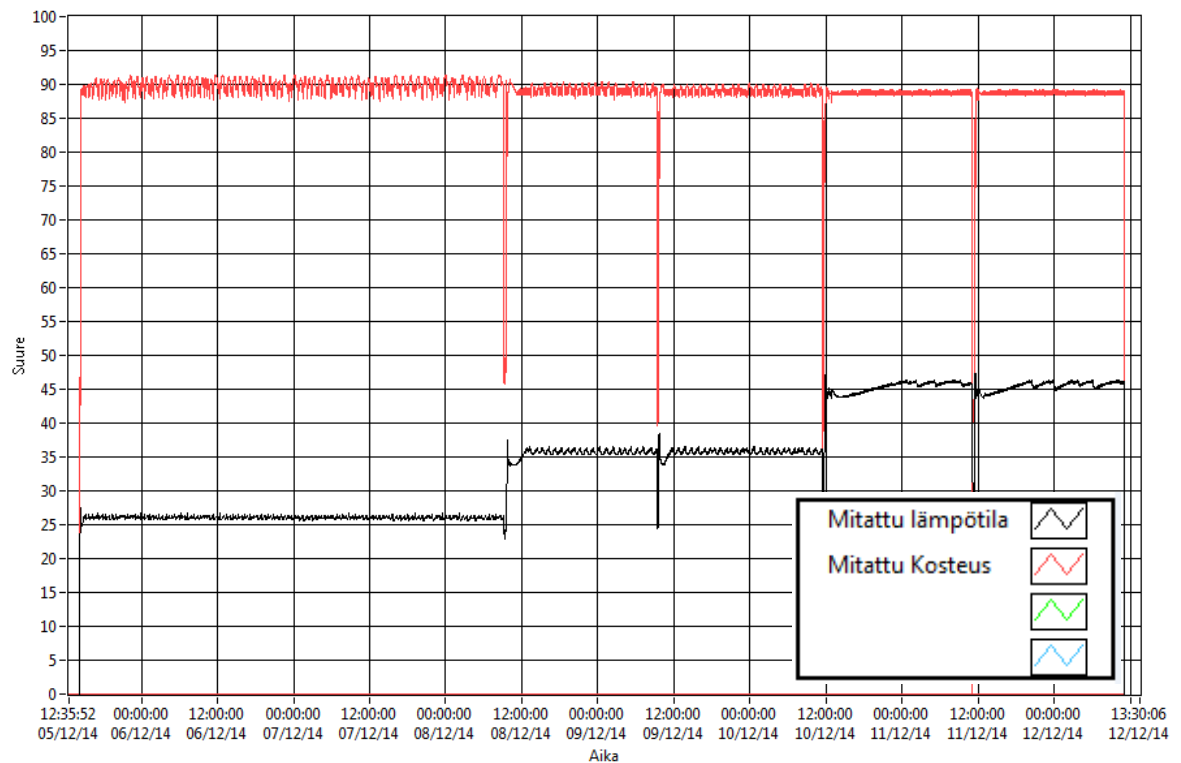
- Teknoksen maali + kirkas muovi
- Teknoksen maali + mattapintainen muovi
- AkzoNobelin maali + kirkas muovi
- AkzoNobelin maali + mattapintainen muovi

TAULUKKO 4. Neljännän olosuhdetestin ajokäyrä



Viimeinen eli viides olosuhdetesti toimi varmistavana testinä. Viimeinen testi suunniteltiin niin, että tapahtuipa testiviikon aikana muutoksia tai ei, niin silti testistä saataisiin varmistava tulos. Testiviikon ajan kosteus oli maksimissa eli 90 %:ssa ja lämpötila nousi tasaisesti 25 °C:sta 45 °C:een (TAULUKKO 5). Viimeisen testin aikana testikappaleet käytiin tarkistamassa joka päivä. Seurannan avulla nähtäisiin se piste, jossa muutokset alkavat tapahtua ja testi voitaisiin lopettaa. Ideana oli, että jos muutoksia ei tapahdu, niin lämpötilaa nostetaan aina kahden päivän välein 10 °C:sta lisää. Viidennessä olosuhdetestissä testikappaleille tehtiin muuten samat variaatiot kuin neljännessä olosuhdetestissä, mutta puolet muoveista kiinnitettiin hieman löysemmin ja puolet normaalisti. Tarkoituksena oli testata, että vaikuttaako se, miten muovi laitetaan puitteen ympärille, helmiäispinnan syntyyn.

TAULUKKO 5. Viidennen olosuhdetestin ajokäyrä



#### 4.2.3 QUV-testit

QUV-testit olivat laboratoriokeissa mukana täydentävänä testinä. Testien testiaika oli yksi viikko ja puolet testin kappaleista oli maalattu AkzoNobelin maalilla ja puolet Teknoksen maalilla. Testeissä tehtiin erilaisia variaatioita muoveilla ja maaleilla ja jokaista variaatioita oli aina neljä kappaletta varmempien tulosten saamiseksi. Ensimmäisessä testissä seurattiin UV-valon ja kondensaation vaikutusta helmiäispinnan syntyyn. Testiajo tehtiin ISO 11507 standardin mukaan, joten QUV-kaappi ajoi testiviikon aikana vuorotellen neljän tunnin jakson UV-valoa ja neljän tunnin jakson kondensaatiota. Testi aloitettiin 50 °C:sta ja testin puolessa välissä lämpötila nostettiin 60 °C:een. Ensimmäisessä testissä oli yhteensä 26 testikappaletta ja testikappaleille tehtiin erilaisia variaatioita kolmella eri muovilla:

- Teknoksen maali
- Teknoksen maali + kirkas muovi
- Teknoksen maali + mattapintainen muovi
- Teknoksen maali + kierrätysmuovi
- AkzoNobelin maali
- AkzoNobelin maali + kirkas muovi

- AkzoNobelin maali + mattapintainen muovi
- AkzoNobelin maali + kierrätysmuovi

Muovien kiinnitys pyrittiin tekemään, kuten se normaalisti tehtaalla tapahtuu eli muovi jätettiin avonaiseksi alaosasta ja kiinnitettiin yläosasta. Testikappaleet numeroitiin ja laitettiin QUV-kaappiin kuvion 14 mukaisesti. Testikaapissa voi olla eri kohdissa erilaiset olosuhteet, joten kappaleet laitettiin sellaiseen järjestykseen, ettei kaksi saman variaation kappaletta ole vierekkäin. Lisäksi seurannan yhteydessä kappaleiden paikkaa siirrettiin aina yksi pykälä oikealle.



KUVIO 14. Testikappaleet QUV-kaapissa

Toisessa QUV-testissä seurattiin pelkän UV-valon vaikutusta helmiäispinnan syntyyn. Testi aloitettiin 50 °C:sta ja puolessa välissä testiviikkoa lämpötila nostettiin 60 °C:een. Kierrätysmuovia riitti vain ensimmäiseen testiin, joten toisessa testissä variaatioita oli kaksi vähemmän:

- Teknoksen maali
- Teknoksen maali + kirkas muovi
- Teknoksen maali + mattapintainen muovi
- AkzoNobelin maali
- AkzoNobelin maali + kirkas muovi
- AkzoNobelin maali + mattapintainen muovi

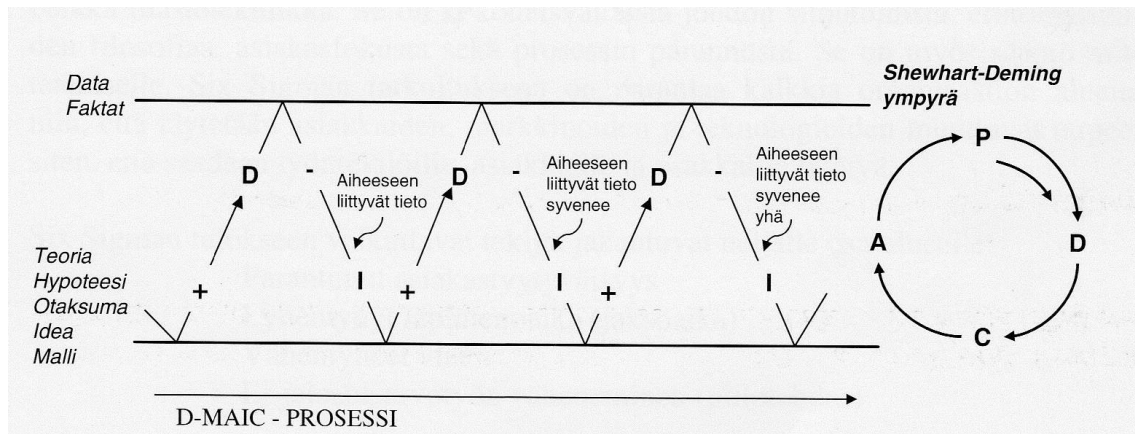
## 5 TUTKIMUSTYÖ DMAIC–PROSESSIN MUKAISESTI

Tutkimuksessa käsitellään ikkunan sisäpuitteen helmiäispintaongelmaa ja ratkaisun löytämisessä käytetään apuna DMAIC-prosessia. Prosessi etenee siten, että eri tekijät, jotka eivät vaikuta helmiäispinnan syntyyn, sulkeutuvat pois vaihe vaiheelta ja lopulta ongelman synnyn aiheuttaja, syytekijä, löydetään. Tarkoituksena on perehtyä DMAIC-prosessiin ja koesuunnitteluun, jotta ne tulevat tutuiksi. Projekti ei etene täydellisesti DMAIC:in mukaan, vaan se on mukana oppimismielessä samoin kuin koesuunnittelukin.

### 5.1 Määrittelyvaihe

DMAIC-prosessi alkaa ongelman määrittelyllä, ulostulon Y tavoitteiden asettamisella, projektin rajaamisella ja toteutusaikataulun suunnittelulla. Tässä tapauksessa ongelmana on olosuhteiden vaikutuksesta ikkunan sisäpuitteeseen syntyvä helmiäispinta, mikä aiheuttaa yritykselle lisäkustannuksia. Valmistusprosessin ulostulot ovat asiakkaan arvostamia asioita, kuten sisäpuitteen hyvä pinnanlaatu, oikeat varusteet ja oikea ristimitta. Tässä tilanteessa asiakkaan arvostama asia on se, että helmiäispintaa ei esiinny. Ulostulon täytyy olla mitattavissa ja lisäksi sen täytyy olla jatkuva muuttuja. Helmiäispintaongelmaan liittyen ulostulo Y on ikkunan sisäpuitteen pinnalla esiintyvän helmiäisen osuus tarkasteltavalla alueella. Kaikki olosuhdekaapissa testattavat kappaleet ovat samansuuruisia, joten jokaisesta jätetään tuloksia analysoitaessa samansuuruiset osiot puitteen kummastakin päästä huomiotta. Tällöin tuloksiin eivät vaikuta ylimääräiset asiat, kuten teippaukset puitteiden päissä.

Helmiäispinnan syntyprosessiin perehdytään jatkuvan parantamisen mallin mukaisesti (KUVIO 15) eli prosessia opitaan ymmärtämään asteittain aina vain enemmän. Käytännössä tässä työssä käydään läpi ensimmäinen deduktio – induktio tie ja annetaan lähtökohdat seuraavalle vaiheelle. Prosessin edetessä tärkeintä on ymmärtää, mitkä tekijät vaikuttavat ongelman syntyyn ja miten sitä voisi ehkäistä.



KUVIO 15. Jatkuvan parantamisen malli (Karjalainen & Karjalainen 2008, 15)

## 5.2 Mittausvaihe

Mittausvaiheessa tehtiin prosessikuvaus (LIITE 1) ja pohdittiin, mitkä muuttujat eri prosessin vaiheissa voivat vaikuttaa ikkunan sisäpuitteen pinnanlaatuun. Esille tulleet muuttujat jaettiin niiden ominaisuuksien mukaan eri ryhmiin, minkä jälkeen kaikki pääryhmät nimettiin. Jaottelu tehtiin kuuteen ja neljään ryhmään, mutta lopulliseksi versioiksi valittiin neljään ryhmään ryhmittely, koska se oli selkeämpi. Kuuteen ryhmään ryhmittelyssä muutamassa ryhmässä oli käytännössä samoja asioita, joten ne oli selkeämpi siirtää saman ryhmän sisälle. Muuttujien ryhmittely näkyy liitteessä 2.

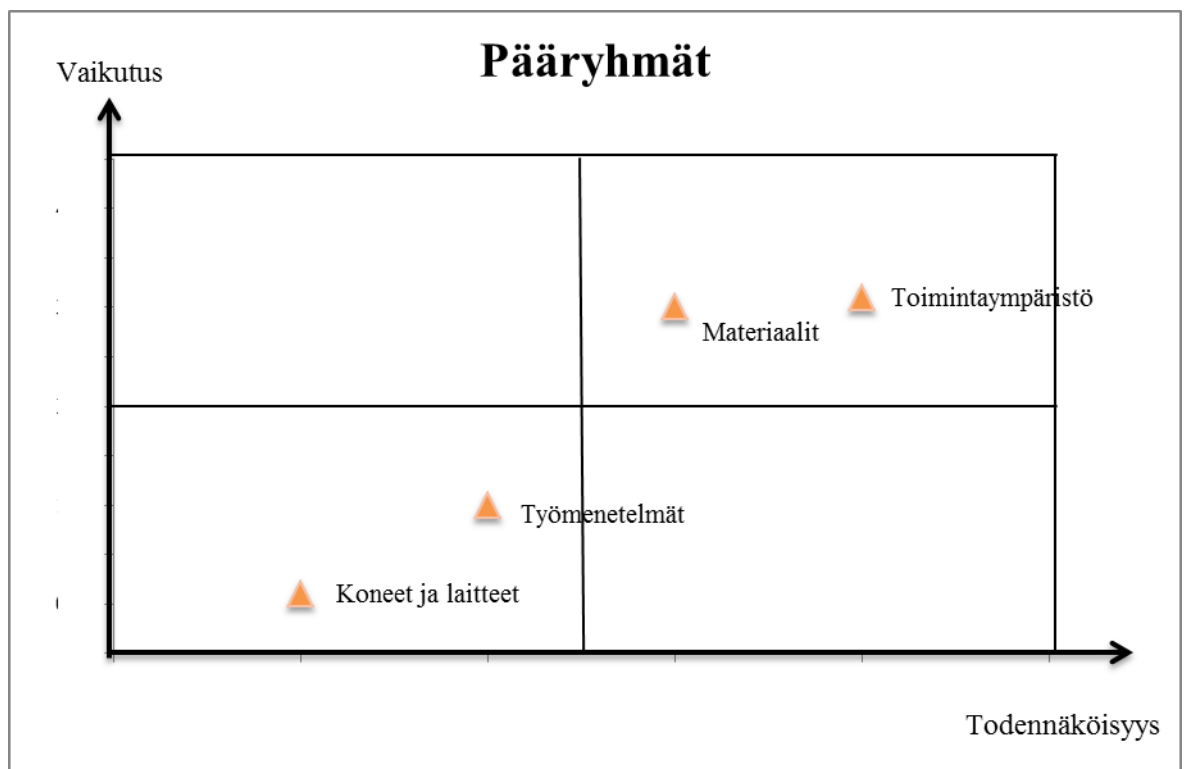
Muuttujien ryhmittelyn ja pääryhmien nimeämisen jälkeen tehtiin syy-seurauskaavio (LIITE 3). Seuraavaksi aloitettiin muuttujien määrän pienentäminen pääryhmien pisteyttämisellä. Tässä vaiheessa vaihtoehtoina pisteytykseen olivat riskianalyysi ja xy-matriisi, joiden avulla suuresta muuttujien joukosta voidaan löytää helmiäispinnan synnyn kannalta merkityksellisimmät muuttujat. Riskianalyysi ja keskustelu tutkimuksessa mukana olleiden kanssa soveltuivat tähän tilanteeseen parhaiten. Riskianalyysi vaikutti tässä tilanteessa selkeämmältä tavalta pohtia muuttujien vaikutusta helmiäispinnan synnyn kannalta. Lisäksi yrityksellä oli omat toivomuksensa testattavien muuttujien suhteen. Tavallisesti DMAIC-prosessissa käytetään riskien tunnistamiseen kolmen riskitekijän FMEA-menetelmää.

Riskianalyysia tehdessä pohdittiin, millainen vaikutus eri muuttujilla on helmiäispinnan syntyn. Jokaisen muuttujan kohdalla tulee miettiä sen laatuvaikutusta ja todennäköisyyttä. Laatuvaikutuksen kohdalla pisteytys tapahtuu 1-5, siten että 1 merkitsee vähän ja 5 paljon.

Todennäköisyydessä pisteytys tapahtuu arvoilla 0,1-1, siten että 1 tarkoittaa suurinta mahdollista todennäköisyyttä. Esimerkiksi taulukossa 1 on pohdittu pääryhmien vaikutusta helmiäispinnan syntyyn. Ensin pohdittiin, millainen laatuvaikutus koneilla ja laitteilla on helmiäispinnan synnyssä ja pisteet annettiin sen mukaan, mikä tuntui todennäköiseltä. Seuraavaksi pohdittiin kuinka todennäköistä on, että koneet ja laitteet vaikuttavat helmiäispinnan syntyyn. Pääryhmän vaikutus helmiäispinnan syntyyn saatiin kertomalla laatuvaikutuksen ja todennäköisyyden arvot keskenään. Sama tehtiin muillekin pääryhmille ja muuttujat sijoitettiin tulosten perusteella nelikenttään. (TAULUKKO 6; KUVIO 16). (Rossi 2014.)

TAULUKKO 6. Pääryhmien pisteytys

Pääryhmä	Laatuvaikutus (1-5)	Todennäköisyys (0,1-1)	Tulos
Koneet ja laitteet	2	0,3	0,6
Työmenetelmät	3	0,5	1,5
Materiaalit	5	0,7	3,5
<b>Toimintaympäristö</b>	4	0,9	<b>3,6</b>

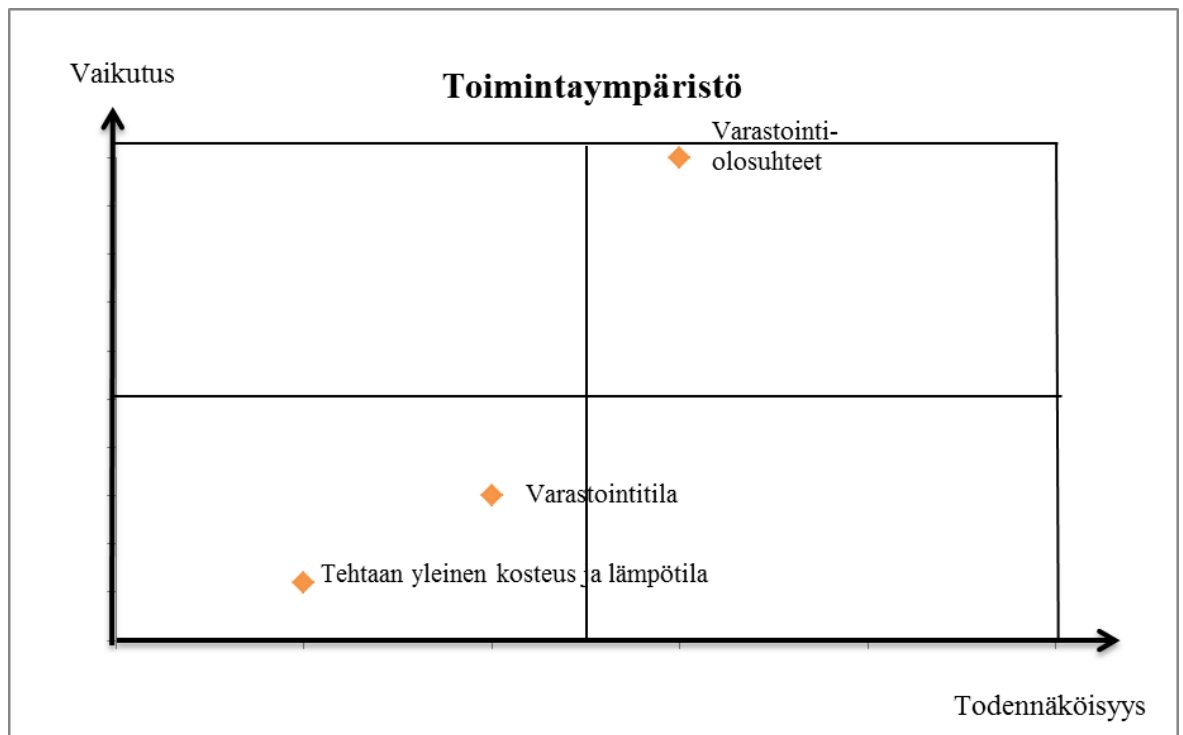


KUVIO 16. Pääryhmien vaikutus ja todennäköisyys helmiäispinnan syntyyn

Pääryhmien, joiden vaikutus ja todennäköisyys ovat suurimmat, eli materiaalien ja toimintaympäristön, pisteytystä jatkettiin. Toimintaympäristön ja materiaalien alle kuuluvat muuttujat pisteytettiin samalla periaatteella kuin pääryhmät pisteytettiin (TAULUKKO 7; TAULUKKO 8) ja myös nämä sijoitettiin nelikenttiin (KUVIO 17; KUVIO 18), joista selviää merkittävimmät tekijät helmiäispinnan synnyn kannalta.

TAULUKKO 7. Toimintaympäristön pisteytys

Muuttujat	Laatuvaikutus (1-5)	Todennäköisyys (0,1-1)	Tulos
Tehtaan yleinen kosteus ja lämpötila	2	0,3	0,6
Varastointitila	3	0,5	1,5
<b>Varastointiolosuhteet</b>	5	1	<b>5</b>

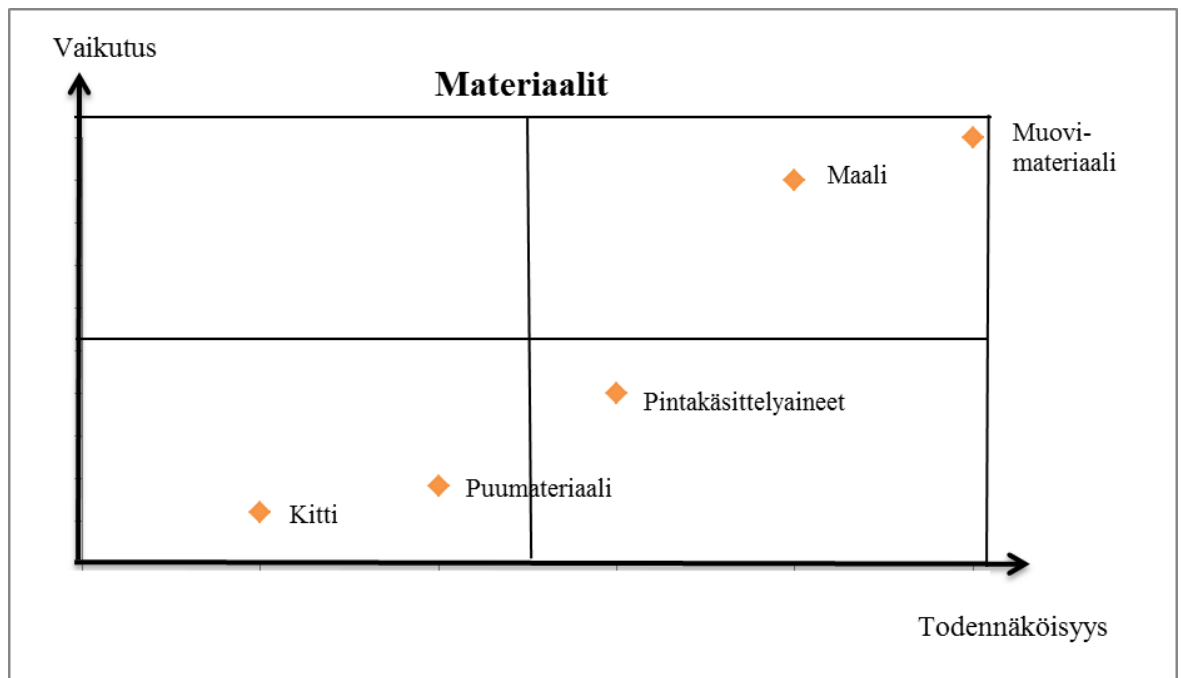


KUVIO 17. Toimintaympäristön vaikutus ja todennäköisyys helmiäispinnan syntyyn



TAULUKKO 8. Materiaalien pisteytys

Muuttujat	Laatuvaikutus (1-5)	Todennäköisyys (0,1-1)	Tulos
Kitti	3	0,2	0,6
Puumateriaali	3	0,3	0,9
Pintakäsittelyaineet	4	0,5	2
<b>Maali</b>	5	0,9	<b>4,5</b>
<b>Muovimateriaali</b>	5	1	<b>5</b>



KUVIO 18. Materiaalien vaikutus ja todennäköisyys helmiäispinnan syntyyn

Materiaaleista ja toimintaympäristöstä helmiäispinnan synnyn kannalta merkittävimpiä ovat ne muuttujat, jotka sijoittuvat nelikentässä oikealle ylös eli ne, joilla vaikutus ja todennäköisyys ovat suurimmat. Nämä muuttujat ovat varastointiolosuhteet: kosteus, lämpötila, lämpötilojen äkilliset muutokset ja UV-valo sekä maali ja muovimateriaali. Laboratoriokokeissa ja kenttätutkimuksessa seurattiin näiden muuttujien vaikutusta helmiäispinnan syntyyn.

Mittausvaiheessa aloitettiin kenttätutkimuksen osalta mittadatan keräys. Yrityksellä ei ollut ikkunoiden varastoinnin aikaisista olosuhteista dataa kerättynä, joten kosteus- ja lämpötilatietojen keräys päätettiin käynnistää tässä vaiheessa. Datan keräys kestää noin

vuoden ajan, joten lopputulokset eivät ehdi tähän opinnäytetyöhön. Kenttätutkimuksen tuloksia voi analysoida tilastollisesti vasta kesäkuussa, kun sisäpuitteista otetaan suojamuovit pois ja nähdään, onko helmiäispintaa syntynyt. Kenttätutkimuksen toteutus käsiteltiin kappaleessa 4.

### 5.3 Analysointivaihe

Mittaus- ja analysointivaiheiden avulla oli tarkoitus oppia ymmärtämään helmiäispinnan syntyprosessia, joten analysointivaiheessa valituille muuttujille tehtiin erilaisia olosuhdekokeita, joiden avulla helmiäispinnan syntyyn voitiin perehtyä paremmin. Testit jaettiin kahteen osaan, koska Centrialla on erikseen testikaappi eri olosuhteiden testaukseen ja toinen kaappi, joka soveltuu UV-valon testaukseen. Olosuhdekaapissa tehtävät testit olivat pääasiassa ja QUV-kaapissa tehtävät testit olivat mukana täydentävänä testinä. Laboratoriokokeiden toteutus käsiteltiin kappaleessa 4.

Tehdyt laborioritestit olivat monimuuttujatestejä, joissa testattiin, miten sisäpuitteen maali, suojamuovi, kosteus, lämpötila ja UV-valo vaikuttavat helmiäispinnan syntyyn. Kyseessä eivät kuitenkaan ole puhtaasti tieteellisesti toteutetut monimuuttujatestit, koska koesuunnitteluun perehdyttiin tarkemmin vasta testien suunnittelun ja toteutuksen aloittamisen jälkeen. Opinnäytetyön edetessä saatua lisätietoa tutkimusten toteutuksesta hyödynnetään jatkotutkimusehdotuksessa, jossa koesuunnittelun avulla luodaan pohja lisätutkimuksia varten.

Laborioriestien perusteella helmiäispinnan syntyyn vaikuttavat muovi sekä lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus. Testien perusteella havaittiin, että selkeät muutokset helmiäispinnan synnyssä tapahtuivat silloin, kun korkea kosteus ja lämpötila molemmat olivat mukana testissä. Sisäpuitteen maalin vaikutuksesta ei voitu näiden testien perusteella tehdä selkeää johtopäätöstä, joten maali otetaan mukaan jatkotutkimusehdotukseen. UV-valon, kosteuden ja matalan lämpötilan vaikutus helmiäispinnan syntyyn voitiin näiden testien perusteella sulkea pois. Laborioriestien tuloksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 6.

## 5.4 Parannusvaihe

Analysointivaiheessa muuttujista jäivät jäljelle muovi, maali sekä lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus, joten näistä tehdään koesuunnitelma opinnäytetyön jälkeen tehtävää jatkotutkimusta varten. Laboratoriokokeissa havaittiin, että kirkkaasta muovista jää sisäpuitteen pintaan huomattavasti selkeämpi jälki kuin mattapintaisesta muovista. Kirkkaan muovin käyttöä ei suositella, joten se jätetään pois jatkotutkimuksista. Koessuunnitteluun otetaan mukaan mattapintainen muovi ja uutena kierrätysmuovi, jota saatiin tehtyihin laboratoriokokeisiin vain hieman mukaan. Muoveja vertailemalla saadaan selville, kumpaa niistä kannattaa jatkossa käyttää ikkunoiden suojauksessa.

Maaleista mukana ovat samat Teknoksen ja AkzoNobelin maalit, joista ei vielä tehtyjen laboratoriotestien perusteella voitu tehdä minkäänlaisia johtopäätöksiä. Lämpötilan ja kosteuden kohdalla koesuunnitteluun otetaan mukaan sekä matala että korkea arvo. Monimuuttujakokeissa voidaan havaita keskinäisvaikutukset, joten jatkotutkimuksen avulla voidaan saada vahvistus lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutuksen merkityksestä helmiäispinnan syntyyn tai vaihtoehtoisesti voidaan saada tulos, joka kumoo laboratoriotestien perusteella tehdyn havainnon. Kuvioista 18 voidaan havaita, että todennäköisesti myös pintakäsittelyaineella voi olla vaikutusta helmiäispinnan syntyyn ja lisäksi yritys haluaisi tutkia pohjamaalin vaikutusta, joten se otetaan mukaan koesuunnitteluun. Eskopuulla ikkunoiden pohjamaalaus tehdään samalla maalilla kuin pintamaalaus, joten koesuunnitteluun otetaan mukaan nykyinen pohjamaali ja uutena vaihtoehtona polyuretaani pohjamaali.

Koesuunnittelu tarjoaa runsaasti mahdollisuuksia lukuisten muuttujien testaamiseen suhteellisen halvalla kustannuksella. Samanaikaisesti voidaan testata kymmeniä muuttujia samalla näytekoolla, kuin jos testi tehtäisiin testaamalla yhtä muuttujaa kerrallaan. Paras tapa tehdä kokeita on tehdä faktorikokeita eli DOE tai Taguchi -kokeita, joiden avulla voidaan havaita keskinäisvaikutukset eikä kokeita tarvita kovin suurta määrää. Lisäksi todennäköisyys sille, että päästään hyvään lopputulokseen on 90 %. Sekä Taguchi- että DOE-kokeet ovat hyviksi havaittuja ja niillä on saatu aikaan hyviä tuloksia. Taguchi-menetelmässä ja DOE:ssa on paljon samoja piirteitä, mutta myös huomattavia eroavaisuuksia. Merkittävin ero näiden välillä on se, että Taguchi keskittyy hajontaan ja

sen analysointiin, kun taas DOE keskittyy keskiarvoon, sen testaamiseen ja estimointiin. (Malinen, 2015; Piirainen, 2014.)

Jatkotutkimusehdotus toteutetaan kaksitasoisena monimuuttujakokeena, mikä tarkoittaa sitä, että jokaisella muuttujalla on testissä kaksi tasoa. DOE-kokeissa tasot ovat alataso (-1) ja ylätaso (+1), jotka täytyy määrittää jokaiselle muuttujalle. Taguchissa käytetään lukuja 1 ja 2 kuvaamaan ala- ja ylätasoa. Tasoille voi itse määrittää nimet, mutta Minitab käyttää koodattuja arvoja -1 ja +1 tai Taguchi-kokeissa 1 ja 2. Taulukossa 9 on koesuunnitteluun tulevat muuttujat sekä niiden tasot. (Malinen, 2015.)

TAULUKKO 9. Koesuunnittelun muuttujat ja niiden tasot

<b>Muuttuja</b>	<b>Taso 1</b>	<b>Taso 2</b>
Muovi	Matta	Kierrätys
Maali	AkzoNobel	Teknos
Lämpötila	25 °C	45 °C
Kosteus	60 %	90 %
Pohjamaali	AkzoNobel	Polyuretaani

Monimuuttujakoe suunnitellaan etukäteen ja ortogonaalimatriisi tehdään Minitab-ohjelman avulla, mistä nähdään suoraan, miten jatkotutkimuksen kokeet tulee suorittaa jäljellä olevilla muuttujilla. Suunnitelluissa kokeissa prosessimuuttujia ohjataan, niille asetetaan arvoja ja tutkittavaa prosessia muutetaan aktiivisesti. Näin ollen kokeet tarjoavat paljon informaatiota tutkittavasta asiasta ja mahdollistavat syy-seuraussuhteen määrittämisen. (Karjalainen, 2007.)

Jatkotutkimusehdotuksen toteuttamisessa vaihtoehtoina olivat DOE tai Taguchi koe. DOE kokeen avulla prosessiparametrien vaikutuksesta tehdään täydellinen malli ja ne optimoidaan halutun ulostulon saamiseksi. Taguchi kokeella selvitetään ulostuloon eniten vaikuttavat harvat prosessiparametrit. Tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella voidaan todeta, että helmiäispintaa tulee syntymään, niin kauan kuin muovia käytetään sisäpuitteiden suojaamiseen. Sisäpuitteiden valmistusprosessi ja olosuhteet varastoinnin ja rakentamisen aikana täytyy siis optimoida siten, että helmiäispintaa syntyy mahdollisimman vähän. DOE kokeilla optimointi onnistuu hyvin, joten

jatkotutkimusehdotus päätettiin toteuttaa sen avulla käyttäen Plackett-Burmanin L12-matriisia. Plackett-Burman suunnitelma soveltuu hyvin silloin, kun muuttujia on enemmän kuin 4 kappaletta. Sitä voi käyttää myös hyvin silloin, kun muuttujia on vielä useampia jäljellä ja osa täytyy saada karsittua pois. (Paalanen, 2014.)

Koesuunnitelma tehtiin viidellä muuttujalla käyttäen Plackett-Burman L12-matriisia (TAULUKKO 11). Taulukosta nähdään suoraan, miten kaikki 12 testiä täytyy tehdä. Esimerkiksi koe 1 tehdään siten, että suojuuksessa käytetään kierrätysmuovia, puitteen pohja- ja pintamaalaus tehdään AkzoNobelin maalilla ja puitetta testataan +45 °C:ssa ja 90 % suhteellisessa kosteudessa. Jokaisen kokeen tulokset kirjataan sarakkeeseen C10. Tuloksia analysoitaessa saadaan selville päätekijöiden vaikutukset sekä tekijöiden keskinäisvaikutukset.

TAULUKKO 11. Plackett-Burman L12-matriisi

→	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9-T	C10
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Muovi	Maali	Lämpötila	Kosteus	Pohjamaali	
1	4	1	1	1	Kierrätys	AkzoNobel	45	90	AkzoNobel	
2	10	2	1	1	Kierrätys	AkzoNobel	25	60	Polyuretaani	
3	7	3	1	1	Matta	Teknos	45	90	AkzoNobel	
4	2	4	1	1	Kierrätys	Teknos	25	90	AkzoNobel	
5	11	5	1	1	Matta	Teknos	25	60	AkzoNobel	
6	8	6	1	1	Matta	AkzoNobel	45	90	Polyuretaani	
7	5	7	1	1	Kierrätys	Teknos	25	90	Polyuretaani	
8	9	8	1	1	Matta	AkzoNobel	25	90	Polyuretaani	
9	6	9	1	1	Kierrätys	Teknos	45	60	Polyuretaani	
10	1	10	1	1	Kierrätys	AkzoNobel	45	60	AkzoNobel	
11	3	11	1	1	Matta	Teknos	45	60	Polyuretaani	
12	12	12	1	1	Matta	AkzoNobel	25	60	AkzoNobel	

## 5.5 Ohjausvaihe

Ohjausvaiheen toteutus jää tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Ohjausvaiheessa seurataan parannusvaiheessa käyttöönotettujen parannuksien vaikutuksia helmiäispinnan syntyyn ikkunoiden tuotannossa, varastoinnissa ja työmaalla. Tämän hetkisten tulosten perusteella sisäpuitteiden valmistusprosessissa, varastoinnissa ja työmaalla voidaan kuitenkin tehdä jo joitakin muutoksia, jotka vähentävät helmiäispinnan syntyä. Kyseiset muutokset on esitelty kappaleessa 6.

## 6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Laboratoriotesteissä tehtiin kokeita viidellä eri muuttujalla. Kokeita tehtiin yhteensä seitsemän kappaletta ja jokaisen testin testiaika oli yksi viikko. Viikon aikana tehtiin vähintään kaksi seurantakäyntiä ja muutamassa testissä seurantoja tehtiin päivittäin. Näin saatiin tarkkaa tietoa siitä, missä vaiheessa muutoksia tapahtuu. Jokaisen testin jälkeen kaikki testikappaleet käytiin samalla tavalla läpi: sisäpuitteen päälypinta jaettiin neljään osaan ja kappaleista katsottiin, kuinka monessa osassa helmiäispintaa on ja sen mukaan saatiin helmiäispinnan osuus/kappale desimaalilukuna. Testikappaleista jätettiin myös huomioimatta kummastakin päästä muutaman senttimetrin mittaiset osat, jotta tuloksien tulkintaan eivät vaikuta ylimääräiset asiat, esimerkiksi teippaukset, joilla muovi oli kiinnitetty.

Olosuhdetesteissä seurattiin, miten lämpötila, kosteus, sisäpuitteen maali ja suojamuovi vaikuttavat helmiäispinnan syntyyn. Viiden olosuhdetestin perusteella havaittiin, että helmiäispintaa alkaa syntyä, kun lämpötila on 35 °C:ta tai enemmän ja suhteellinen kosteus on korkea, eli 90 %. Näissä olosuhteissa suojamuovi tarttuu sisäpuitteen pintaan kiinni ja lopputuloksena on helmiäispinta. Olosuhdetesteissä havaittiin, että kosteus yksistään ei vaikuta helmiäispinnan syntyyn, mutta erittäin korkea lämpötila sen sijaan vaikuttaa. Olosuhdetestissä 2 seurattiin lämpötilan vaikutusta helmiäispinnan syntyyn ja tässä testissä havaittiin, että kun lämpötila nousee yli 67 °C:n, niin helmiäispintaa syntyy jonkin verran. Käytännössä siis kosteuden ollessa matala, täytyisi lämpötilan nousta todella korkealle, että helmiäispintaa syntyy.

Maalin pehmenemispiste on 35 °C:ta. Tässä lämpötilassa maali alkaa pehmetä ja kun kosteus on myös samalla korkea, niin muovi tarttuu sisäpuitteen pintaan kiinni ja muovia poistettaessa sisäpuitteen pintaan jää kiiltävä helmiäispinta. Tämä ilmiö tapahtuu maalista riippumatta. Rakennustyömaalla tehdystä seurannasta nähdään, että jossakin vaiheessa varastoinnin ja rakentamisen aikana lämpötila tulee nousemaan 35 °C:een, joten tällöin olisi hyvin tärkeää, että kosteus ei pääse nousemaan liian korkealle. Rakennustyömailla kosteuden poiston järjestäminen on siis tärkeässä roolissa. Ilmiön syntyminen vaati sen, että kosteus kondensoituu puitteen ja muovin väliin. Vuorokausivaihtelulla on siis myös merkitystä helmiäispinnan synnyssä.

Tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella havaittiin, että muovi suojaa sisäpuitteita tummumiselta, joten muovisuoja on tärkeä. Näiden laboratoriokokeiden havaintojen perusteella on suositeltavaa käyttää mattapintaista muovia sisäpuitteiden suojaamiseen, niin kauan kuin muovisuojausta tullaan käyttämään tai tilalle ei löydy toisenlaista suojausmenetelmää. Helmiäispinnan syntyä tulee todennäköisesti ilmenemään jonkin verran, niin kauan kuin muovia käytetään suojauksessa, mutta sen esiintymistä voidaan minimoida pitämällä valmiit ikkunat mahdollisimman vakaissa olosuhteissa niin rakentamisen kuin varastoinninkin aikana.

QUV–testeissä seurattiin UV-valon vaikutusta helmiäispinnan syntyyn ja testeissä havaittiin, että UV-valolla ei ole vaikutusta. Sen sijaan QUV–testit vahvistivat olosuhdetestien tuloksia siitä, että helmiäispinnan synty vaatii lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutuksen. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kummankin ollessa korkea, saatiin testeissä aikaan paljon selkeää helmiäispintaa.

Kaikissa laboratoriokokeissa otettiin tehtaalta ylös eri lähtötietoja: tehtaan lämpötila ja kosteus maalausprosessin eri vaiheissa, uunien lämpötilat ja kosteudet kolmesta eri kohtaa, puun kosteusprosentti, maalipinnan kalvonpaksuudet, maalin lämpötila ja testikappaleiden kuivumisajat. Näiden arvojen todettiin jokaisessa testissä olevan lähestulkoon samat, joten ne eivät vaikuta olennaisesti laboratoriokokeista saatuihin tuloksiin. Tuloksia pohtiessa on kuitenkin syytä ottaa huomioon myös kokeiden luotettavuus. Kokeet on suoritettu yhden kerran, joten näiden testien perusteella saadut tulokset ovat suuntaa antavia ja lopullisiin johtopäätösiin olisi hyvä tehdä varmistavia testejä. Parannusvaiheessa suunniteltu jatkotutkimusehdotus tehtiin sillä ajatuksella, että tähän mennessä tehtyjen testien tulokset on hyvä varmistaa ja tehdyn suunnitelman avulla se on mahdollista.

Kenttätutkimuksesta saadun mittadatan ja seurantojen perusteella voidaan todeta, että luonnon olosuhteet eivät vaikuta helmiäispinnan syntyyn. Ikkunoissa, joissa mitta-anturit tällä hetkellä ovat, ei ole syksyn aikana havaittu helmiäispintaa. Jos lopputarkastusta tehtäessä helmiäispintaa kuitenkin havaitaan, niin voidaan todeta, että helmiäispinnan synty johtuu rakentamisen aikaisista työvaiheista. Mittadataa tutkittaessa havaittiin myös, että kastepisteen ja lämpötilan ero on ollut pienimmillään 0,5 °C eli kondensoituminen on

ollut todennäköistä, jos ikkuna on ollut varjon puolella ja ympäristö on lämmennyt ensin. (Sumela, 2015; Saarela, 2015; Polvi, 2014.)

Tutkimustyön perusteella sisäpuitteiden valmistusprosessissa, varastoinnissa ja työmaalla voidaan tehdä joitakin muutoksia, jotka vähentävät helmiäispinnan syntyä: Tehtaalla on suositeltavaa käyttää mattapintaista muovia sisäpuitteiden suojaamiseen. Valmiit ikkunat tulisi pitää mahdollisimman vakaina olosuhteissa niin varastoinnin kuin rakentamisenkin aikana. Ikkunoita tulisi siis pitää suojakatoksen alla tai jossain muussa suojaisessa paikassa, niin että ikkunat eivät ole täysin alttiina sääilmiöille. Rakennustyömailla tulisi huolehtia hyvästä kosteuden poistosta sekä siitä, että ikkunoita vasten ei laiteta nojaamaan mitään esineitä. On todennäköistä, että kun muovin ja sisäpuitteen välissä on kosteutta ja muovia painetaan puitetta vasten, niin silloin tapahtuu kiinnitartuntaa ja helmiäispinta syntyy. Jos yritys päättää jatkaa helmiäispinnan synnyn tutkimista, niin koesuunnittelun avulla voidaan tehdä uusia havaintoja ja mahdollisesti keksiä ratkaisu, jonka avulla helmiäispintaongelmasta päästään kokonaan eroon.



## 7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin ikkunan sisäpuitteen helmiäispintaongelmaan. Inwido Finlandin Eskopuu-brändi valmistaa ikkunoita ja ovia rakennusliikkeille. Rakennustyömailla on havaittu satunnaisesti helmiäispintaa ikkunoiden sisäpuitteissa ja tämä aiheuttaa lisäkustannuksia yritykselle, koska puitteet on maalattava uudelleen. Tämän opinnäytetyön myötä helmiäispintaongelmaan tehtiin ensimmäinen tarkempi katsaus. Helmiäispinnan syntyä tutkittiin erilaisten laboratoriotutkimusten ja kenttätutkimuksen avulla. Laboratoriotutkimuksissa tehtiin erilaisia olosuhdetestejä, joissa testattiin sisäpuitteen maalia, suojamuovia, lämpötilaa, kosteutta ja UV-valoa. Kenttätutkimuksessa kerättiin mittadataa varastoinnin ja rakentamisen aikaisista olosuhteista. Tutkimuksessa käytettiin apuna DMAIC-ongelmanratkaisumallia ja koesuunnittelun avulla tehtiin ehdotus jatkotutkimuksista.

Tehtyjen olosuhdetestien perusteella saatiin selvitettyä helmiäispinnan synnyn johtuvan siitä, että lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutuksesta muovi tarttuu sisäpuitteen pintaan kiinni, jolloin muovia poistettaessa sisäpuitteen pintaan jää kiiltävä helmiäispinta. Kriittinen lämpötilapiste on +35 °C:ta ja lisäksi tällöin suhteellisen kosteuden täytyy olla korkea, eli 90 %, jotta kiinnitartunta tapahtuu. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada poissuljettua tekijät, jotka eivät vaikuta helmiäispinnan syntyyn. Laboratoriotutkimuksien perusteella saatiin suljettua pois UV-valon, kosteuden ja matalan lämpötilan vaikutus helmiäispinnan syntyyn. Helmiäispinnan syntyä voi tutkia vielä tehdyn jatkotutkimusehdotuksen mukaisesti. Tällä hetkellä kuitenkin on suositeltavaa käyttää sisäpuitteiden suojaamiseen mattapintaista muovia ja pitää valmiit ikkunat mahdollisimmat vakaisissa olosuhteissa.

Opinnäytetyön alussa Six Sigma, DMAIC-prosessi ja koesuunnittelu olivat ainoastaan käsitteinä jonkin verran tuttuja ja Six Sigmaa oli käyty yleisesti läpi laadunhallinnan kursilla. Käytännössä kaikki olivat siis täysin uusia asioita eikä tutkimustyöstä ollut lainkaan aikaisempaa kokemusta. Oppimista on tapahtunut tasaisesti koko opinnäytetyöprojektin ajan ja nyt valmiudet tutkimuksen tekoon, Six Sigman hyödyntämiseen ja koesuunnitteluun ovat huomattavasti paremmat kuin lähtötilanteessa. DMAIC-prosessi ja siihen liittyvät eri työkalut sekä koesuunnittelu ja Minitab-ohjelma

tulivat opinnäytetyön aikana tutuiksi, joten tulevaisuudessa näitä on hyvä hyödyntää.

## LÄHTEET

Huhtakangas, R. 2014. Tuotantopäällikön haastattelu 5.12.2014. Inwido Finland Oy. Eskola.

Ihalainen, P & Hölttä, T. 2001. Six Sigma pähkinänkuoressa. Tampere: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Järviö, Piispa, Parantainen & Åström. 2007. Kunnossapito. 4 painos. Hamina: KP-Media Oy

Karjalainen, Eero E. 1992. Teollinen koesuunnittelu – Esimerkkejä Suomessa toteutetusta kokeellisesta tuotteen ja prosessin suunnittelusta Taguchi–menetelmällä. Tampere: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Karjalainen, T & Karjalainen, Eero E. 2008. Six Sigma – Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. 5. painos. Lahti: Quality Konowhow Karjalainen Oy

Karjalainen, T. 2007. Koesuunnittelu - Tehokas prosessin sekä datankeräys- ja analysointimenetelmä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/koesuunnittelu-tehokas-prosessin-seka-datankeraeys-ja-analysoin/>. Luettu: 9.12.2014

Lecklin, O & Laine, Risto O. 2009. Laadunkehittäjän työkalupakki – Innovatiivisen johtamisjärjestelmän rakentaminen. Hämeenlinna: Talentum Media Oy ja kirjoittajat

Malinen, T. 2015. Luentomateriaali 17.2.2015. Centria-ammattikorkeakoulu. Ylivieska

Mathews, P. 2004. Design of Experiments with MINITAB. Milwaukee: Quality Press

Nissi, I & Rossi, R. 2010. Eskopuun historia. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.eskopuu.fi/fi/company/0300.html>. Luettu: 9.12.2014.

Paalanen, T. 2014. Luentomateriaali 9.5.2014. Centria-ammattikorkeakoulu

Piirainen, A. 2014. Luentomateriaali. Quality Knowhow Karjalainen Oy

Pollari, S. 2015. Sähköpostikeskustelu 3.3.2015. Inwido Finland Oy. Eskola.

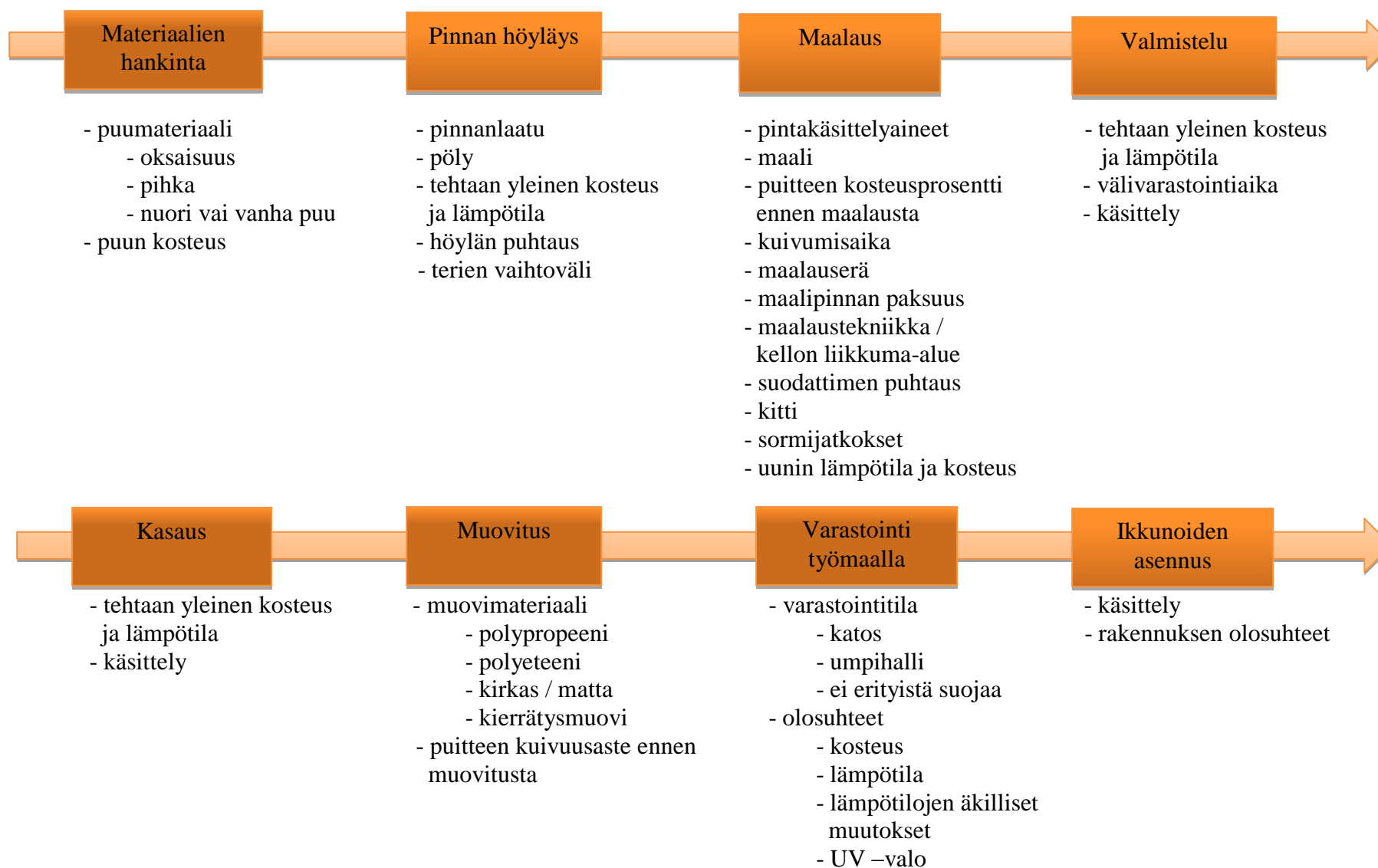
Polvi, P. 2014. Sähköpostikeskustelu 13.11.2014. Centria tutkimus ja kehitys. Ylivieska.

Quality Knowhow Karjalainen Oy. Six Sigma. Www-dokumentti. Saatavissa:  
<http://www.sixsigma.fi/fi/six-sigma/>. Luettu: 9.12.2014

Rossi, T. 2014. Tutkijan ja vierailevan luennoitsijan haastattelu 18.8.2014. Vaasan Yliopisto.

Sumela, M & Saarela, E. Palaveri 16.2.2015. Inwido Finland Oy. Eskola.

## IKKUNAN SISÄPUITTEEN VALMISTUSPROSESSI SEKÄ PINNANLAATUUN VAIKUTTAVAT MUUTTUVAT X



## MUUTTUJIEN RYHMITTELY

<p><b>RYHMÄ 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- puumateriaali <ul style="list-style-type: none"> <li>- oksaisuus</li> <li>- pihka</li> <li>- nuori vai vanha puu</li> <li>- kosteus</li> </ul> </li> <li>- muovimateriaali <ul style="list-style-type: none"> <li>- polypropeeni</li> <li>- polyeteeni</li> <li>- kirkas / matta</li> <li>- kierrätysmuovi</li> </ul> </li> <li>- pintakäsittelyaineet</li> <li>- maali</li> <li>- kitti</li> </ul>	<p><b>RYHMÄ 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tehtaan yleinen kosteus ja lämpötila</li> <li>- varastointiolosuhteet <ul style="list-style-type: none"> <li>- kosteus</li> <li>- lämpötila</li> <li>- lämpötilojen äkilliset muutokset</li> <li>- UV-valo</li> </ul> </li> <li>- varastointitila <ul style="list-style-type: none"> <li>- katos</li> <li>- umpihalli</li> <li>- ei erityistä suojaa</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>RYHMÄ 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- höylän puhtaus</li> <li>- terien vaihtoväli</li> <li>- maalaustekniikka / kellon liikkuma-alue</li> <li>- suodattimen puhtaus</li> <li>- uunin lämpötila ja kosteus</li> <li>- sormijatkokset</li> </ul>	<p><b>RYHMÄ 4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- höyläyksessä syntyvä pinnanlaatu</li> <li>- höyläyksessä syntyvä pöly</li> <li>- maalauserä</li> <li>- maalipinnan paksuus</li> <li>- puitteen kosteusprosentti ennen maalausta</li> <li>- kuivumisaika</li> <li>- välivarastointiaika</li> <li>- käsittely</li> <li>- puitteen kuivuusaste ennen muovitusta</li> </ul>

SYY-SEURAAUSKAAVIO

