

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Hassinen Tommi

FD-OVENSULKIMIEN TESTAUSVAIHEEN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä
Hassinen Tommi

Nimeke
FD-ovensulkimien testausvaiheen kehittäminen

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää FD-ovensulkimen testausvaihetta. Lisäksi työssä oli tarkoitus tutkia FD-ovensulkimien valmistussolussa syntyvää laatuhukkaa ja solun ergonomiaa sekä kehittää niihin parannusehdotuksia. Työn suorituspaikkana oli Abloy Oy:n Joensuun tehtaalla sijaitseva Door Control -liiketoimintayksikkö. Door Control -yksikön tavoitteena on kasvattaa työn tuottavuutta 2–3 prosenttia vuodessa. Työssä kehitetyillä parannustoimenpiteillä pyrittiin vaikuttamaan osaltaan tuottavuuden kasvuun.

Abloy Oy käyttää toiminnoissaan paljon tuotannon kehityksen filosofioita, kuten lean ja Six Sigma. Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi näiden filosofioiden periaatteita ja parannustyökaluja. Lisäksi teoriaosuudessa käsitellään laatua ja työn ergonomiaa. Teoriaosuuden tietoja ja työkaluja käytettiin käytännön osuudessa eli FD-solun kehityksessä.

FD-ovensulkimien testausvaiheessa tutkimusongelmana oli momentin testauksessa ilmennyt suuri vaihtelu. Työssä selvitettiin vaihtelun aiheuttajia prosessin kehittämiseksi ja vaihtelun pienentämiseksi. Laatuhukan osalta oli tarkoitus tutkia kokoonpano- ja testausvaiheessa hylättyjä ovensulkimia. Tarkoituksena oli tutkia eniten hylkäyksiin johtaneita syitä ja pohtia niihin kehitysehdotuksia hylkäyksien vähentämiseksi. Kolmantena tutkimuskohteena oli FD-solun ergonomian ongelmat. Ongelmien selvittämiseksi solussa tehtiin ergonomiaselvitys.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville ovensulkimen testauksen vaihtelun aiheuttajia. FD-ovensulkimien valmistusprosessia muutettiin siten, että siitä poistettiin ensimmäinen momentin testausvaihe. Valmistusprosessin jaksoaika lyheni ja työn tehokkuus kasvoi. Laatuhukan tutkiminen aloitettiin, mutta hylättyjä ovensulkimia ei kertynyt tarpeeksi tämän opinnäytetyön aikana, joten niiden syvällisempi tutkiminen jäi tekemättä. Ergonomiaselvityksen avulla löydettiin FD-ovensuljinten valmistuksen ergonomiaongelmia ja niihin ideoitiin kehitysehdotuksia.

Kieli
suomi

Sivuja 81
Liitteet 7
Liitesivumäärä 7

Asiasanat
Lean, Six Sigma, laatu, ergonomia

**THESIS****May 2014****Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering**

Karjalankatu 3

FIN 80200 JOENSUU

FINLAND

Tel. 358-13-260 6800

Author

Hassinen Tommi

Title

Improving Test Phase for Fire Door Closers

Abstract

The main purpose of this thesis was to improve the test phase of fire door (FD) closers. Moreover, the research also concentrated on studying quality waste in the manufacturing process of fire door closers and ergonomics of FD-cells. The research also wanted to design improvement proposals for these subjects. The place of performance was Door Control -business unit located at Joensuu plant of Abloy Ltd. The aim of the unit is to increase their work productivity for two to three percent per year. With this study and designed improvements the purpose was to increase that growth.

Abloy Ltd uses several production philosophies in their actions, such as Lean and Six Sigma. The theoretical part of this thesis handles those philosophies and their improving tools. In addition, the part also includes theory about quality and ergonomics at work. The theoretical information and improving tools were later used in practice to develop the manufacturing unit of fire door closers.

The main problems in the testing phase of fire door closers manufacturing process were variations. The causes of variations were solved so that the manufacturing process could be improved and waste could be reduced. The purpose of researching quality waste in assembly and testing phases was to find out the major cause for quality waste and to develop it so that quality waste would reduce. The third subject of research was to find out problems in FD-cells ergonomics. This ergonomics clarification was carried out to find out possible ergonomics problems.

As a result, the causes of variation were solved. The process of FD-closers manufacturing was changed in a way that the first torque testing phase was removed from the process. The cycle time of manufacturing process was reduced and work efficiency increased. Researching quality waste was started but there were not enough of door closers with quality problems. Problems in FD-cells ergonomics were found with ergonomics clarification. Improvement proposals for these problems were also suggested.

Language

Finnish

Pages 81

Appendices 7

Pages of Appendices 7

Keywords

Lean, Six Sigma, quality, ergonomomy

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

Käsitteet ja lyhenteet

1	Johdanto	7
1.1	Työn tavoitteet ja rajausta.....	7
1.2	ASSA ABLOY -konserni	8
1.2.1	Abloy Oy	9
1.2.2	Abloy Oy:n Door Control -yksikkö	11
2	Laatu ja työn ergonomia	12
2.1	Mitä laatu on?	12
2.2	Laatugurut.....	12
2.3	Laatujärjestelmät	15
2.4	Laatukustannukset.....	16
2.5	Laatuongelmat	17
2.6	Ergonomia	18
3	Tuotannon tehostaminen ja sen työkalut	21
3.1	Lean.....	21
3.1.1	Viisi leanin toimintaperiaatetta	23
3.1.2	Hukka	24
3.2	Pullonkaulateoria	26
3.3	Six Sigma & Lean Six Sigma	27
3.4	DMAIC	29
3.4.1	Määrittelyvaihe.....	30
3.4.2	Mittausvaihe.....	30
3.4.3	Analysointivaihe.....	31
3.4.4	Parannusvaihe	31
3.4.5	Ohjausvaihe	32
3.5	Six Sigman parannustyökaluja.....	32
3.5.1	Aivoriihi (Brainstorming).....	33
3.5.2	Syy-seuraus diagrammi	34
3.5.3	Korrelaatio	35
3.5.4	Pareto-kaavio.....	36
4	FD-tuotantosolun kehitys	38
4.1	Prosessin kuvaus.....	38
4.2	Testausvaiheen kehittäminen	43
4.2.1	Ongelmat nykytilassa.....	45
4.2.2	Ongelmien aiheuttajien selvittäminen	46
4.3	Laatuhukka FD-ovensulkimien valmistuksessa	57
4.4	Ergonomia FD-solussa	58
5	Tulokset	62
5.1	Testausvaihe	62
5.2	Laatuhukka	66
5.3	Ergonomia	67
6	Pohdinta.....	71
	Lähteet.....	80

Liitteet

Liite 1	Testaustulokset 4.7.2013
Liite 2	Ishikawa diagrammi momentin testauksesta
Liite 3	Testaustulokset tiivisteiden ulkoneman vaikutuksesta
Liite 4	Testaustulokset karan vaikutuksesta ja momentin pysyvyydestä
Liite 5	Testaustulokset valumatestin säätöalueesta
Liite 6	Testaustulokset momenttialueesta
Liite 7	FD-ovensulkimen testausprosessin vaiheajat ennen ja jälkeen parannuksen

Käsitteet ja lyhenteet

Door Control -yksikkö	Erillinen tehdasrakennus Abloy Oy:n Joen suun tehtaalla, joka on keskittynyt oven sulkimien ja oviautomaatiikan valmistukseen
FD-ovensuljin	Palo-ovensuljin joka sulkee oven tulipalon sattuessa
FD	Fire Door, viitataan palo-ovensulkimiin esim. FD-solu (palo-ovensulkimia valmis tava työsolu Abloy Oy:llä)
PDCA	Plan Do Check Act
DMAIC	Define Measure Analyse Improve Control
juurisyy (root cause)	Juurisyyllä tarkoitetaan jonkin ongelman perimmäistä syytä, eli ongelman aiheuttajaa.
Hukka	Arvoa tuottamaton toiminto
CCR	Capacity of Constraining Resource
Prototyyppi	Ensimmäinen malli, jolla testataan tuotteen ominaisuuksia ennen varsinaisen kappaleen valmistusta.

1 Johdanto

1.1 Työn tavoitteet ja raja

Työn tavoitteena on tutkia ja kehittää Abloy Oy:n Door Control -yksikössä toimivaa FD-solua. Kehityksellä pyritään työn tuottavuuden- ja tehokkuuden parantamiseen. Opinnäytetyöni keskittyy kolmeen tutkimuskohteeseen FD-solun sisällä. FD-solussa valmistetaan myös muita tuotteita, mutta kaikissa kolmessa tutkimuskohteessa tutkimus rajattiin koskemaan vain FD-ovensulkimien valmistusprosessia. Ensimmäinen tutkimuskohde on FD-ovensulkimen testausvaiheen kehittäminen. Tässä työvaiheessa testataan ja säädetään FD-ovensulkimen toimintaan vaikuttavia arvoja, kuten sulkimen aukipitomomenttia.

Olen työskennellyt opiskeluaikani Abloy Oy:n Door Control yksikössä tuotantotöissä. Kyselyäni mahdollisia kehityskohteita tai aiheita opinnäytetyökseni valikoitui ja rajautui kyseisessä Door Control -yksikössä toimivan FD-solun työvaiheen kehitys. Aihe on ajankohtainen ja mielenkiintoinen, koska tämä työvaihe aiheuttaa pullonkaulan FD-ovensulkimien valmistuksessa, eli se estää prosessin toimimisen täydellä kapasiteetilla. Pullonkaula aiheutuu koska testausvaihe on nykymuodossaan niin paljon hitaampi verrattuna testausta edeltäviin työvaiheisiin, että kappaleita kertyy odottamaan testausvaihetta. Testausvaiheen ongelmia oli jo aikaisemmin alettu tutkia, mutta muiden kiireiden takia kehitys oli jäänyt kesken. Tavoitteena on tutkia voisiko ensimmäisen momentin testausvaiheen jättää pois prosessista?

Edellä mainittu FD-ovensuljinten testausvaiheen kehitys on työn päätavoite. Toisena tutkimusaiheena on FD-ovensulkimien valmistuksessa syntyvien hukkakappaleiden tutkiminen. Tutkimuksen tarkoituksena on hukkakappaleisiin johtavien juurisyiden tunnistaminen ja sitä kautta mahdolliset kehitysehdotukset kyseisen hukan vähentämiseksi.

Kolmantena tutkimuskohteena opinnäytetyössäni tarkastellaan työn ergonomiaa FD-ovensulkimien valmistuksessa. Tässä osuudessa on tarkoitus tutkia puutteita FD-solussa ergonomian osalta ja pohtia miten puutteet voitaisiin korjata.

Tämä opinnäytetyö koostuu pääosin kolmesta eri osa-alueesta, jotka ovat teoriaosuus, käytännön osuus sekä tulokset ja pohdinta. Teoriaosiossa käydään läpi laatua yleisesti sekä erilaisia tuotannon kehitystyökaluja ja filosofioita, joita myöhemmin käytetään tuotantomenetelmien kehityksessä ja laadun tutkimisessa. Abloy Oy käyttää toiminnoissaan paljon lean-oppeja ja tuotannon filosofioita, joten niitä käytetään myös tässä työssä. Teoriaosuudessa käsittelen lisäksi työn ergonomiaa. Teoriatietoutta ja lähteitä etsin alan kirjallisuudesta ja käytän hyödyksi myös aikaisempia tutkimuksia ja tuloksia aiheista. Käytännön osuuden sekä taustatutkimuksen kehityksen alaisesta tuotantosolusta ja sen toiminnoista suoritan jalkautumalla tuotannon pariin ja tehden työtehtäviä siellä. Tulokset ja pohdinta-osioissa kerrotaan työssä saatuja tuloksia ja mahdollisia kehitysmenetelmiä sekä tarkastellaan niiden hyödyllisyyttä ja soveltuvuutta. Tuloksia vertailaan suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. Pohdinta-osiossa käsitellään myös omaa kehittymistäni opinnäytetyöprosessin aikana.

Opinnäytetyöni on toiminnallinen tutkimustyö. Toiminnallisen opinnäytetyön tavoitteena on käytännön toiminnan ohjeistaminen, opastaminen, toiminnan järjestäminen tai järjeistäminen. Toiminnallisen opinnäytetyön tuotoksena voi olla esimerkiksi uusi työohjeistus tai jokin muu ohje tai opastus. (Vilkkä & Airaksinen 2004, 9.)

1.2 ASSA ABLOY -konserni

ASSA ABLOY -konserni tunnetaan maailmalla johtavana oviympäristöratkaisujen toimittajana. Konsernin toiminta-ajatuksena on toteuttaa ja toimittaa asiakkailleen helppoja ja turvallisia sovelluksia ovien avaamiseen ja sulkemiseen. ASSA ABLOY tarjoaa tuotteita erilaisiin ilmasto-olosuhteisiin sekä moniin erilaisiin rakennuksiin täyttäen kuluttajan tarpeet sekä turvallisuusvaatimukset laadukkaasti ja sopivalla hinnalla. (ASSA ABLOY 2012.)

Konserni syntyi vuonna 1994, kun kaksi lukitusalan toiminutta yritystä, Assa ja Abloy fuusioituivat. Konserni on nykyään listattuna Tukholman pörssissä. Fuusioitumisen jälkeen ASSA ABLOY on jatkanut kasvuaan jatkuvasti jo olemassa olevilla markkinoilla, sekä myös pyrkimällä uusille markkina-alueille. Se on laajentunut myös muun muassa ostamalla muita lukitusalan yrityksiä itselleen. (ASSA ABLOY 2012.)

Nykyään ASSA ABLOY -konserniin kuuluu useita tytäryhtiöitä. Konserniin kuuluu kokonaisuudessaan noin 43000 työntekijää ympäri maailmaa. Sillä on toimintaa yli seitsemässäkymmenessä maassa ja sen toiminta on jaettu kolmeen alueelliseen divisioonaan ja lisäksi kahteen globaaliin divisioonaan. Alueelliset divisioonat ovat Americas, EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka) ja Asia Pacific. Näissä valmistetaan ja myydään mekaanisia lukkoja, sähkömekaanisia lukkoja, sylintereitä, turva-ovia sekä laitteita. Jokaisen divisioonan tuotteet täyttävät paikalliset turvallisuusvaatimukset ja standardit. Globaalit eli maailmanlaajuiset divisioonat Global Technologies ja Entrance Systems valmistavat ja myyvät sähköistä kulunvalvontaa ja tunnistamistuotteita maailmanlaajuisesti. (ASSA ABLOY 2012.)

1.2.1 Abloy Oy

Abloy Oy on osa ASSA ABLOY -konsernia. Ensimmäinen Abloy Oy:n lukko-avain-yhdistelmä keksittiin jo vuonna 1907 Emil Henrikssonin toimesta. (Abloy Oy 2013.) Henrikssonin kehitelemä ABLOY-lukko on noteerattu Suomen keksintösäätiössä yhdeksi Suomen parhaista keksinnöistä. Aikaisemmat lukot toimivat tappihaittasylinteri-tekniikalla. Henrikssonin kehittämä levyhaittasylinteri-tekniikkaan perustuva lukko mullisti lukitusalan murtovarmuudellaan sekä lähes loputtomalla sarjoitusmahdollisuudellaan. Kaikki nykyiset ABLOY-lukot perustuvat edelleen samaan ideaan. (Suomen keksintösäätiö 2013.)

Laatu ja ympäristöasiat ovat keskeisessä osassa Abloy Oy:ssä ja yritys onkin edelläkävijä teollisuuden ja laatu- ja ympäristöjärjestelmien kehityksessä. Abloy Oy:llä on käytössään sertifioitu SFS-EN ISO 9001:n mukainen laatujärjestelmä

ja SFS-EN ISO 14001:n mukainen ympäristöjärjestelmä. Myös yrityksen työterveys- ja turvallisuusjohtamisjärjestelmä on sertifioitu OHSAS 18001 -standardin mukaan. Sertifioitujen järjestelmien kattavat Abloy Oy:n kaikkien liiketoimintayksiköiden kaikki osa-alueet, mukaan lukien markkinoinnin ja myynnin. (Abloy Oy 2013.)

Abloylla Oy:llä on kaksi tuotantolaitosta Suomessa, jotka sijaitsevat Joensuussa ja Björkbodassa. Joensuun tehdas valmistaa lukitustuotteita moniin erilaisiin käyttökohteisiin. Valmistettavia tuotteita ovat esimerkiksi lukot, ovensulkimet, rakennushelat ja oviautomaatiikka. Björkbodan tehtaan tuotantoon kuuluu laaja kattaus mekaanisia ABLOY-lukkorunkoja sekä sisä- että ulko-oviin. (Abloy Oy 2013.) Abloy Oy:llä oli aikaisemmin myös kolmas tehdas Suomessa, mutta sen toiminta päätettiin lopettaa vuoden 2010 yhteistoimintaneuvotteluissa. Lopetetun Tampereen tehtaan toiminta siirrettiin Joensuun tehtaan yhteyteen vuoden 2012 loppuun mennessä. (Seppälä 2010.)

Abloy Oy:n liikevaihto vuonna 2012 oli 159 717 000 euroa ja henkilöstömäärä noin 820 (Taloussanomat 2013). Joensuun tehtaalla työskenteli vuonna 2013 noin 700 henkilöä. Abloy Oy teki vuoden 2013 loppupuolella merkittävän suuren sopimuksen Euroopan suurimpiin lukeutuvan teleoperaattorin kanssa. Sopimus koskee lukitus- ja kulunhallintajärjestelmän toimittamista. Tämän projektin loppuun suorittaminen kestää ainakin viisi vuotta ja kauppaja on mahdollisesti luvassa lisää. Tämän johdosta työvoiman tarve Abloy Oy:llä todennäköisesti kasvaa jatkossa entisestään. (Karjalainen 2013.)

1.2.2 Abloy Oy:n Door Control -yksikkö

Abloy Oy:n toiminta on jaettu kuuteen eri liiketoimintayksikköön, jotka ovat seuraavat:

- Network solutions
- Sähkölukot
- Door Control
- Lukot
- Rakennushelat
- Lukkorungot.

Näistä ainoastaan Lukkorungot yksikkö sijaitsee Abloy Oy:n Björkbodan tehtaalla, muut sijaitsevat Joensuun yksikössä. (Abloy Oy intranet 2013.)

Oman opinnäytetyöni suorituspaikkana toimii Door Control -yksikössä sijaitseva palo-ovensulkimia ja palosulkujärjestelmiä kokoon paneva tuotantosolu, eli FD-solu. Door Control -yksikössä valmistetaan FD-tuotteiden lisäksi tavallisia ovensulkimia moniin erilaisiin oviin sekä oviautomatiikkaa. Oviautomatiikan tehtävänä on tuoda helppokäyttöisyyttä ja mukavuutta oviin, joiden käyttö on runsasta, kuten kauppakeskuksien ovet. Oviautomatiikkaa käytetään myös paikoissa, joissa vältetään kosketusta hygieniasyistä tai helpotetaan liikuntaesteisten oven käyttöä. Door Control -yksikön toiminta pohjautuu hyvin paljon vientiin. Jopa 70 prosenttia yksikön liikevaihdosta tulee viennistä. (Abloy Oy intranet 2013.)

Door Control -yksikön tavoitteena on kasvattaa työn tuottavuutta kahdesta kolmeen prosenttia vuodessa. Tähän päästäkseen työkaluina käytetään muun muassa työmenetelmien kehitystä, komponenttien laadun kehitystä, joustojen ja työajan lyhennysvapaiden käyttöä sekä työajan tehokasta käyttöä. Jokaisen työpisteen työsuorituksen tavoitetaso tulee olla selvillä ja työntekijät kirjaavat vuoron aikana saavuttamansa tuotokset tuottavuustaulukoihin. Jos tuottavuuden tavoitteeseen ei päästä, kirjaa työntekijä taulukkoon syyt tavoitteesta jäämiseen. Esimiesten tehtävänä on seurata tuottavuutta päivittäin ja puuttua tarvittaessa ongelmiin. (Abloy Oy intranet 2013.)

2 Laatu ja työn ergonomia

2.1 Mitä laatu on?

Laadulle on mahdotonta antaa yksiselitteistä määritelmää, koska tarkastelunäkökulmia on useita. Monesti laatu ymmärretään asiakkaan tarpeiden täyttämisenä mahdollisimman tehokkaalla ja taloudellisella tavalla. Asiakkaan tyytyväisyyteen ei tulisi pyrkiä hinnalla millä hyvänsä, jos oma kannattavuus samalla kärsii, vaan tulisi tehdä kompromisseja. Esimerkiksi pankin asiakkaiden tarpeet tulisi varmasti täytettyä, jos pankki myöntäisi lainaa nollakorolla. Se ei tekisi pankin toiminnasta laadukasta vaan pikemminkin kannattamatonta. (Lecklin 2006, 18.)

Laadun määritelmä amerikkalaisen ANSI/ASQC-A3-1978-standardin mukaan on tuotteen tai palvelun ominaisuudet, joilla täytetään olemassa olevat tarpeet. Sisältö on sama myös Suomen standardissa SFS-EN ISO 8402, mutta siinä painotetaan tarpeiden vaihtelua tarkastelijasta riippuen. Tarpeet täytyy määrittää aina tapauskohtaisesti ja niitä täytyy tarkastella määrääjain. Erilaisia tarpeita tuotteelle voi olla soveltuvuus käyttötarkoitukseen, turvallisuus, toimintavarmuus, huollettavuus, taloudellisuus ja niin edelleen. Ongelmana näissä ominaisuusperusteisissa kriteereissä on se, että ne eivät perustu standardiin tai niille ei ole yhdenmukaista arviointiperustetta. (Andersson & Tikka 1997, 18.)

2.2 Laatugurut

Tunnetuimpia henkilöitä laadun kehittämisessä ja laatufilosofioiden luomisessa ovat kansainvälisesti W. Edwards Deming, Joseph Juran, Philip Crosby, Armand Feigenbaum ja Kaoru Ishikawa. Heidät tunnetaan laatuguruina ja laatuvalankumouksen isinä. (Andersson & Tikka 1997, 22.)

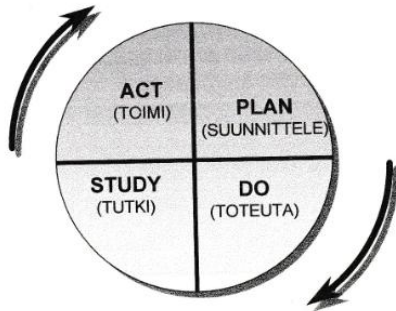
Deming

Edellä mainituista eniten laadun hallintaan ja laatuajattelun kehittymiseen on vaikuttanut Walter Edwards Deming. Toisin kuin muut laatugurut, Deming ei koskaan määritellyt tarkasti omaa laatukäsitettään. Demingin mukaan vaihtelu on keskeisin laatuongelman syy. Hänen filosofiansa tavoitteena onkin parannuksien tekeminen tuotteisiin sekä palveluihin vähentämällä epävarmuutta ja vaihtelua suunnittelussa sekä valmistuksessa. (Andersson & Tikka 1997, 22.) Laadun parannuksella saadaan muutettua hukkaan menneet työtunnit ja kone-aika hyviksi tuotteiksi ja palveluksi, jotka johtavat kustannuksien alenemiseen, parempaan kilpailukykyyn, tyytyväisempiin työntekijöihin ja uusiin työpaikkoihin (Deming 2000, 2).

Demingin mukaan on myös nimetty aiemmin Sewhart-ympyränä tunnettu menetelmä. Parannusympyrä tunnetaan myös PDCA-ympyränä, koska aikaisemmin tutkimus -lohkon paikalla oli tarkastus eli check-lohko. (Andersson & Tikka 1997, 53–54.)

Suunnittelulohkossa (ks. kuvio1) mietitään tärkeimmät tavoitteet sekä mitä tietoa ongelmasta on etukäteen ja suunnitellaan testin kulku. Toteutusvaiheessa tehdään testi suunnitelman mukaan mieluiten pienessä mittakaavassa. Kolmannessa, eli tutki -lohkossa tehdään havaintoja testistä. Viimeisessä vaiheessa tehdään havaintojen perusteella tarvittavat muutokset. (Deming 2002, 88.)

Demingin ympyrää voi käyttää lähes ongelmaan kuin ongelmaan. Toimintamallissa kierretään ympyrän lohkoja järjestyksessä ongelman ratkaisuun saakka. Jos ongelma ei ratkea ensimmäisellä kierroksella, niin aloitetaan uusi kierros alusta käyttäen hyödyksi aiemmilta kierroksilta saatua tietoa. (Andersson & Tikka 1997, 53–54.)



Kuvio 1. Demingin ympyrä (Andersson & Tikka 1997, 54).

Juran

Juranin opeissa pääpaino on kolmessa laatuprosessissa eli niin sanotussa laatutrilogiassa. Ensimmäisenä on laadun suunnittelu, jossa laatutavoitteet valmistaudutaan täyttämään. Toisena trilogiassa on laadun ohjaus joka tarkoittaa sitä, että laatutavoitteet pyritään saavuttamaan prosessin aikana. Viimeisenä trilogiassa on laadun parantaminen, jossa toimintaa pyritään kehittämään entisestään. (Juran 1992, 14–16.) Trilogiassa laadun suunnittelun tehtävät ovat: tunnistaa kuka on asiakas, määritä asiakkaan tarpeet, ymmärrä asiakkaan tarpeet, kehitä tuote vastaamaan tarpeita ja optimoi tuotteen ominaisuudet siten, että ne vastaavat sekä omia, että asiakkaan tarpeita. (Ho 1999, 56–57).

Juranin filosofiassa kannatetaan selvittämään prosessin tavoitetila, eli minkälainen prosessin haluttaisiin olevan. Kun mitataan nykytila samoilla suureilla kuin tavoitetilassa, saadaan selville mihin toimenpiteisiin tulisi ryhtyä. (Andersson & Tikka 1997, 24.)

Crosby

Philip B. Crosby toimi ITT:n varapääjohtajana 14 vuotta. Vuonna 1979 hän perusti laatukonsulttitoimiston ja julkaisi kirjan nimeltä "Quality is free" eli laatu on ilmaista. Crosby'n filosofian mukaan laatu tarkoittaa yhteensopivuutta vaatimusten kanssa. Crosby'n mukaan laadun standardisuurituskyky tulisi olla nollavirhetaso ja prosesseissa laatuongelmia tulisi ennaltaehkäistä. Hänen mukaansa

ammattilaisten tapa toimia on pyrkiä tekemään asiat kerralla oikein. Virheiden korjaamisen sijasta pitäisi pyrkiä ehkäisemään niiden syntyä. (Cole 1999, 86.)

Ishikawa

Kaoru Ishikawa oli yksi keskeisin japanilaisten laatustrategioiden ja laadun kehittämisen luoja. Arvioiden mukaan ilman Ishikawan panosta laatutoiminnan parissa, Japanin teollisuus ei olisi yhtä hyvällä ja arvostetulla mallillaan kuin nyt. (Andersson & Tikka 1997, 26–27.) Ishikawa vaikutti vahvasti tilastollisten tekniikoiden yksinkertaistamiseen teollisuuden laadunhallinnassa (Ho 1999, 61).

Ishikawan toimesta laadunhallinnan käsite laajeni koskemaan kaikkia osa alueita yrityksessä sekä myös ulkoisia toimijoita, kuten alihankkijat. Hänen laatuperiaatteensa on siis kokonaisvaltainen laadunhallinta. (Kelada 1996, 24.)

Keskeisiä elementtejä Ishikawan filosofiassa Anderssonin ja Tikan (1997, 26–27) mukaan ovat:

- Laatu alkaa koulutuksella ja loppuu koulutuksella.
- Ensi askel laatuun on asiakkaiden tarpeiden ja vaatimusten tunteminen.
- Poista ongelmien perussyyt, älä oireita.
- Älä sekoita keinoja ja tavoitteita.
- Laadunvarmistus on kaikkien osastojen ja työntekijöiden asia.
- Aseta laatu ensimmäiseksi ja tähtäimeksi pitkän aikavälin voitot.
- 95 % yritysten ongelmista voidaan poistaa yksinkertaisilla ongelmanratkaisutyökaluilla.
- Numeerinen tieto ilman hajontatietoa on käyttökeltontonta.
-

2.3 Laatu järjestelmät

Laadun varmistamiseen on olemassa toimialasta riippumaton ISO 9001 - yleisstandardi, jonka mukaan on sertifioitu laatu järjestelmiä eniten maailmalla. (Lecklin & Laine 2009, 245). Sertifiointilla tarkoitetaan laatu järjestelmän virallistamista, jonka suorittaa akkreditoitu elin. Suomessa sertifiointeja hoitaa muassa SFS, eli Suomen standardisoimisliitto. (Andersson & Tikka 1997, 105.)

Kun yrityksellä on standardin mukaan sertifioitu laatujärjestelmä, viestii se asiakkaalle, että yritys pystyy toimimaan laadukkaasti täyttäen asiakkaan, lakien ja viranomaisten vaatimukset. Laatujärjestelmiä on mahdollisuus täydentää myös muilla erillisillä sertifikaateilla kuten ISO 14001:llä, joka kertoo yrityksen ottavan ympäristöasiat huomioon toiminnoissaan. (Lecklin & Laine 2009, 245–246.)

2.4 Laatu-kustannukset

Laatukustannusten voidaan sanoa olevan seurausta siitä, kun yrityksen eri tasoilla ja toiminnoissa ei toimita "kerralla oikein" -periaatteen mukaan. Laatukustannusten pääasiallisia lähteitä ovat virheiden tekeminen, etsiminen ja niiden korjaaminen. Monesti laatukustannuksien aiheuttajia eli laatuvirheitä lähdetään etsimään sieltä, mistä ne ovat helpoiten havaittavissa eli tuotannosta. Näin toimiessa muiden syiden, kuten esimerkiksi tuotteen suunnitteluvaiheessa tehtyjen virheiden aiheuttamat ongelmat voivat jäädä kokonaan havaitsematta. Laatu-guru Feigenbaum esitti, että kokonaislaatu-kustannukset voidaan jakaa kuvion 2 mukaisesti neljään ryhmään. (Andersson & Tikka 1997, 31–33.)



Kuvio 2. Kokonaislaatu-kustannukset Feigenbaumin mukaan (Andersson & Tikka 1997, 32).

Sisäisiin virhekustannuksiin luetaan kustannukset, jotka aiheutuvat tuotantoprosessin aikana, kuten uudelleen työstöstä tai huonoista materiaaleista. Ulkoiset

virhekustannukset taas muodostuvat tuotteen toimituksen jälkeen. Niihin kuuluvat takuut, palautukset ja niin sanotut näkymättömät kustannukset, jotka aiheutuvat esimerkiksi asiakkuuden menetyksistä, kun asiakas on ollut tyytymätön tuotteeseen. (Ross & Perry 1999, 365–366.)

2.5 Laatuongelmat

Laatuongelmien hallitsemiseksi ongelmat täytyy havaita ja rajata. Vasta tämän jälkeen niihin on mahdollista alkaa paneutumaan systemaattisemmin erilaisilla menetelmillä. Tavallisimmin laatuongelmat juontavat juurensa useisiin eri lähteisiin. Tällaisia lähteitä voivat olla esimerkiksi se, ettei olemassa olevaa tuotantoprosessia tunneta ja hallita oikein, ideaaliprosessin toimintaa ei tiedetä, ei osata tehdä prosessien edellyttämiä tehtäviä oikein, asiakkaiden odotuksia ja prosessin tavoitteita ei ole tiedossa ja se, ettei ole pyritty yksinkertaisuuteen ratkaisuissa ja kokonaisuuksissa. Tuotannossa laatuongelmat kiteytyvät monesti itse tuotantojärjestelmän puutteisiin. Näistä esimerkkinä mainittakoon huolimaton tuotesuunnittelu, laaduntuoton mittauksen laiminlyönti, riittämättömät vastaanototarkastukset, työntekijöiden huono ohjeistus tai koulutus, epätarkat kalibroimattomat mittavälineet ja huonot tuotanto-olosuhteet. (Andersson & Tikka 1997, 51.)

Monesti kiirettä pidetään selityksenä laatuongelmille. Se ei kuitenkaan ole hyväksyttävä selitys, sillä monesti virhe on seurausta toimintojen muuttamisesta laaduttomampaan suuntaan. Kiire syntyy kun yritetään tai vaaditaan liikaa prosessilta, eli toisin sanoen lyhennetään prosessiaikaa samalla tarkastusten tai muiden laadunvarmistukseen liittyvien toimintojen jäädessä vähemmälle. Näin ollen virheitä syntyy enemmän. Toki henkilökohtainen kiireen tunne aiheuttaa henkistä painetta ja estää keskittymästä ja voi näin ollen aiheuttaa ongelmia. (Salomäki 1999, 32.) Pareto -periaatteen mukaan 80 prosenttia kaikista laatuongelmista juontaa juurensa 20:en prosenttiin kaikista ongelmaan johtaneista syistä (Charantimath 2003, 71).

2.6 Ergonomia

Ergonomiasta on monia määritelmiä eri järjestöjen standardoimana, mutta perussisällöltään ne ovat hyvin samanlaisia keskenään. Launiksen & Lehtelän (2006, 12) mukaan ergonomian käsitteenä voi avata seuraavasti:

Ergonomia tutkii ihmisen, työn ja tekniikan vuorovaikutusta ja tuottaa tietoja ja menetelmiä, joiden avulla järjestelmät, tehtävät ja ympäristö sovitetaan ihmisen ominaisuuksien, kykyjen ja tarpeiden mukaiseksi. Ergonomian tavoitteena on ihmisen turvallisuus, terveys ja hyvinvointi sekä toiminnan tehokkuus, laadukkuus ja sujuvuus.

Suomessa on käytössä myös suppeampi ergonomiakäsitys, joka keskittyy työn fyysiseen tarkasteluun. (Launis & Lehtelä 2006, 12.)

Työntekijän fyysiseen terveyteen vaikuttavia tekijöitä eli työn kuormitustekijöitä ovat muun muassa työmenetelmät, työasennot, työn fyysinen raskaus, työssä vaadittava tarkkaavaisuus, työvälineet ja työyhteisö. Töiden ja työmenetelmien kehittäminen monipuolisesti ihmisen ominaisuuksien pohjalta parantaa työntekijän hyvinvointia ja tulosta kahdella tapaa. Ensinnäkin se antaa mahdollisuuden parempaan työsuoritukseen ja toisekseen se vähentää sairauskustannuksia. (Työturvallisuuskeskus 2006, 122.) Työn fyysiseen rasittavuuteen vaikuttaa osaltaan myös työntekijän henkilökohtaiset ominaisuudet, kuten lihasmassan suuruus ja voiman käyttö. Työn ergonomiaa ja kuormitusta olisi tarpeellista arvioida erityisesti kohteissa, joissa on runsaasti taakkojen käsittelyä, staattista lihastyötä, voiman käyttöä tai yksipuolisia työliikkeitä. (Työterveyslaitos 2002, 28.)

Työstä tai työpaikalta aiheutuneita sairauksia kutsutaan työhön liittyviksi sairauksiksi, jonka alakäsitteitä ovat työperäiset sairaudet sekä ammattitaudit. Työhön liittyviksi sairauksiksi lasketaan kaikki sairaudet, joissa työllä on ollut osaa edes jonkin verran. Ammattitaudeiksi lasketaan sairaudet, joissa pääasiallinen aiheuttaja on ollut työ. Työperäisiksi taas ne, joissa työn osuus sairauden aiheuttajaksi on alle 50 prosenttia. (Työterveyslaitos 2013.)

Ergonomian selvitysmenetelmät

Työprosessien ergonomian selvitysanalyysien tarkoituksena on tukea ihmisen toiminnan huomioimista mahdollisten kuormitustilanteiden välttämiseksi kehitetäessä prosessia. Analyysien perusteella täytyisi saada ymmärrys työn tavoitteista, mitä työssä tehdään ja miten, toimintajärjestelmän rajoitteista sekä millaisia toimintajärjestelmän kehittymistä tukevia seikkoja toimintaympäristöön liittyy. (Työterveyslaitos 2002, 25.)

Työpaikkojen ergonominen selvitysmenetelmä on yleinen menetelmä, jonka jokainen käyttäjä voi muokata itselleen tai yritykselleen sopivaksi. Menetelmä perustuu työpaikan ja työn havainnointiin sekä keskusteluihin työntekijöiden ja työnjohdon kanssa. Selvitykseen sisältyy ohjelomake, jossa ohjeistetaan läpikäytävät asiat ja arviointilomake, johon kirjataan huomiot. Selvityksen läpikäytävät osiot ovat työtilan kokonaisjärjestelyt, työtehtävät ja työn sisältö, työpisteen ominaisuudet, ohjaimet, näytöt ja tiedonkäsittely, työvälaineet, tuotteen ominaisuudet, nostaminen ja kantaminen, valaistus, lämpöolot, ääniolot sekä työn opastus ja ohjeistus. Selvityksessä on tarkoituksena löytää korjattavat seikat sekä tehdä mahdolliset pienemmät muutokset heti sekä sopia suuremmista muutoksista ja niiden hoitamisesta. (Työterveyslaitos 2002, 28.)

Kuviossa 3 on ote selvityslomakkeesta. Kyseisessä osassa käsitellään nostamista ja kantamista työssä. Lomakkeessa on oma kohtansa huonoille ratkaisuille, joihin tarvitaan kehitystä sekä hyvälle ratkaisuille, joista voidaan ottaa mallia muihin työpisteisiin. Kohteille annetaan numero yhdestä kolmeen. Numero yksi tarkoittaa asian olevan kunnossa, numero kaksi tarkoittaa että kohteeseen ehdotetaan muutosta. Kohde joka saa numeron kolme on niin vaarallinen tai hankala, että tarvitaan välittömiä muutoksia. Lomakkeeseen voidaan kirjata myös ratkaisemattomat ongelmat ja kuinka niiden kanssa edetään. Lopuksi kaikkien osioiden tulos kirjataan yhteenvetolomakkeeseen. (Työterveyslaitos 2010.)

8. Nostaminen ja kantaminen		1	2	3
kuormitusaste * raskaat työvaiheet * taakka * nostoympäristö ja -tapa * apuvälineet				
⊖				
⊖				
✓				
⊕				
?				

Kuvio 3. Ote ergonomian selvityslomakkeesta (Työterveyslaitos 2010).

3 Tuotannon tehostaminen ja sen työkalut

3.1 Lean

Lean-toimintamalli on peräisin Japanista, jossa toisen maailmansodan jälkeen maa yritti palautua jaloilleen tuhoisien pommituksien jälkeen. Autoteollisuuden yritys Toyota alkoi pyrkiä globaaleille markkinoille ja sinne päästäkseen heidän oli toimitettava korkealaatuisia tuotteita kilpailukykyiseen hintaan. Toyotalla mielitettiin, että tuohon päästäkseen on saatava tehtyä enemmän vähemmällä vaivalla. Niinpä siitä lähti syntymään TPS eli Toyota Production System, joka nykyään tunnetaan paremmin leanina. (Zidel 2006, 2.)

Nykyään lean on johtavana tuotantoperiaatteena lähes kaikilla toimialoilla. Yritykset jotka toimivat lean-periaatteiden mukaan ovat tavallisesti oman toimialansa kannattavimpia ja niiden kasvu on nopeinta. Toimintamallin pyrkimyksenä on luoda toimintaan tarkoituksenmukaisuutta, järkevyyttä ja täsmällisyyttä asiakasnäkökulmasta. Jatkuva kehitystyö ja tuotannon organisointi ovat osia alueita, joissa lean-toimintamalli on selkeästi nähtävissä. Leanin toimintatavat ovat sidottu vahvasti yrityksen kulttuuriin ja henkilöstöön. (Kouri 2009, 6.)

Leanissa kyse on erilaisten hukkien eliminoimisesta kaikissa tuotannon osaluissa tuotesuunnittelusta ja valmistuksesta aina myyntiin ja toimitukseen (Smith & Hawkins 2004 16). Hukkana pidetään kaikkea, mikä ei tuota lisäarvoa valmistusprosessissa eli ei edistä tuotteen valmistumista kuten turha odottelu, siirrot ja varastointi (Tuominen 2010a, 86). On muistettava kuitenkin, että hukka voi olla erilaista riippuen asiakasryhmästä. Toiselle asiakkaalle merkittävä tekijä voi olla toiselle hukkaa. (Bicheno & Holweg 2009, 18.)

Tavoitteena on helpottaa työntekijän työtaakkaa, vähentää aikaa vastata asiakkaan vaatimuksiin ja tuottaa huippulaatua kustannustehokkaalla tavalla. Tarkoituksena ei ole tehdä työntekijän työtä tarpeettomaksi parannuksilla vaan nimenomaan saada työntekijä itse mukaan jatkuvaan parannustyöhön alusta alkaen. (Smith & Hawkins 2004, 14.) Toimintaa kehitetään siellä, missä asiak-

kaan saama arvo todella syntyy eli tuotannon parissa. Laatuajattelu on keskeisessä osassa lean-toimintaa. Tuotteen ja toiminnan laadun varmistamiseksi tehdään kaikki mahdolliset toimenpiteet ja laadusta vastuussa ovat kaikki yrityksen työntekijät. (Kouri 2010, 6.)

Myös toimeksiantajayrityksessä Abloy Oy:llä lean-toimintatavat valtaavat yhä enemmän alaa. Samalla lähestytään entistä tehokkaampaa ja viihtyisämpää työpaikkaa. Lean-toimintatapojen käyttöönoton edistymistä konsernin EMEA-divisioonan tehtaissa seurataan ja arvioidaan säännöllisesti konsernin toimesta. (Hirvola-Kostamo 2013, 13.)

Hirvola-Kostamon (2013, 13) mukaan Abloy Oy:llä on ollut paljon tekemistä jatkuvan parantamisen parissa, mutta työ ei suinkaan ole ollut turhaa. Leanin eteen tehty työ on palkitsevaa, koska tulosta on syntynyt aiempaa fiksummalla tavalla eli vähemmällä työmäärällä on saatu enemmän tulosta.

Abloy Oy:ssä lean-tarkkailun alla on ollut eri liiketoimintayksiköiden tuotanto. Arvioinnissa käydään läpi ennalta määrätyt toiminnan osa-alueet ja ne pisteytetään. Pisteytyksessä määrää se, miten pitkälle ja kuinka systemaattiseksi toiminta on kussakin yksikössä kehittynyt. Tällaisia alueita Hirvola-Kostamon (2013, 13) mukaan ovat:

- työtehtävien standardoiminen, johon sisältyy ohjeistus ja mittaaminen
- virheiden dokumentointi niiden karsimiseksi
- tuotantovälineiden ylläpito
- työn etenemisen pullonkaulojen poistaminen
- järjestys ja virtaus
- materiaalin hallinta ja asiakaspalvelu
- johtaminen
- kulttuuri ja viestintä
- arvoketjuanalyysien tekemisen ja ymmärtämisen taso
- 5S
- visuaalisuus
- asetusaikojen lyhentäminen.

3.1.1 Viisi leanin toimintaperiaatetta

Ensimmäisessä vaiheessa tulisi määrittää tuotteen ja palvelun arvo asiakkaan näkökulmasta. Arvon määrittämisellä pyritään huomaamaan mistä seikoista asiakas on valmis maksamaan ja taas vastaavasti ne seikat, joista ei ole asiakkaalle hyötyä tai ne ovat vähemmän tärkeitä. Arvoa määritettäessä on myös tärkeää tietää kuka milloinkin on asiakas, onko se loppuasiakas vai kenties seuraava prosessi tai yritys. Arvon määrittäminen on tärkeää siksi että osataan ohjata kehitystoimintaa oikeisiin kohteisiin. (Bicheno & Holweg 2009, 12.)

Periaatteissa toisena vaiheena tulee arvoketjun tunnistaminen. Arvoketjussa kuvataan tuotteen matka raaka- aineesta loppuasiakkaalle asti. Jos vain on mahdollista niin olisi hyvä katsoa toimitusketjua kokonaisuudessaan koska on selvää, että voit olla vain niin hyvä, kuin toimitusketjun heikoin lenkki on. (Bicheno & Holweg 2009, 12.) Arvoketju kuvataan että voidaan huomata ne osa-alueet toimitusketjusta joissa ei tuoteta arvoa asiakkaalle. Osa-alueet, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaalle pyritään poistamaan ja taas arvoa tuottavia osa-alueita pyritään tehostamaan. (Kouri 2010, 8.)

Kolmantena periaatteena tulee virtaus. Bichenon ja Holwegin (2009, 12–13) mukaan kannattaa pyrkiä yhden kappaleen virtaukseen. Tavoitteena kannattaa olla myös se, että tuotteet virtaavat arvoketjussa pysähtymättä. Vältetään siis erävalmistusta ja jonoja tuotannossa, koska se lisää keskeneräisen työn määrää, varastoja ja sitä kautta kustannuksia. Virtaus periaatteeseen pääseminen vaatii paljon valmistelutoimenpiteitä, kuten mahdollisesti tuotantotilojen uudelleenjärjestelyä. Suuresta työmäärästä huolimatta nämä toimenpiteet kuitenkin vievät kohti yksinkertaista ja nopeaa virtausta.

Imu on neljäs kohta periaatteissa. Imulla tarkoitetaan tässä yhteydessä vastaamista asiakkaan vaateisiin lyhyellä aikajänteellä. Tällöin tuotteet ja osat valmistetaan todellisen tarpeen mukaan vasta, kun tilaus on saatu. Imuohjauksessa vältetään tuotteiden tekemistä varastoon. Koko toimitusketjun on hyvä toimia

imuohjaus periaatteen mukaan, jotta saadaan koko hyöty irti. (Bicheno & Holweg 2009, 13.)

Viimeisenä leanin toimintaperiaatteena on täydellisyys tai vastaavasti ohje "pyri täydellisyyteen". Aikaisemmat neljä periaatetta läpikäytyään ja toteutettuaan täydellisyys on jo paljon lähempänä. (Bicheno & Holweg 2009, 13.) Täydellisyyteen pääseminen on kuitenkin lähes mahdotonta, koska aina löytyy hukkaa tai mahdollisuuksia parantamiseen. Hukkaa löytyy yleensä sitä enemmän, mitä perusteellisemmin prosessia tarkastelee. (Tuominen 2010a, 90.) Täydellisyydellä ei tarkoiteta pelkästään tuotetta ilman vikoja. Tässä yhteydessä sillä tarkoitetaan juuri asiakkaan haluaman tuotteen toimittamista ilman viivytyksiä, reiluun hintaan ja minimaalisella hukan tuotolla. Eli yksinkertaisuudessaan lean-periaatteiden mukaan toimittaessa pyritään kaikissa toiminnoissa kohti täydellisyyttä jatkuvalla parantamisella ja hukkien poistamisella. Lean -ajattelumallissa opitaan virheistä ja virheet nähdäänkin mahdollisuuksina parantaa toimintaa. (Bicheno & Holweg 2009, 9–13.)

3.1.2 Hukka

Tuomisen (2010b, 7) mukaan useimmissa prosesseissa vain noin 10 prosenttia on lisäarvoa tuottavaa toimintaa ja loput 90 prosenttia ovat hukkaa. Bichenon ja Holwegin (2009, 29) mukaan arvoa tuottavaa toimintaa monissa prosesseissa, eri toimialoilla on kuitenkin vain 0,05–5 prosenttia. Lean-ajattelussa onkin kyse hukan väsymättömästä poistamisesta. Lean-ajattelussa ilmeneviä hukkia ovat ylituotannon hukka, turhan käsittelyn ja prosessoinnin hukka, odottamisen hukka, siirtojen tai kuljetusten hukka, turhien liikkeiden hukka, varastoinnin hukka sekä virheiden tai vikojen hukka. (Bicheno & Holweg 2009, 21–24.)

Ylituotannon hukkaa syntyy, kun tehdään tarpeetonta tuotetta tai tarpeellista tehdään enemmän, kuin sitä on tilattu. Ylituotannon hukasta seuraa myös varastoinnin hukkaa, kun yli tarpeen tuotetut kappaleet täytyy varastoida. Varastoinnin hukkaan liittyy myös kaikkien osien, komponenttien, tuotteiden ja vastaavien väliaikaista säilyttämistä ennen käyttöä tai toimitusta. Odottamisen hu-

kalla tarkoitetaan sitä, kun joudutaan odottamaan edellistä tai seuraavaa työvaihetta. Esimerkiksi odotetaan koneen työskentelyä tai vastaavasti, kun kone odottaa työntekijän suoritusta ennen koneeseen siirtoa. Odottamisen hukkaa voi syntyä myös kuljetusten odottamisesta.

Siirtojen ja kuljetusten sekä turhien liikkeiden hukka tarkoittaa taas sitä, kun tuotteen valmistusprosessissa tai kuljetuksissa tehdään turhia liikkeitä. Esimerkkinä tästä voi olla se, kun työpiste on suunniteltu huonosti ja työntekijä joutuu vaikka ottamaan turhia askeleita hakiessaan työkalua, joka voisi olla järkevämmin sijoitettuna työskentelypisteessä. Turhan käsittelyn ja prosessoinnin hukassa on kyse siitä, kun asiakkaan tilaamalle tuotteelle tehdään toimenpiteitä, joista asiakas ei ole valmis maksamaan saati kiinnostunut. Tällaista voi olla esimerkiksi kaikki turha hiominen, kiillottaminen tai maalaaminen, joita ei ole vaadittu tai ne eivät vaikuta tuotteen toimintaan. Virheiden ja vikojen hukassa on kyse laaduttomasta toiminnasta, josta seuraa virhekustannuksia tuotteen korjaamisen, tarkastamisen, lajittelun ja asiakkaiden reklamaatioihin vastaamisen muodossa. (Tuominen 2010b, 7.)

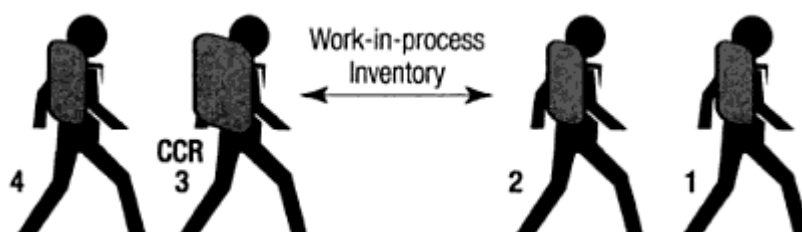
Tuomisen (2010b, 8) mukaan hukan tunnistamiseksi kannattaa kysyä "miksi" niin useasti, että työn suorittaja ja sinä itse tunnistat mitä hukka on kyseisessä vaiheessa. Myös hukkaan johtava tekijä ja se miten sitä voitaisiin välttää, täytyy selvittää.

Hukan poistamiseksi kannattaa lopettaa "näin on ennenkin tehty" -ajattelumalli. Yleisimpien hukan lähteiden tutkiminen, kuten varastointi, kuljetukset, siirrot, prosessiaika ja tarkastaminen on tärkeää hukan poistamisessa. Näitä tutkimalla löytyy varmasti kehitysehdotuksia. Hukan ehkäisemiseksi taas työvaiheita tulisi standardoida, että vaihtelua ei syntyisi erilaisista työtavoista tai menetelmistä. Hukan synnyn ehkäisyyn, tunnistamiseen ja poistamisen menetelmiä tulisi kehittää jatkuvasti. Töitä tehdessä ja suunniteltaessa on myös hyvä käyttää menetelmää "viisi kertaa miksi" ja sen jälkeen "miten". (Tuominen 2010b, 8.) "Viisi kertaa miksi" -menetelmässä on kyse jonkin juurisyyn tunnistamisesta. Menetelmässä edetään aukaisemalla ongelmaa vähän kerrallaan kysymällä "miksi", aina uudestaan, kunnes oikea ongelma eli juurisyyn on selvillä. Tämän jälkeen

voidaan tehdä ehkäisevät toimenpiteet, että sama syy ei aiheuttaisi enää ongelmia. (Bicheno & Holweg 2009, 185–186.)

3.2 Pullonkaulateoria

Theory of constraints (TOC) eli esteiden teoria -ajatusmallissa paneudutaan prosessia rajoittavien tekijöiden hallintaan. Prosessin rajoitteeksi eli esteeksi muodostuu vaihe tai resurssi, jossa on suurin kuormitus. Pullonkaulaksi kutsutaan vaihetta, joka ei pysty vastaamaan suureen kuormitukseen. (Bicheno & Holweg 2009, 165.) Valmistusprosessin kapasiteetti määräytyy siis rajoitteen eli pullonkaulan kapasiteetin mukaan. Esimerkiksi kuvassa 1 neljä vaeltajaa kuvaa valmistusprosessia, jossa on neljä työvaihetta. Jokainen henkilö vastaa yhtä työvaihetta. Henkilöllä kolme on suurin taakka ja hänestä muodostuu ryhmälle rajoite hänen ollessaan muita hitaampi. Ryhmän vaellusprosessi on valmis vasta kaikkien vaeltajien ollessa perillä. Ei ole siis väliä vaikka ryhmän muut jäsenet olisivat kuinka nopeita tahansa, vaan suoritus määräytyy heikoimman lenkin mukaan. Kolmas henkilö on vaellusprosessin pullonkaula. Pullonkaulan kapasiteetti CCR (Capacity of constraining resource) on samalla koko prosessin kapasiteetti. Samalla tapaa myös virtaavassa valmistusprosessissa prosessin tehokkuus muodostuu sen hitaimman työvaiheen mukaan. (Levinson 2007, 1–2.)



Kuva 1. Henkilö 3 vaeltajien rajoitteena (Levinson 2007, 1).

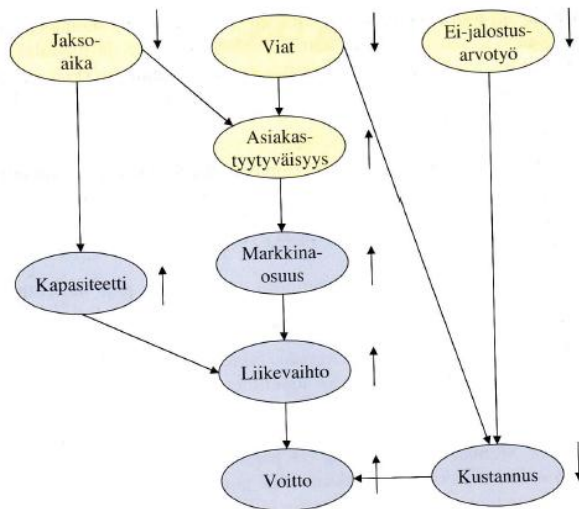
Prosessin tehokkuuden tai ajansäästön kannalta hyöty on mitätöntä jos aikaa säästetään jossain prosessin muussa vaiheessa, kuin pullonkaulan aiheuttavassa vaiheessa. Siksi onkin tärkeää ohjata parannustoimenpiteet pullonkaulan aiheuttajaan. (Bicheno & Holweg 2009, 165.)

3.3 Six Sigma & Lean Six Sigma

Six Sigma

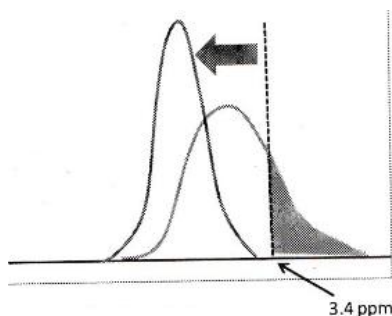
Six Sigmassa on kyse täydellisyyttä hipovien tuotteiden ja palveluiden toimittamisesta asiakkaalle. Lean toiminnan tapaan myös Six Sigmassa pyritään parantamaan kaikkia mahdollisia osa-alueita organisaatiossa ja täyttämään muuttuvien markkinoiden, teknologioiden sekä asiakkaiden tarpeet. Tavoitteena toiminnassa on tilastollinen nollavirhe-taso. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 17.) Six-Sigman pääasiallinen tarkoitus on muuttunut eri Six Sigma sukupolvien aikana. Ensimmäisen sukupolven (1984–1994) aikana pääasiallisena tarkoituksena oli virheiden vähentäminen. Sitä seurannut sukupolvi (1994–2001) taas käytti Six Sigmaa lähinnä kulujen vähentämiseksi. Kun kulujen karsimisesta tuli pääasia, samalla laadun parantaminen kärsi. Nykyään Six Sigman (2001–) tärkein tehtävä on arvon luominen. Se yhdistelee aikaisempien sukupolvien hyvät puolet eli kulujen ja virheiden karsimisen. Jotta tavoitteessa onnistuttaisiin se vaatii huolellista paneutumista ja opiskelua aiheeseen. (Harry, Mann, Hodgins, Hulbert & Lacke 2011, 7.)

Six Sigma projektin tulokset jakautuvat kuvion 4 mukaan neljään osa-alueeseen. Nämä ovat parantunut asiakastyytyväisyys, lyhentynyt läpimenoaika, vähentyneet viat ja jalostusarvottoman työn väheneminen. Parannukset näillä osa-alueilla taas johtavat väistämättä kustannussäästöihin, liikevaihdon kasvuun, mahdollisten uusien asiakkaiden tai uusien markkina-alueiden valtaamiseen. Parannukset korreloivat hyvin usein mittariin nimeltä sigma. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 17.)



Kuvio 4. Six Sigman vaikutukset (Karjalainen & Karjalainen 2002, 18).

Sigma (σ) on Kreikkalainen kirjain ja tässä tapauksessa se mittaa variaatiota minkä tahansa prosessin keskiarvon molemmin puolin. Six Sigma (6σ) taas on prosessin laadun mitta. Six Sigma tarkoittaa, että prosessissa keskiarvon alemman ja ylemmän speksirajan välille sallitaan kuusi standardipoikkeamaa. Mitä suurempi prosessin sigmaluku on, sitä vähemmän siinä on vaihtelua keskiarvon ympärillä. Tarkemmin sanottuna kuuden sigman prosessissa on kuusi sigmaa keskiarvon molemmin puolin ja se tarkoittaa noin 3,4:ä virhettä miljoonasta virhemahdollisuudesta. Voidaan siis sanoa, että prosessi, joka toimii kuuden sigman tasolla, on lähes täydellinen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 180.) Six Sigma toiminnassa prosessin vaihtelu on pääosassa. Vaihtelun minimointi (ks. kuvio5) edesauttaa prosessin toimimista paremmin. Kuviossa 5 toiminnan laatu pyritään saamaan kuuden sigman tasolle pienentämällä vaihtelua. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 81.)



Kuvio 5. Six Sigman tarkoitus on vaihtelun minimointi (Bicheno & Holweg 2009, 175).

Lean Six Sigma

Lean Six Sigma -toimintamallissa yhdistellään leanin ja Six Sigman parhaita puolia, jotta saadaan parempi suorituskyky prosessille. Leanissa pyritään vähentämään ja poistamaan hukkaa, kun taas Six Sigman pääperiaate on vaihtelun pienentäminen. Näiden toimintamallien periaatteita yhdistelemällä saadaan prosessi leanin nopeudella ja Six Sigman tarkkuudella. Lean Six Sigma prosessista poistetaan ensin mahdollisia hukkia, jonka jälkeen siitä vähennetään vaihtelua. (Misra 2008, 232.) Kuviossa 6 kuvataan leanin ja Six Sigman toimimista yhdessä.

LEAN JA SIX SIGMA YHDESSÄ						
	Ihmiset	Kone	Menetelmä	Materiaali/tuote	Mitat	Luonto
Vaihtelu	Lean (tiimin osallisuus, menettelyn käyttöönotto) Kaizen	Six Sigma (Cpk) Lean (SMED)	Lean (5S, SOPS) Six Sigma (SPC, DOE, DMAIC)	Lean toimitus Six Sigma (SPC, DOE)	Lean (menettelyn käyttöönotto) Six Sigma (DPMO, Gage R&R)	Six Sigma DOE
Virheet	Lean pokayoke	Lean pokayoke	Lean pokayoke	Lean pokayoke	Six Sigma Lean	□ Six Sigma (DOE?)
Ongelmat	Lean (hukan poisto)	Lean (TPM, 5S)	Lean (hukan poisto)	DFSS Lean (suunnittelu)	Lean (toiminnan käyttöönotto)	Six Sigma (DOE?)

Kuvio 6. Lean ja Six Sigma yhdessä (mukailtu Bicheno & Holweg 2009, 177).

3.4 DMAIC

Six Sigma prosessin parannusmalli DMAIC koostuu viidestä eri vaiheesta ja se mukailee Demingin PDCA-ympyrän vaiheita (Bicheno & Holweg 2009, 183). Prosessin nimi DMAIC tulee vaiheiden englanninkielisistä nimistä define, measurement, analysis, improvement ja control. Vaiheet ovat määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus, jotka seuraavat toinen toistaan. Suurin ero tavallisen ongelmanratkaisun ja DMAIC-mallin välillä lienee se, että jälkimmäisessä ei pelkästään oleteta ymmärtävän ongelmia, syitä ja niiden vaikutuksia, vaan ne todistetaan datan ja tosiasioiden avulla. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 43–44.)

3.4.1 Määrittelyvaihe

Ensimmäisenä vaiheena prosessissa tulee määrittelyvaihe, jossa määritellään projektin ongelma ja vaatimukset joiden perusteella määräytyy kehitysprojektin laajuus ja tarkoitus. Tässä vaiheessa tulee myös kerätä taustatietoa kehityksen alaisesta prosessista, asiakkaista ja näiden vaatimuksista. Projektin suuntaamiseksi oikeille raiteille, tulisi määrittelyvaiheessa asettaa kehitystiimille muutamia perustavanlaatuisia kysymyksiä. Tällaisia kysymyksiä ovat muun muassa: min-kä ongelman parissa toimimme? Miksi työskentelemme juuri tämän ongelman parissa? Kuka on asiakas ja mitkä ovat hänen vaatimukset ongelman suhteen? Mikä on prosessin nykytila ja miten ongelmaa hoidetaan tällä hetkellä? Mitä hyötyä mahdollinen parannus prosessissa tuottaa?

Määrittelyvaiheen tarkoituksena on siis saada mahdollisimman tarkka kuvaus ongelmasta, vaatimuksista ja mahdollisista hyödyistä. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46.) Ongelman rajaus on erittäin tärkeää hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Hyvässä rajauksessa päätetään selvästi mihin prosessin parannuksessa keskitytään ja mitä jätetään ulkopuolelle. (Bicheno & Holweg 2009, 184.)

3.4.2 Mittausvaihe

Mittausvaihe on jatkumoa määrittelyvaiheelle ja se käynnistää varsinaisen ongelmanratkaisun. Mittauksen tavoitteena on kerätä tietoa lähtötilanteesta sekä saada parempi käsitys siitä, mitä prosessissa todella tapahtuu. Saatujen mittaus tulosten johtopäätöksenä voi tulla hienosäätöä määrittelyvaiheen määrittelysil-le tai voidaan huomata, että ongelma ei olekaan se mikä sen oletettiin olevan. Mittausvaiheen tulokset on tärkeää kirjata ylös, että niitä voidaan vertailla projektin lopputuloksiin ja todistaa näin johdolle muutoksen olleen positiivinen. (Shankar 2009, 11–12.)

Mittausvaiheessa aloitetaan myös ongelman juurisyiden(x) etsiminen ja muodostetaan datankeräyssuunnitelma. Mittausvaiheessa tavoitteena on myös mit-

tauksen luotettavuuden varmentaminen. Mittausvaiheesta tulisi saada tuloksena dataa lähtötilanteesta ja mahdollisesti niiden avulla tehtyjä kaavioita ja käyriä. Ongelman yleisyyttä ja laajuutta tulisi kuvata tai rajata se tiettyyn paikkaan. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46–48.)

3.4.3 Analysointivaihe

Tässä vaiheessa on tarkoituksena paikallistaa ja analysoida juurisyitä eli ongelman muuttujia x . Analyysivaiheessa on myös tarkoituksena tehdä olettamuksia eli hypoteeseja. Hypoteesit testataan käytännössä ja joko vahvistetaan tai kumotaan saadun datan ja analyysien perusteella. (Bicheno & Holweg 2009, 184.) Erona tavallisiin yksinkertaisempiin ongelmaratkaisumenetelmiin on se että Six Sigmassa juurisyys tulee todentaa datan avulla (Cano, Moguerza & Redchuk 2012, 6).

Jotta ongelmien juurisyys löydettäisiin, seurataan Six Sigmassa PDCA-parannusmallia. Ensin dataa ja prosessia tulee tutkailla avoimin mielin ja yrittää nähdä ja sisäistää mahdollisimman paljon tietoa prosessista. Seuraavaksi tulee ideoista ja syistä tehdä hypoteesi. Olemalla luova ja käyttämällä uutta avointa tietoa, löydetään varmimmin todennäköisimmät ongelman aiheuttajat. Viimeisenä tulee todentaa ja eliminoida ongelmat ja niiden aiheuttajat. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 48–50.)

3.4.4 Parannusvaihe

Tämän vaiheen tarkoituksena on ideoida ratkaisu ongelmaan tai ongelmiin, jotka ovat tulleet esille aiemmissa vaiheissa. Brainstorming on yleisesti käytetty menetelmä ongelmien ratkomiseen ja se on oivallinen myös tässä tilanteessa. Olisi tärkeää että parannusvaiheeseen osallistuisi myös ihmisiä, jotka työskentelevät säännöllisesti parannuksen alaisilla työkaluilla tai työpisteillä, koska heillä on varmasti arvokasta tietoa prosessista. (Cano ym. 2012, 7.)

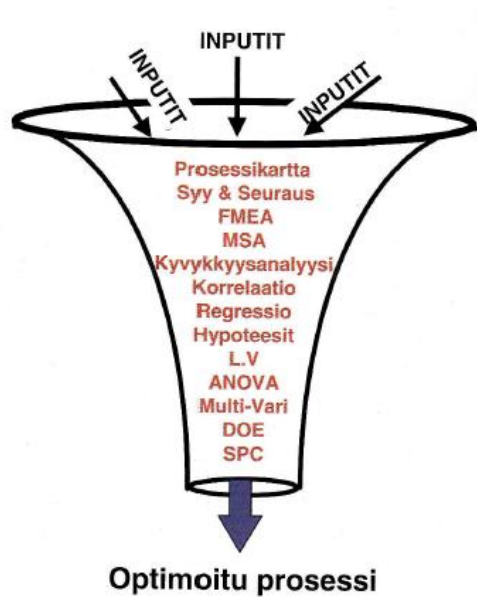
Six Sigma -menetelmässä perimmäisenä kysymyksenä on, kuinka saavutetaan Six Sigma-taso eli toisin sanoen kuinka parannus ja optimointi prosessissa tapahtuu. Ainakin prosesseissa, joissa suorituskky ei ole riittävä, ratkaisuna voidaan pitää vaihtelun pienentämistä. Kun prosessin vaihtelua saadaan pienennettyä, paranee laatutaso ja tulos samalla. Parannusvaiheen tuotoksena saadaan ongelman ratkaisemiseen tarvittavat suunnitelmat ja testatut toimenpiteet. Suunnitelmien avulla ongelmien juurisyty tulevat vähenemään tai poistumaan kokonaan. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 51–52.)

3.4.5 Ohjausvaihe

DMAIC-parannuksen viimeinen vaihe on ohjaus ja valvonta. Vaiheen tarkoituksena on miettiä, kuinka parannusvaiheessa tehdyt prosessin muutokset ja niiden myötä saavutettu parempi suorituskky ylläpidetään. (Cano ym. 2012, 7.) Ohjausvaiheen tuloksena voi olla uusi työohjeistus tai standardointi, jolla opastetaan uuden menetelmän käyttöä. Kun kaikki vaiheet DMAIC-menettelyllä on suoritettu, saadaan tuloksena ennen ja jälkeen prosessin analyysit tai data. Nii- tä vertailemalla nähdään mitä prosessilla on saavutettu ja mikä sen hyöty on liiketoiminnallisesta näkökulmasta. Projektista saatuja positiivisia ideoita ja oppeja voidaan käyttää hyödyksi myös tulevilla projekteilla tai muilla prosesseilla. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 52–53.)

3.5 Six Sigman parannustyökaluja

Six Sigma sisältää suuren määrän erilaisia tilastollisia työkaluja. Pääasia on kuitenkin, että ideat ja tosiasiat vuorottelevat ja täydentävät toinen toistaan. Havaitut ja keksityt ideat todistetaan testeillä ja datalla. Näin toimittaessa tieto lisääntyy koko ajan ja ongelmien aiheuttajat ($x: t$) vähenevät samalla. Tämän saavuttamiseksi käytetään sopivia työkaluja oikeassa järjestyksessä, kuten kuvion 7 suppilo selventää. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 54.)



Kuvio 7. Six Sigma- työkaluja (Karjalainen & Karjalainen 2002, 54).

Six Sigma ongelmanratkaisussa käytettävät työkalut voidaan jakaa viiteen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä sisältää ideoiden luontiin ja informaation organisointiin soveltuvia työkaluja, kuten aivorihi, syy & seuraus diagrammi ja prosessikartta. Toisessa ryhmässä olevat työkalut keskittyvät datan keräämiseen. Näitä työkaluja ovat esimerkiksi näytteenotto, VOC (Voice of customer) ja QFD (Quality function deployment). Kolmannen ryhmän työkalut soveltuvat datan analysointiin. Esimerkkinä näistä: prosessikaaviot, käyrät ja kuvaajat. Neljäs ryhmä sisältää tilastolliseen analysointiin sopivia työkaluja, kuten koesuunnittelu. Viimeisen eli viidennen ryhmän työkalut ovat ratkaisun soveltamiseen ja prosessin johtamiseen oivallisia. Näihin työkaluihin lukeutuu myös ISO 9000-standardisarja, joka liittyy vahvasti toiminnan johtamiseen sekä laadun varmistukseen ja hallintaan. Eri työkalut on lajiteltu ryhmiin, jotta niitä osattaisiin käyttää DMAIC - prosessissa oikeaan aikaan. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 55.)

3.5.1 Aivorihi (Brainstorming)

Aivorihi ajatuksena on tuottaa uusia näkökulmia ongelmanratkaisuun, etsiä mahdollisia ongelman aiheuttajia tai keksiä uusia tapoja mitata vikoja. Tuloksena voidaan saada pitkäkin lista mahdollisista tehtävistä tai ratkaisuksista. Lista kuitenkin lyhenee tiimin syventyessä aiheeseen ja mentäessä kohti lopullista

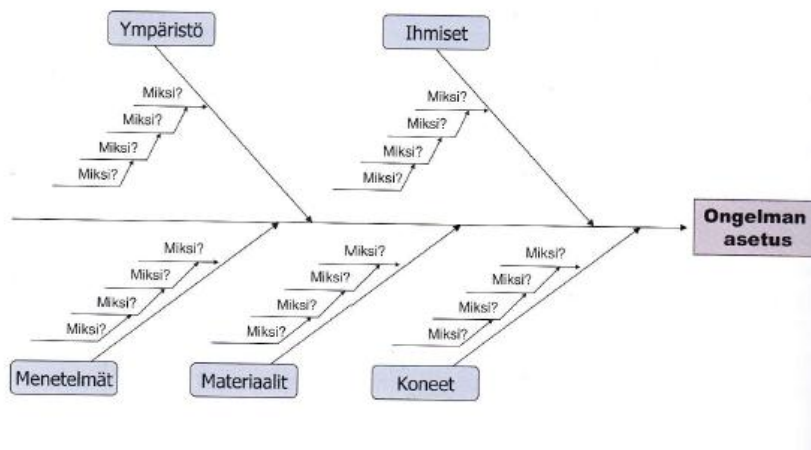
ratkaisua. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 114.) Aivoriin perustana on tiimityöskentely. Yksin ongelmaa ratkaistessa voi tulla esimerkiksi viisi ratkaisua mieleen, mutta jos toimitaan ryhmässä ja jokaiselta saadaan viisi ehdotusta, ratkaisujen määrä kasvaa huomattavasti ja saadaan useita näkökulmia ongelmaan. Aivoriinessä ei pidä hylätä huonoiltakaan kuulostavia ideoita aluksi. (Suganthi & Samuel 2004, 118.)

Aivoriin idea on hyvin yksinkertainen. Ensiksi tiimi määrittää kohteen tai aiheen, jolle lähdetään pohtimaan ratkaisua. Seuraavaksi jokaiselta aivoriin osallistuvalla pyydetään vähintään viisi ideaa aiheeseen liittyen. Tämän jälkeen annetaan muutamia minuutteja aikaa miettiä ja kirjata ideat ylös. Kun jokainen on kirjannut ideansa muistiin, kerätään ne yhteen ja mahdollisesti yhdistellään sekä selkeytetään niitä. Ajan puitteissa mietitään ja täydennetään saatua listaa. Saatujen ideoiden pohjalta voidaan parannusprosessi kohdistaa paremmin oikeisiin kohteisiin. Koska ideoiden hauduttaminen mielessä voi parantaa niiden laatua tai tuoda esiin uusia näkökulmia, palataan listaan mahdollisesti tiimin seuraavassa tapaamisessa. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 114.)

3.5.2 Syy-seuraus diagrammi

Syy-seuraus diagrammin kehittäjä laatuguru Kaoru Ishikawa vuonna 1943. Tämä työkalu tunnetaan myös muilla nimillä, kuten Ishikawa-diagrammi tai kalanruotokaavio. Diagrammia käytetään yleensä syy-seuraus analyysiin, juurisyyn ratkaisemiseksi ongelmatilanteessa tai selkeyttämään graafisesti vaihtelun lähteitä. (Fryman 2002, 195.)

Työkalun idea on hyvin yksinkertainen ja monesti sillä pyritään selvittämään ongelman juurisyitä. Tutkittava ongelma asetetaan oikealla puolella ruodon päässä olevaan laatikkoon, kuten kuviossa 8. Selkäruodosta erkautuvien ruotojen päähän kirjataan keskeiset ongelman aiheuttajat. Näistä ruodoista voi vielä erkaantua pienempiä ruotoja, joihin taas kirjataan keskeiseen ongelmaan vaikuttavia tekijöitä. Ruodot voivat jakautua niin pitkälle, kun ongelmaa vain voidaan pilkkoa. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 130–131.)



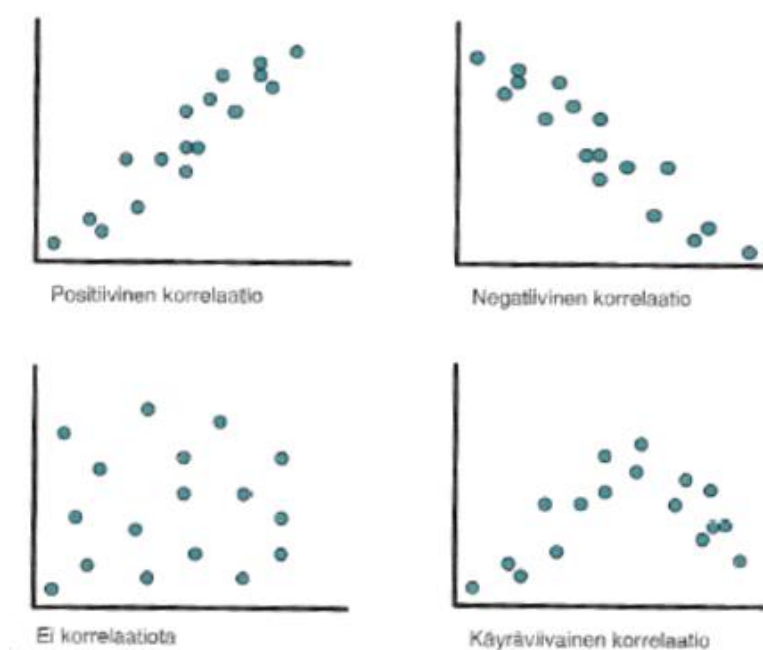
Kuvio 8. Ishikawa diagrammi (Karjalainen & Karjalainen 2002, 130).

Kun ruoto on valmis, siitä voidaan selkeästi havaita vaihtelun lähteet ongelmaan. Ruotokuvion aloituspisteinä käytetään monesti neljää keskeistä ongelmanaiheuttajaa, jotka ovat materiaalit, menetelmät, koneet ja ihmiset. Toki ruoto on kuitenkin vapaasti sovellettavissa tilanteen mukaan. Kaaviota käytetään monesti aivoriihi tekniikan avulla saatujen mahdollisten syiden kirjaamiseksi. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 131.) Tekijä tai tekijät jotka vaikuttavat eniten ongelmaan, tulisi määrittää ruodoista. Diagrammia tehdessä pitäisi pyrkiä kirjaamaan kaikki mahdolliset osatekijät ja ongelman aiheuttajat, koska jos jokin jää huomioimatta, se tuskin tulee esille myöhemminkään. Tämän vuoksi kaaviota valmistellessa olisi keskusteltava ja pohdittava ongelmaa mahdollisimman monen asiasta vähänkin tietävän kanssa. (Hitoshi 1998, 33.)

3.5.3 Korrelaatio

Korrelaatio ilmaisee yhteyden kahden muuttujan välillä (ks. kuvio9). Sijoittamalla Y:n ja x:n arvot hajontakuvaan (scatter diagram), voidaan havaita miten jonkin muuttujan (x) muutos vaikuttaa kokonaistulokseen (Y). (Karjalainen & Karjalainen 2002, 153.) Jos hajontakuvaan sijoitetut pisteet noudattavat nousevaa trendiä, voidaan huomata että muuttujien välillä on positiivinen korrelaatio. Positiivisessa korrelaatiossa muuttujan x kasvaessa myös Y kasvaa. Negatiivisessa korrelaatiossa taas muuttujan x kasvaessa, Y pienenee. Käyräviivainen korre-

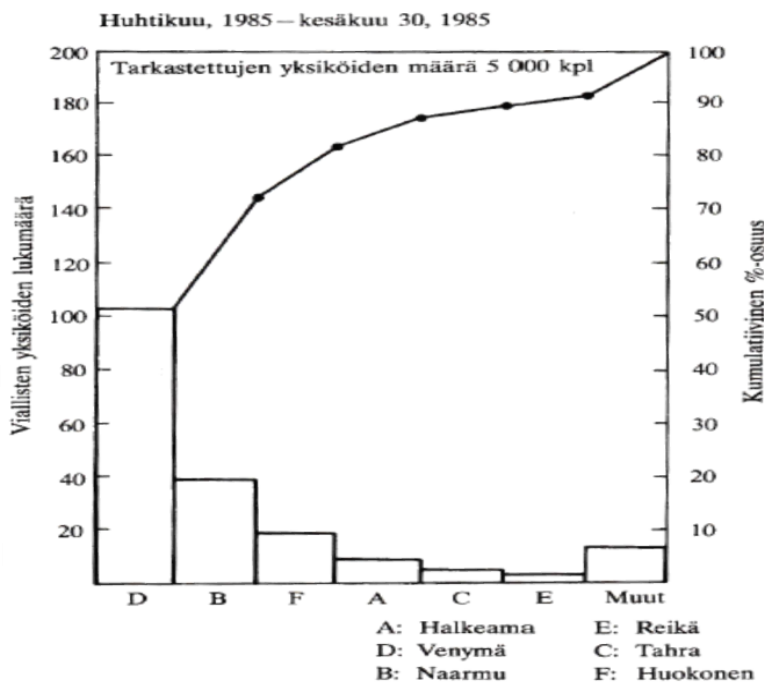
laatio selventää sen, että muuttuja x kasvattaa myös muuttuja Y :tä tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen x :n edelleen kasvaessa Y lähtee laskuun. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 160–161.) Jos hajontakuviassa ilmenee pisteitä hyvin kaukana pääjoukosta, voidaan ne olettaa syntyneen muutoksesta toimintaolosuhteissa, mittaus-, tai kirjausvirheestä ja ne tulisi jättää korrelaatiotarkastelun ulkopuolelle. Eriäviä pisteitä ei silti tulisi sivuuttaa, vaan tulisi selvittää mikä on aiheuttanut poikkeaman. (Hitoshi 1998, 73.)



Kuvio 9. Korrelaation tunnusmerkit (Karjalainen & Karjalainen 2002, 153).

3.5.4 Pareto-kaavio

Pareto-kaavioilla saadaan kuvattua erinomaisesti eri syiden jakaumaa laatuongelmissa. Pareto-kaaviota voidaan käyttää esimerkiksi kun seurataan tuotteiden hylkäyksiin johtavia syitä ja niiden esiintymistiheyttä jossain työvaiheessa. (Charantimath 2003, 71–73.)



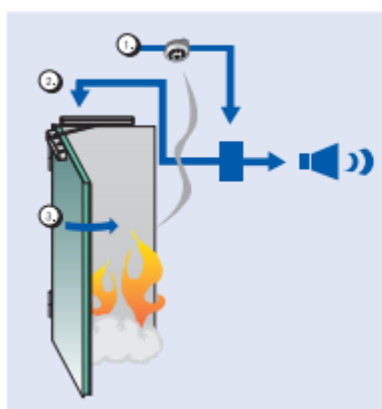
Kuvio 10. Pareto-kaavio (Hitoshi 1998, 24).

Pareto-kaavion tekemiseksi täytyy ongelma ensin määrittää. Sen jälkeen päätetään miten tiedot luokitellaan. Esimerkkikuvion 10 havainnot on luokiteltu kuuheen ryhmään ja luokittelu on tapahtunut virhetyypin mukaan. Kun luokat on määriteltä, päätetään tietojen keräämismenetelmä ja ajanjakso, jolta tiedot kerätään. Tietojenkeräyslomake voi olla esimerkiksi yksinkertainen "tukkimiehen kirjanpito". Kun tiedot on kerätty, tehdään niistä yhteenvetolomake, johon kirjataan jokaisen luokan esiintymismäärät, kumulatiiviset summat, prosenttiosuudet kokonaismäärästä sekä kumulatiiviset prosenttiosuudet. Virhetyypit järjestetään esiintymismäärän mukaiseen järjestykseen. Nämä tiedot lisätään kuvaajaan, kuten kuviossa 10. Vasemmalla pystyakselilla on asteikko 0–kaikkien virheiden esiintymismäärän summa ja oikealla pystyakselilla 0–100 %. Vaakakseli jaetaan siten, että jokainen osa vastaa yhtä virhetyypistä. Tämän jälkeen piirretään pareto-käyrä eli merkataan kumulatiivisten arvojen pisteet ja prosenttiosuudet jokaisen virhetyypin oikeanpuoleiseen reunaan, jonka jälkeen pisteet yhdistetään jatkuvalla viivalla. Virhetyypeistä "muut virheet" luokka kuuluu sijoittaa viimeiselle riville, kuten kuviossa 10 vaikka se olisi jotain toista luokkaa suurempi, koska ryhmä koostuu virhetyypeistä joiden yksittäinen esiintymismäärä on pienempi kuin yksikään listaan erikseen kirjatuista. (Hitoshi 1998, 21–24.)

4 FD-tuotantosolun kehitys

4.1 Prosessin kuvaus

FD-tuotantosolussa valmistetaan palo-ovensulkimia ja palonsulkujärjestelmiä. Kuvassa 2 esitellään palonsulkujärjestelmän toimintaa.



Kaaviokuva palonsulkujärjestelmän toiminnasta:

Savuilmaisain (1) reagoi alkavaan tulipaloon ja antaa hälytysimpulssin ovea avoimena pitävälle aukipitolaitteelle (2). Aukipitolaite vapauttaa oven toiminnan ja ovensuljin (3) sulkee oven nopeasti. Lukko salpaa oven.

Kuva 2. FD-palonsulkujärjestelmän toiminta (Kuva: Abloy Oy).

Solussa johon opinnäytetyöni kohdistuu, valmistetaan kahta erimallista FD-ovensuljinta. Näiden mallien kysyntä jakautuu noin 90/10 prosentein. Molempien mallien testaus suoritetaan kuitenkin samalla tavalla, joten mallien eroavaisuudet ei vaikuta kehityskohteeseen. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi suuremman volyymin omaavan sulkimen kokoonpanoprosessin vaiheet.

Kaikkia osia ei valmisteta itse, vaan suuri osa kokoonpantavista osista tulee alihankkijoilta. Näitä ovat muun muassa ovensulkimien runko-, mäntä-, ja akseli-aihiot sekä pienet komponentit, kuten ruuvit. Ovensulkimien runkojen, mäntien ja akselien koneistus ja viimeistely tapahtuu kuitenkin Abloy Oy:llä. Solussa käytettävistä osista kokoonpannaan itse päätykannet, karat, rautasydämet ja solenoidit.

Solenoidi tuo virran FD-ovensulkimeen. Sen kokoonpano on ensimmäinen työvaihe. Solenoidinkanteen eli sen runkoon lisätään käämitty kela ja sen keskellä olevaan koloon jousi. Sitten kasataan solenoidin sisään tuleva rautasydän, jos-

sa olevalla pidätinruuvilla säädetään testausvaiheessa ovensulkimen aukipito-momenttia. Rautasydämen sisällä on kierrereikä, johon pidätinruuvi kierretään. Kiertäminen tapahtuu käsituntumalla niin, että ruuvi on hieman upoksissa rautasydämen sisällä, kuten kuvassa 3. Kun rautasydän on koottu, laitetaan se kelan keskireikään jousen päälle.



Kuva 3. Rautasydän (Kuva: Tommi Hassinen).

Seuraavaksi kootaan kara. Karan päädyssä olevaan poteroon tulee sen muotoon tiivistekalvosta leikattu pala (ks. kuva4). Liimaaminen tapahtuu pudottamalla tippa liimaa poteroon, jonka jälkeen asetetaan tiiviste sinne ja painetaan tiivistepuolta tasoa vasten, jotta tiiviste asettuu tasaisesti pohjalle. Karaan asetetaan keskelle vielä o-rengas tiivisteeksi. Kara on komponentti, jonka tiivistetty pääty sulkee erään toimintaan vaikuttavan öljykanavan ja samaan aikaan karan sivureunassa oleva viiste sulkee toisen toimintaan vaikuttavan öljykanavan. Öljykanavien sulkeutumisen tulee tapahtua yhtäaikaaisesti, jotta ovensuljin toimii oikein.



Kuva 4. Kokoonpantu kara (Kuva: Tommi Hassinen).

Karan kokoonpanon jälkeen siirrytään päätykannen kokoonpanoon, johon myös kara tulee ja jossa edellä mainitut öljykanavat sijaitsevat. Karan tiivistepään sulkeuma kanava sijaitsee tarkemmin sanottuna päätykanteen kokoonpantavassa päätytulpassa. Päätykannen päädyssä on upotus, eli sopiva kolo johon päätytulppa painetaan työvaiheeseen suunnitellulla työkalulla. Päätykanteen kootaan nyt myös kara ja muut siihen kuuluvat osat, kuten aluslevy ja venttiilin osat.

Tarvittavien osien kasaamisen jälkeen alkaa varsinainen ovensulkimen kokoonpanoprosessi. Ensimmäiseksi otetaan toisessa työsolussa esikasattu ovensuljinrunko. Runko tulee esikasattuna, koska FD-ovensuljin on modulaarinen erään toisen Door Control yksikössä valmistettavan ovensulkimen kanssa. Moduloidulla eri sulkimia on saatu tehostettua tehtaan toimintaa. Runkoon on kokoonpantuna valmiiksi isompi mäntä, jousi, voimansäädin, hammasakseli ja laakeripesät.

Rungon kokoonpano alkaa tukkimalla siihen poratut öljykanavat, lyömällä niihin kuulat. Runkoon lyödään myös valmistuspäivämäärä. Sen jälkeen sulkimen päätyyn kierretään kiinni pikkumäntä ja sylinteri. Sylinteriin asetetaan o-rengas tiivisteksi. Seuraavaksi kierretään aiemmin kasattu päätykansi kiinni. Sen jälkeen sulkimeen laitetaan säätöruuvi paikalleen, jonka jälkeen se laitetaan öljyntäyttökoneeseen täyttymään öljyllä. Täytön jälkeen lisätään vielä puuttuvat säätöruuvit ja laitetaan suljin testilaitteeseen. Tässä testilaitteessa testataan sulkimen oikein toimiminen ja säädetään sen avaus- ja sulkeutumisnopeudet tehdasasetuksille. Sääto tapahtuu kiertämällä säätöruuveja. Kun toiminta on tarkastettu tältä osin ja säädetty tehdasarvoille, siirrytään seuraavaan vaiheeseen.

Tässä vaiheessa lukitaan ovensulkimen akselin laakeripesät paikoilleen poraamalla pienet reiät laakeripesän ja ovensulkimen rungon yhtymäkohtaan ja lyömällä niihin kuulat. Seuraavaksi päätykanteen kierretään maalaussuoja tiivistetyn paikalleen ja ovensulkimet viedään pesuun, jossa pestään kokoonpanossa ja testausvaiheissa syntyneet epäpuhtaudet, kuten öljytahrat pois. Pesun jälkeen sulkimet viedään maalaukseen, josta ne tuodaan maalattuna takaisin kokoonpanopaikalle.

Maalauksen jälkeinen osuus on opinnäytetyöni kehityskohteenä. Sulkimien tultua maalauksesta niille tehdään vielä testit aukipitomomentin ja valumisen suhteen. Ensimmäisessä testausvaiheessa testataan, tuottaako suljin tarvittavan aukipitomomentin ja säädetään arvo niin, että suljin pystytään laittamaan valumatestiin.

Maalauksesta tulleesta ovensulkimesta kierretään maalaussuojus pois ja suljin asetetaan testipenkkiin kiinni. Ovensulkimessa mahdollisesti vaikuttava jousivoima kierretään myös pois voimansäätimellä. Sen jälkeen päätykanteen kierretään kiinni solenoidi. Solenoidin sisällä olevaan kelaan kytketään virta, laittamalla sen johdot kiinni testipenkissä oleviin virranlähteisiin. Solenoidin sisällä olevan rautasydämen pidätinruuvi painaa päätykannessa olevaan karaan, jonka toinen, eli tiivistepää taas painaa päätytulppaa vasten. Ovensulkimen akseli viritetään momenttiavaimella noin 180 astetta ja akselin pitää jäädä siihen asentoon. Tässä vaiheessa kara on siis sulkenut päätykannen öljykanavat aiemmin mainitulla tavalla. Seuraavaksi akselia käännetään takaisin toiseen suuntaan momenttiavaimella (ks. kuva 5) ja testataan momentti, jolla sulkimen akseli naksahuttaa ja vapautuu takaisin alkuasentoonsa. Toisin sanoen testataan momentti, jolla suljetut öljykanavat avautuvat taas ja ovensuljin sulkee oven. Jos rautasydämen ruuvi on kierretty liian lähelle reunaa tai vastaavasti liian upoksiin, suljin ei tuota momenttia tarpeeksi, eikä sitä näin ollen voi laittaa seuraavaan vaiheeseen eli valumatestiin.

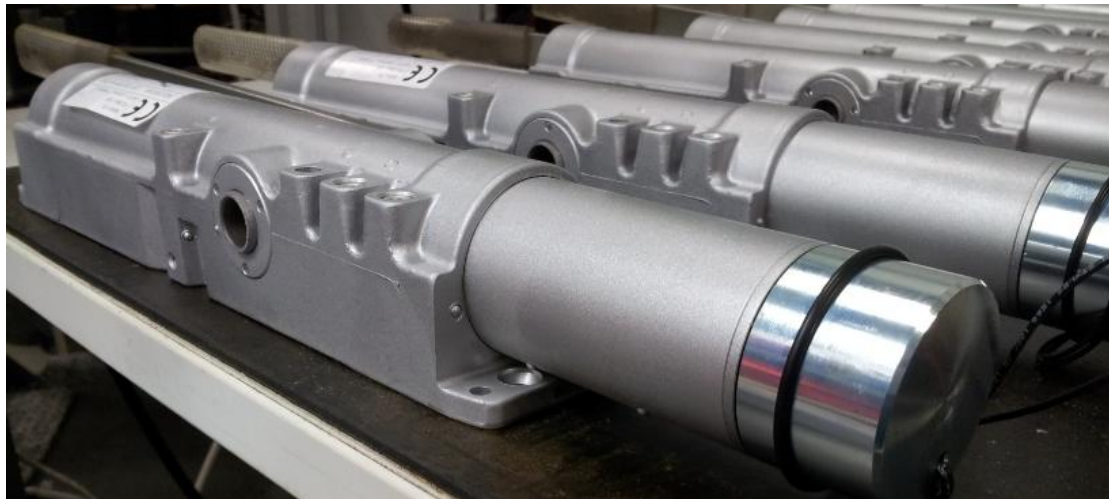


Kuva 5. Momentin testaus (Kuva: Tommi Hassinen).

Momentin mittauksessa ohjearvona on 80Nm:ä. Tosin tuon arvon pieni alitus ei vielä haittaa sulkimen toimintaa ja pientä vaihtelua sen suhteen sallitaan. Momentin mittauksessa ylärajaa ei periaatteessa ole, koska suuremmasta momentista ei ole haittaa käytössä ja niin suureen momenttiin harvoin päästäänkään, että se rikkoisi suljintakaan. Vapautusvaiheessa akseli ei saa työntäessä niin sanotusti ryömiä, vaan sulkunaksahduksen tulee olla terävä. Momentin arvoa ja akselin ryömimistä voidaan tietyissä rajoissa säätää kiertämällä rautasydämen

pidätinruuvia hieman. Tämä tosin vaatii solenoidin kiertämisen irti ja virtajohtojen poiskytkemisen. Rautasydämen pidätinruuvi on myös lukittu lukitetahnalla, joten sen kiertämiseksi täytyy rautasydän kiinnittää esimerkiksi lukkopihteihin. Säättäminen on siis hidasta ja sitä voi joidenkin sulkimien osalta joutua tekemään useamman kerran halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Kun on mitattu, että suljin tuottaa riittävän momentin pitääkseen valumatestissä kammien paikoillaan, voidaan se siirtää valumatestipöydälle. Valumatestissä ovensulkimeen kytketään taas virta laittamalla johdot testipöydässä oleviin virranlähteisiin. Tämän jälkeen otetaan testikampi ja käännetään sillä ovensulkimen akselia 180 astetta. Kun kammesta päästetään irti kääntämisen jälkeen, tulee sen jäädä asentoonsa, kuten kuvassa 6 näkyy. Tässä vaiheessa huomattaisiin, jos rautasydämen ruuvien säätö ei olisi kohdallaan sillä kampi palautuisi heti takaisin alkuasentoonsa. Ovensulkimet ovat valumatestipöydällä määrätyn ajan ja kampi ei saa nousta testin aikana ohjearvoa (10 mm) enempää. Jos kampi nousee enemmän kuin ohjearvo, suljin ei läpäise testiä.



Kuva 6. Ovensulkimet valumatestissä (Kuva: Tommi Hassinen).

Kun ovensulkimet ovat olleet valumatestissä määrätyn ajan eikä valumista ole havaittu, tehdään sähköinen vapautustesti. Tämä tapahtuu katkaisemalla keloilta jännite eli ottamalla virtajohtot irti. Testivarsien tulee laueta liikkeelle ja palata alkuasentoonsa. Näin todetaan että FD-ovensuljin toimii oikein tulipalon sattuessa.

Valumatestin jälkeen kierretään sulkimen päädyssä olevasta voimansäätimestä ohjearvon mukainen määrä jousivoimaa sulkimeen ja asetetaan se taas momentin testauskiinnittimeen ja kytketään virta sulkimeen. Valumatestin aikana karan tiiviste on puristuksissa ja se todennäköisesti painuu hieman testin aikana. Painuminen aiheuttaa sen, että vaikka ennen valumatestiä säätö olisi ollut kunnossa ja vapautuksen naksaus tiukka, nyt se voi vapautusvaiheessa hieman "ryömiä". Nyt sulkimeen säädetään siis vasta lopullinen momentti ja "naksauttava" vapautus, kiertämällä rautasydämen ruuvia. Kun säädöt on suoritettu, ovensulkimet ovat valmiita pakattavaksi ja lähetettäväksi asiakkaalle.

4.2 Testausvaiheen kehittäminen

FD-soluun tehtiin vuonna 2013 mittava lean-kehitys, jossa myös työpisteiden layouteja muutettiin tehokkaammiksi. Tuotantoa kehitettiin kokonaisvaltaisesti leanin virtaus- ja imuperiaatteiden mukaan. Kehityksellä karsittiin myös siirroista ja turhista liikkeistä aiheutuvia hukkia. Leanin mukaan toimittaessa pyritään jatkuvaan parantamiseen ja siten myös täydellisyyteen. Tässä opinnäytetyössä pyritään jatkamaan solun lean-kehitystä poistamalla työvaiheiden- ja laaduttoman toiminnan hukkaa.

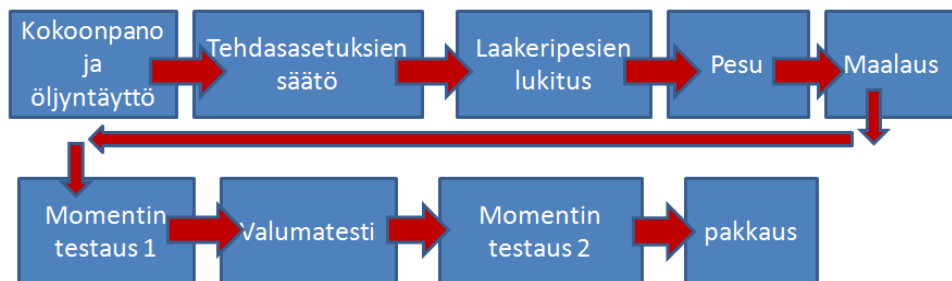
FD-ovensulkimien testausvaiheet aiheuttavat pullonkaulan näiden valmistusprosessissa. Testauksessa työskentelevä henkilö ehtii työvuoron aikana testaamaan noin 30-40 kappaletta vähemmän, kuin kokoonpano- ja öljyntäyttövaiheessa työskentelevä henkilö ehtii kokoamaan. FD-ovensulkimien valmistuksen kokonaiskapasiteetti määräytyy sen hitaimman työvaiheen kapasiteetin mukaan, joka siis on tässä tapauksessa testausvaiheen kapasiteetti. Kehityskysymykseksi asetettiin olisiko mahdollista jättää valumatestiä edeltävä ensimmäinen momentin testaus kokonaan pois prosessista. Tämä poistaisi pullonkaulan lyhentämällä testaukseen tarvittavaa aikaa ja lisäisi täten valmistuksen kokonaiskapasiteettia.

Momentin testaamisella ja säätämisellä varmistetaan, että asiakas saa oikealla tavalla toimivan ovensulkimen. FD-solusta sulkimet lähtevät jälleenmyyjien

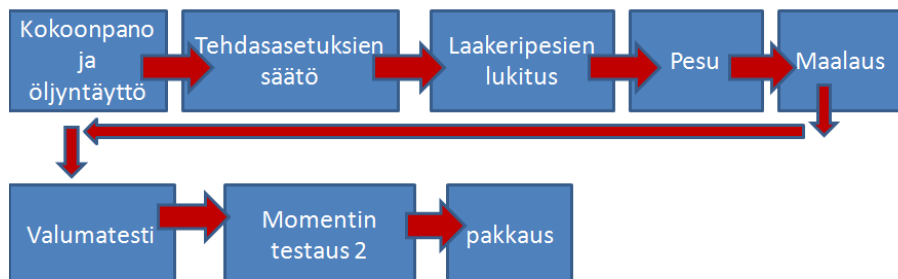
kautta loppukäyttäjille, joten asiakkaana valmistusprosessissa on tuotteen loppukäyttäjät ja heidän päävaatimuksenaan on ovensulkimen toimiminen oikein.

Molemmat momentin testauskerrat eivät luultavasti tuota arvoa asiakkaalle vaan toinen testaus on todennäköistä hukkaa. Se aiheutuu odottamisesta, kun kappaleita kertyy odottamaan testausta ja yliprosessoinnista, kun tuotetta mitataan kahdesti vaikka yksikin kerta voisi riittää. Hukan poistamiseksi on muutettava ja parannettava prosessia.

Ensimmäisen momentin testausvaiheen pois jättäminen vaatii todisteita siitä, että se on todella hukkaa, eikä välttämätöntä ja arvoa tuottavaa toimintaa. Vaaditaan myös todisteita että muutetulla prosessilla voidaan tuottaa edelleen laadukkaita tuotteita, joista asiakas on valmis maksamaan. Pyrkimyksenä tulisi olla kerralla oikein toimintamalli. Seuraavassa on esitettyä nykyisen prosessin vaiheet (ks. kuvio 11) ja sen alapuolella kehityksen alainen mahdollinen uusi työjärjestys (ks. kuvio 12).



Kuvio 11. Prosessin nykytila.



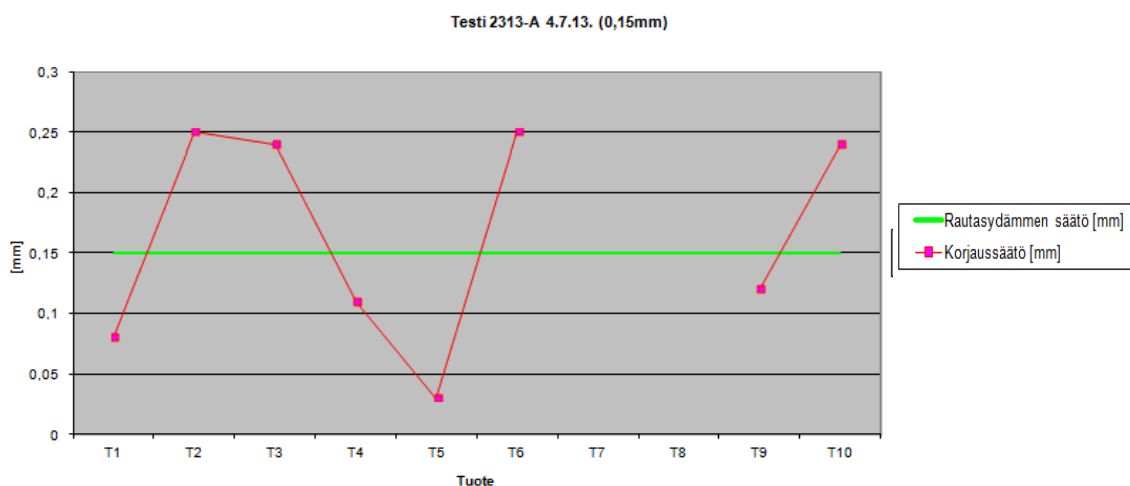
Kuvio 12. Prosessin mahdollinen tulevaisuustila.

4.2.1 Ongelmat nykytilassa

Testausvaiheen tutkimista oli alustavasti aloitettu jo aiemmin mutta homma oli muiden kiireellisempien töiden takia siirretty syrjään. Ongelmaksi nykytilassa oli määritetty testausvaiheen aiheuttama pullonkaula FD-ovensulkimien tuotantoprosessissa. Määrittelyä oli jatkettu tekemällä mittauksia ja selvittämällä pullonkaulan aiheuttajaa. Yhdeksi aiheuttajaksi oli havaittu momentin säädössä ilmenevä vaihtelu, joka tekee testaamisesta ja säädöstä hidasta.

Aiempaa tietoa testausvaiheesta oli hankittu liitteen 1 mukaisesti. Rautasydämen kokoonpanossa ruuvien aseointi tapahtuu käsintuntumalla. Näin toimiessa aseointi ei voi millään olla sama kaikissa sulkimissa ja täten vaihtelua tapahtuu myös momentin säädössä. Aiemmin oli siis testattu mahdollisuutta, että jokaisen sulkimen rautasydämen ruuvi säädettäisiin samaan kohtaan ja täten saataisiin sulkimien säätö käyttäytymään samalla tavalla keskenään.

Kuten kuviosta 13 huomataan, vaikka ruuvit säädettiin kymmenessä testisulkimessa samaan alkuasemaan, ei vaihtelua saatu hallintaan. Tarpeellisen momentin saavuttamiseksi ruuvia täytyi kiertää tapauskohtaisesti jokaisessa sulkimessa eri verran ja eri suuntiin.



Kuvio 13. Säädön vaihtelu tarvittavan momentin saavuttamiseksi (Abloy Oy intranet 2013).

Alkutilanteessa ruuvit oli säädetty arvoon 0,15 mm ja lopuksi alin arvo oli 0,03 mm ja ylin 0,25 mm. Näin suurella vaihtelulla ensimmäisen testausvaiheen pois jättäminen ei ole järkevää, koska osa sulkimista ei tuota lainkaan momenttia ja näin niitä ei voisi laittaa valumatestiin. Lisäksi monessa sulkimessa akseli alkaa "ryömiä" hieman valumatestin jälkeen, vaikka säätö olisi ollut hyvä ennen valumatestiä. Tämä tarkoittaa kyseisille sulkimille säätöä vielä valumatestin jälkeen. Prosessin muuttamiseksi sulkimien toimintaan tulisi saada yhdenmukaisuutta. Laatuguru Demingin mukaan vaihtelu on keskeisin syy ongelmiin ja se näyttäisi pätevän myös FD-ovensulkimissa.

Edellä mainittu tieto oli siis aiempaa tutkimustietoa, jonka pohjalta itse lähdin jatkamaan ongelmanratkaisua. Eräs Ishikawan opetuksista oli: poista ongelmien perussyyt, älä oireita. Tähän asti ohjetta ei ole noudatettu, vaan momentin säädössä tapahtunut vaihtelu eli oire on vain poistettu säätämällä ruuvi tarvittavaan asemaansa. Prosessista ei ole siis pyritty poistamaan ongelman perussyytä eli vaihtelun aiheuttajaa. Jotta ensimmäisen testausvaiheen voisi jättää pois, täytyisi saada tietoa vaihtelun aiheuttajista ja varmistua siitä, ettei prosessia muuteta ainakaan laaduttomampaan suuntaan.

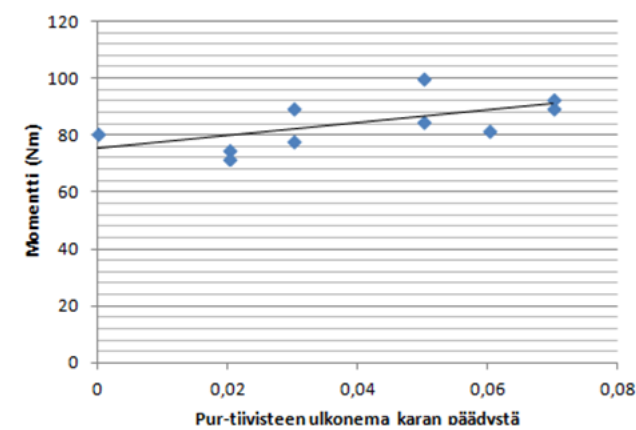
4.2.2 Ongelmien aiheuttajien selvittäminen

Prosessiin ja sen työvaiheisiin tutustuin olemalla tuotannon parissa ja tekemällä työvaiheita itse sekä kyselemällä prosessista tietoja työntekijöiltä. Ongelman määrittelyvaihe ja momentin vaihteluun johtavien juurisyiden selvittäminen alkoi pitämällä sovellettu aivoriihipalaveri. Siihen osallistui itseni lisäksi tuotekehitysinsinööri, valmistuspäällikkö, tuotannonkehitysinsinööri, sekä työnjohtaja. Palaverissa käytiin läpi testattavan FD-ovensuljinmallin toimintaa ja keksittiin ideoita mahdollisiksi juurisyiksi säädön vaihteluun. Aivoriihen tuottamat sekä aikaisemmin ilmenneet ideat vaihtelun syistä kirjasin ylös Ishikawa diagrammin muodossa (liite 2). Juurisyistä tehtiin oletus, jonka mukaan karalla olisi suurin vaikutus vaihteluun.

Kun mahdolliset juurisyyt olivat selvillä, alettiin niitä tutkimaan käytännössä. DMAIC-mallin mukaan toimiessa vuorossa oli siis mittausvaihe, jossa oletukset ja ideat mitataan ja todistetaan datalla.

Rautasydämen ruuvia säätämällä saadaan muutettua momentin arvoa. Koska nykytilassa haluttuun tulokseen pääsemiseksi osassa sulkimista ruuvia joudutaan kiertämään eteen ja osassa taas taaksepäin, on oletettavaa että vaihtelua aiheuttaa ainakin ruuviin kosketuksissa oleva komponentti. Ensimmäiseksi tutkinnan alle otin ennakkoon arvioituna eniten vaihteluun vaikuttavan komponentin eli karan. Tarkastelin ja mittailin kokoonpantujen karojen mittoja. Tein huomion, että karan päädyssä olevaan upotukseen liimatut tiivisteet eivät olleet kaikissa kappaleissa päädyn tasossa vaan niiden paikka vaihteli. Tiiviste oli liima- tessa asettunut tapauskohtaisesti joko liimausmenetelmän tai komponenttien takia. Tiivisteiden ulkonema karan pinnasta vaikuttaa karan kokonaispituuteen ja näin ollen pystyi olettamaan, että sillä olisi myös vaikutusta momenttiin. Päätin tehdä asiasta testin, jolla voitaisiin vakuuttua olettamuksen oikeellisuudesta tai vastaavasti hylätä se.

Testi suoritettiin ottamalla yksi testausta vaille valmis FD-ovensuljin, yksi solenoidi, sekä kymmenen koottua karaa. Testissä käytettiin samaa suljinta ja solenoidia, jotta minimoitaisiin muuttujia ja näin saataisiin selkeämpiä tuloksia juuri karan vaikutuksesta. Karat numeroitiin yhdestä kymmeneen ja niiden tiivisteiden ulkonemat kirjattiin myös ylös. Vaihdettiin ensimmäinen kara sulkimeen ja haettiin sille hyväksytty momentin arvo rautasydämen ruuvia säätämällä sekä kirjattiin momentti ylös. Tämän jälkeen testattiin momentin arvot muilla karoilla, vaihtamalla ne yksi kerrallaan sulkimeen. Rautasydämen arvo pidettiin siis muuttamattomana eri karoilla testatessa. Kirjasin tulokset ylös ja tein niiden pohjalta kuvaajan (liite3), jossa kuvataan momentin ja tiivisteiden keskinäisvaikutusta.



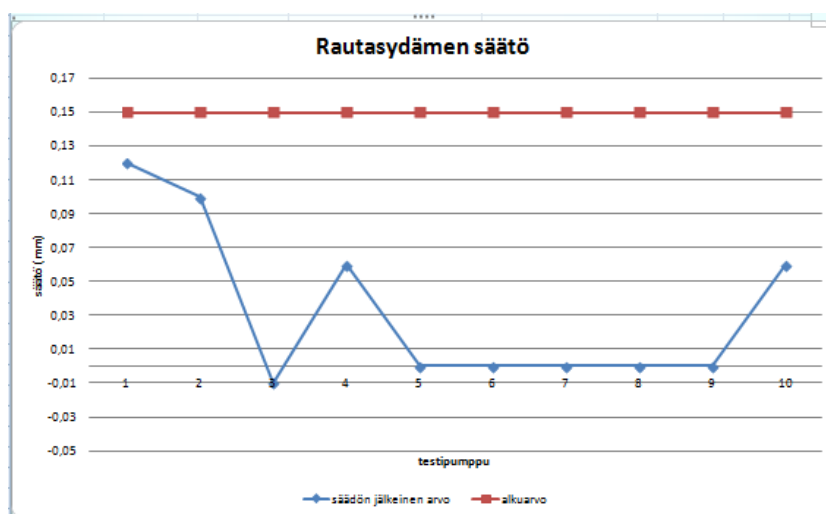
Kuvio 14. Tiivisteiden ulkoneman vaikutus momenttiin.

Tuloksia analysoimalla nähdään, että tiivisteiden ulkoneman ja momentin välillä on korrelaatio (ks. kuvio 14). Kuvaajasta voisi päätellä että korrelaatio on positiivinen, mutta todellisuudessa se on käyräviivainen. Väitteen voi perustella sillä, että jos tiivisteiden ulkonema ja samalla karan kokonaispituus kasvaa tarpeeksi, tulee rautasydämen säädöstä niin sanotusti liian tiukka, eikä se tuota momenttia lainkaan. Tuon teorian voisi todistaa laajemmalla otannalla karoja mutta se ei ole tässä tapauksessa tarpeen, koska testin tarkoituksena oli vain saada näyttöä siitä, että tiivisteiden ulkonema (x) on ainakin osasyysellinen momentin säädön vaihteluun (Y).

Seuraavaksi jatkoin ongelman selvittämistä tekemällä lisätestin tiivisteiden vaikutuksesta. Testin tarkoituksena oli testata, kuinka paljon vaikutusta tiivisteiden ulkonemalla on itse testauksessa ja saadaanko prosessi hallintaan, jos tiivisteet ovat keskenään samanmittaisia. Testiä varten otin kymmenen testausta vaille valmista suljinta ja numeroin ne yhdestä kymmeneen. Numeroinnin avulla estettiin etteivät sulkimet sekoitu tuotannossa oleviin sulkimiin. Näin voitiin myös jäljittää ja yhdistää myöhemmin saadut testitulokset oikeisiin sulkimiin ja tehdä jatkotutkimuksia niille. Otin myös kymmenen solenoidia ja karaa. Solenoideissa olevien rautasydämien ruuvien arvot säädettiin samoiksi keskenään (0,15 mm) ja karojen tiivisteet jotka ulkonivat karan päädyistä, hiottiin päädyn tasaan. Tiivisteiden hiomisella pyrittiin minimoimaan ulkoneman aiheuttamaa momentin vaihtelua.

Testauksessa säädettyjen momenttiarvojen pysyvyyttä ajan kuluessa ei ollut myöskään aikaisemmin testattu. Niinpä lisäsin testisuunnitelmaani toiseksi tavoitteeksi testata, etteivät säädetyt momenttiarvot laske ainakaan radikaalisti ja asiakas saa laadukkaita sekä toimivia tuotteita. Testausväliksi asetettiin yksi viikko, koska oletettiin että suljin on viimeistään siihen mennessä käyttämättömänä saavuttanut "lepotilan" eli öljyt ovat asettuneet sulkimen sisällä.

Ensiksi vaihdettiin uudet tasamittaiset karat testisulkimiin ja kierrettiin solenoidit paikalleen. Tässä testissä testattiin jo mahdollista uutta työjärjestystä eli ensimmäistä momentin testausta ei suoritettu, vaan sulkimet kytkettiin suoraan valumatestipöydälle. Kaikki läpäisivät testin, joten vuorossa oli momentin mitta-
us ja kohdilleen säätö. Tulokset testistä kirjattiin ylös (liite 4) ja niiden pohjalta tehtiin kuvaaja. Kuten kuvaajasta huomataan (ks. kuvio 15), vaihtelun määrää on saatu hallintaan jonkin verran, koska nyt kaikissa sulkimissa halutun tuloksen saamiseksi säätöä jouduttiin tekemään vain toiseen suuntaan eli kiertämään ruuvia kiinnipäin, lähemmäksi rautasydämen päätyreunaa.



Kuvio 15. Rautasydämen ruuvien säätöarvot tasamittaisilla tiivisteillä.

Kaikissa sulkimissa ylitettiin momentin ohjearvo ja saatiin ns. tiukka "naksautus". Rautasydämien loppuarvo säädön jälkeen rautasydämen päädyistä mitattuna vaihtelee välillä -0,01–0,12 mm.

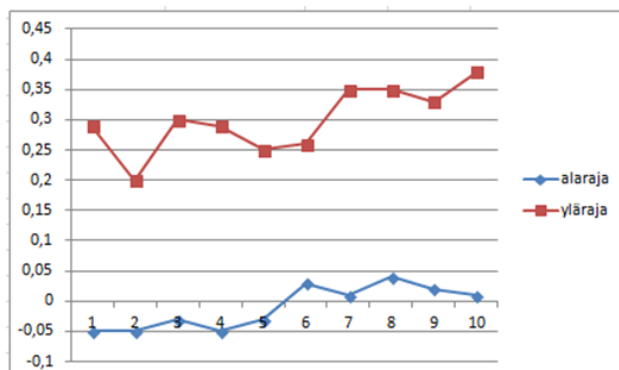
Testisulkimet siirrettiin testauksen jälkeen syrjään ja annettiin niiden levätä aloil-
laan viikon verran. Viikon jälkeen momentit mitattiin uudestaan. Tulokset kirjat-

tiin samaan kuvaajaan, jossa ensimmäisen testin tulokset jo olivat. Testillä varmistettiin momentin pysyvyys käyttämättömänä ollessa.

Seuraavana aloin selvittämään miksi joidenkin sulkimien rautasydämen ruuvinsäätö jäi niin kauas yleisimmästä, eli 0,00 arvosta. Mittaamalla tiivistekalvoa josta karan tiivisteet leikataan, huomasin sen paksuuden vaihtelevan välillä 0,88–1,1 mm. Karan upotus johon tiiviste liimataan on syvyydeltään $1 \pm 0,05$ mm. Voidaan siis olettaa että tiivisteiden paksuuden suuri vaihtelu johtaa vaihteluun myös valumatestissä painumisen suhteen, kun ohuimmat kalvot painuvat karan sisään paksumpia enemmän.

Samalla aloitin tutkimaan myös säätöaluetta, jolla sulkimet on mahdollista laittaa valumatestiin. Testin tarkoituksena oli saada kuva siitä, kuinka tarkasti rautasydän tulee olla asemoitu, jotta se pitää kammien valumatestissä paikoillaan. Tässä testissä käytin kymmentä valmiiksi koottua ovensuljinta. Mittasin oven-sulkimien karojen pituudet ja kirjasin ne ylös. Hain jokaiselle sulkimelle erikseen alimman ja ylimmän rautasydämen ruuvien arvon, jolla suljin asetui valumatestiin.

Mittauksessa mittapisteenä käytin rautasydämen päätytasoa. Arvon saadessa negatiivisen lukeman, tuli ruuvien pää rautasydämen tason ulkopuolelle ja vastaavasti positiivisilla arvoilla ruuvi jäi rautasydämen sisään. Kirjasin saamani tulokset taulukkoon (liite 5) ja tein niistä kuvaajan. Järjestin kuvaajan arvot karan kokonaispituuden mukaan. Kuviossa 16 viivojen väliin jäävä alue on se, jolla kyseiset sulkimet saisi laitettua valumatestiin. Kuvaajasta voi jälleen huomata karan kokonaispituuden vaikutuksen tuloksiin. Karan kokonaispituuden kasvaessa säätöalue siirtyy ylöspäin.



Kuvio 16. Rautasydämen ruuvi tulee asemoida viivojen väliin ennen valumates-
tiä.

Jotta säätöalueeseen ja rautasydämen lopulliseen säätöön saataisiin samankaltaisuutta eri sulkimien kesken, täytyisi tiivisteet saada samanlaisiksi jokaisessa karassa. Jos säätöalueen saisi keskenään samanlaisilla karoilla suoraviivaiseksi, voisi luottavaisin mielin säätää rautasydämen kokoonpanossa esimerkiksi 0,00 arvoon. Tuolla arvolla se pysyisi valumatestissä. Aiemmin tekemäni testin (ks. kuvio 15) perusteella, jossa tiivisteet oli hiottu karan tasoon, monen sulkimen loppusäätöarvo oli 0,00 paikkeilla. Tämä tarkoittaisi sitä, että suurta osaa ei tarvitsisi momentin testausvaiheessa enää säätää laisinkaan ja se tekisi työstä entistä tehokkaampaa ja tuottavampaa.

Seuraavana vuorossa oli improve eli parannusvaihe, jossa pyrittiin prosessin parantamiseen pienentämällä tiivisteiden aiheuttamaa vaihtelua. Nykyisillä tiivistekalvosta leikatuilla paloilla täydellistä samankaltaisuutta ei kuitenkaan saada, vaikka tiivisteet hiottaisiin karan tasaan, koska osa tiivisteistä on ohuempia, kuin potero johon ne liimataan. Mietimme vaihtoehtoja ratkaisua tiivistekalvolle ja saimme ajatuksen, että jos löytyisi jonkinlainen tiivisteiden vaatimukset täyttävä massa, jonka voisi pursottaa poteroon ja pyyhkäistä ylituleva osuus lastalla pois, jonka jälkeen annettaisiin massan kovettua. Oletimme että näin saataisiin karan tiivisteet ainakin samanlaisiksi keskenään.

Vaihtoehtoja ratkaisua tiivisteelle oli mietitty yrityksen puolelta jo aikaisemminkin mutta parempaa ratkaisua ei tähän mennessä ollut löytynyt. Tiivisteelle asetettiin vaatimuksiksi hydraulioöljyn kesto sekä oikea kovuus. Tiiviste ei saa olla liian kovaa eikä liian pehmeää materiaalia. Sen oikea kovuusarvo oli saatu ko-

keilemalla eri materiaaleja ja havaittu nykyisellään sopivaksi. Ryhdyin etsimään sopivaa tiivistemassaa eri liima- ja tiivistevalmistajien katalogeista sekä kyselin tietoja mahdollisista tiivisteistä myös heidän edustajiltaan.

Löysin erään kovuusvaatimukset täyttävän massan ja tilasimme sitä testitarkoitukseen. Tein puusta paletin prototyypin, johon asetin useita karoja pystyyn. Sen jälkeen pursotin massaa jokaisen karan upotukseen. Tasasin massan karan päädyn tasoon ja pyyhin ylimääräiset pois. Annoin massan kovettua, jonka jälkeen tarkastelin ja mittailin karoja. Uudella tiivistemateriaalilla oli tarkoitus tehdä taas testit rautasydämen säädön ja valumatestialueen suhteen. Uuden- ja vanhan tiivisteiden testaustuloksia oli tarkoitus vertailla keskenään.

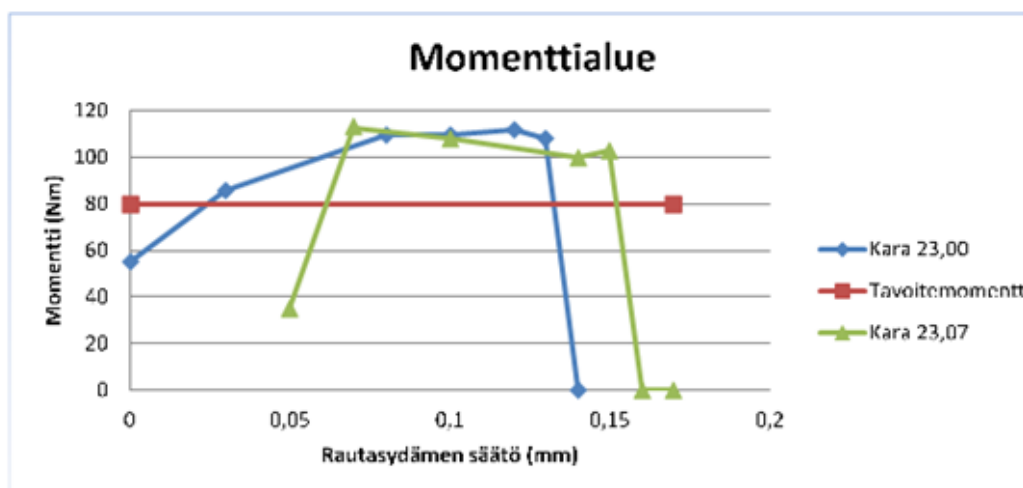
Uusi tiivistemassa ei kuitenkaan toiminut kyseisessä tarkoituksessa lainkaan toivotulla tavalla. Ongelmia ilmeni massan kovettumisessa ja lopullisessa kovuusarvossa. Uuden massan ongelmista kerron lisää tulokset -osiossa. Päätin jättää kyseisen menetelmän kokeilun eri tiivistemassoilla taka-alalle, koska tämän opinnäytetyön puitteissa aika oli rajallinen ja uuden massan etsiminen ja tilaaminen veisivät paljon aikaa. Ei ollut myöskään tietoa siitä, tulisiko kyseinen menetelmä onnistumaan millään muullakaan massalla sen paremmin.

Ryhdyin siis pohtimaan keinoja prosessin parantamiseksi, pysymällä vanhoissa tiivistekalvosta leikatuissa tiivistepaloissa. Siirryin ongelmanratkaisussa takaisin määrittely- sekä mittausvaiheeseen. Tiivisteiden hiominen karan päädyn tasoon nauhahiomakoneella tai muulla vastaavalla on niin tarkkaa ja hidasta hommaa, että päätin miettiä ensin muita mahdollisia ratkaisuja.

Työtä tehdessäni ja useita karoja sen aikana mitattuani olin laittanut merkille, että karan pituus vaihtelee yleisimmin 23,00–23,07 mm:n välillä. Mittasin lisäksi tuolla hetkellä karojen kokoonpanopaikalla olevassa karalaatikossa olevia koottuja karoja ja tein saman huomion, suuri osa karojen pituuksista sijoittui tuolle välille. Päätin suorittaa testin, jossa testattaisiin 23,00 mm ja 23,07 mm mittaisien karojen säätöalue jolla saadaan hyväksytty momentin arvo, eikä akseli "ryömi".

Testin tarkoituksena oli löytää säätöalue, jolla kaikki kokonaispituudeltaan 23,00–23,07 mm pitkät karat saavuttaisivat hyväksytyn momentin arvon valumatestin jälkeen ilman säätöä. Rautasydämen ruuvi kierrettäisiin siis kokoonpanovaiheessa kyseiseen arvoon ja siten vähennettäisiin säätökertoja.

Laitoin karat sulkimiin ja sulkimet valumatestiin. Valumatestin jälkeen säädin ruuvia hieman kerrallaan ja mittasin momentin arvon. Kun säätöalue ylittyi ja akseli alkoi ryömiä, merkkasin momentin nolllaksi. Testitulokset kirjasin ylös (liite 6) ja tein niistä kuvaajan (ks. kuvio 17). Lisäsin kuvaajaan vaakaviivan, joka kuvaa momentin ohjearvoa. Viivan yläpuolelle jäävä alue kuvaa säätöaluetta, jolla saadaan hyväksytty momentin arvo. Molempien karojen yhteiseksi jäävä alue kuvaa taas sitä säätöaluetta, jolla kaikki 23,00–23,07 mm karat saavuttaisivat hyväksytyn momentin arvon ilman säätöä valumatestin jälkeen.



Kuvio 17. Karapituuksien 23,00–23,07 mm momenttialue.

Edellä tehdyn testin perusteella voidaan olettaa, että melkein kaikki karat joiden mitta vaihtelee välillä 23,00–23,07 mm tuottaisivat hyväksytyn momentin ilman säätöä, kun ne laitettaisiin valumatestiin rautasydämen ruuvien arvolla $0,1 \pm 0,03$ mm. Karoissa maksimipituudeksi oli havaittu n. 23,20 mm (harvemmin näin pitkiä) ja minimipituudeksi n. 22,96 mm. Aiemmin tekemieni testien mukaan kaikki karat minimi- ja maksimiarvojen väliltä asettuvat hyvin valumatestiin rautasydämen ruuvien 0,10 mm arvolla. Ruuvien asemoinnin ei kuitenkaan tarvitsisi olla noinkaan tarkka, koska valumatestiin tarvittava säätöalue on huomattavasti suurempi. Asemoimalla rautasydämen ruuvi n. 0,1 mm arvoon kokoonpanovai-

heessa, voitaisiin sulkimet laittaa maalauksen jälkeen suoraan valumatestiin. Lisäksi moni sulkimista todennäköisesti läpäisisi momentin testauksen ilman ainuttakaan säätöä.

Toteutin testin jossa testattiin edellistä teoriaa. Asemoin kymmenen rautasydäntä arvoon 0,10 mm. Otin kymmenen maalauksesta tullutta FD-suljinta ja mittasin niiden karat. Karojen mitat vaihtelivat 22,97–23,20 mm:n välillä. Puolet karoista olivat 23,00–23,07 mm:n mittaisia. Asetin sulkimet valumatestiin, jonka kaikki läpäisivät. Sitten mittasin ja säädin yksi kerrallaan jokaiseen hyväksyttävän momentin arvon. Otin myös sekuntikellolla ajan, joka kului kymmenen sulkimen testaukseen. Viisi suljinta läpäisi testin ilman säätöä. Tämä toimintamalli näyttäisi siis toteuttavan halutun lopputuloksen, jossa ensimmäinen testausvaihe voitaisiin jättää prosessista pois. Lisäksi jäljelle jäävässä testausvaiheessa moni suljin saataisiin läpäisemään testi säädöittä.

Tein saman testin vielä uudestaan, nyt kuitenkin suuremmalla otannalla (26 kpl) ja rautasydämen ruuvit asemoitiin välille 0,05–0,20 mm. Asemointiväli valittiin aikaisemman testin perusteella, jossa oli havaittu kaikkien karamittojen asettuvan valumatestiin tuolla välillä. Käytin suurempaa asemointiväliä, jotta saataisiin varmuus siitä, että sulkimet läpäisevät valumatestin, vaikka ruuvia ei saataisi asemoitua aivan $0,10 \pm 0,03$ millimetrin tarkkuuteen. Kaikki sulkimet läpäisivät valumatestin ja niihin sai säädettyä tarvittavan momentin.

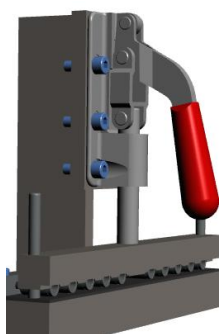
Kahdeksaan suljinta, mikä on noin 30 prosenttia kaikista, ei tarvinnut säätää laisinkaan. Noin 46 prosenttia ruuvien asemoinneista sattui $0,1 \pm 0,03$ mm:n välille. Jos oletetaan että noin 70 prosenttia kaikista karoista sijoittuisi välille 23,00–23,07 mm niin se vahvistaa jälleen teoriaa, jossa suuri osa sulkimista saataisiin läpäisemään testit säädöittä, kun rautasydän saataisiin asemoitua $0,1 \pm 0,03$ mm:n alueelle. Tämän voi todistaa laskukaavalla: $0,70 \cdot 0,46 \approx 0,32$.

Parannusvaiheessa prosessia muutetaan siten, että rautasydämen kokoonpanossa ruuvi pyritään asemoimaan jatkossa 0,1 millimetriin. Tämän jälkeen kokoonpano, öljyntäyttö, maalaus ja pesu suoritetaan normaalisti, kuten aikaisemminkin. Maalauksen jälkeen suljinta ei laiteta lainkaan testipenkkiin. Nyt

maalaussuoja sekä jousivoima kierretään pois sulkimesta ja asetetaan solenoidi sulkimeen. Tämän jälkeen suljin laitetaan valumatestiin. Hyväksytyn valumates-
tin jälkeen sulkimista testataan ja mahdollisesti säädetään niille hyväksytty mo-
mentin arvo, jonka jälkeen ne ovat valmiita pakattavaksi.

Rautasydämen ruuvien asemoiminen käsituntumalla edellä mainittuihin tark-
kuuksiin olisi hidasta, koska se vaatisi monia mittauksia ja säätöjä siihen pää-
semiseksi. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja testattiin erilaisia asemointi-
menetelmiä ja niiden tarkkuutta sekä soveltuvuutta ruuvien aseointiin.

Ensiksi aseoinnin työkaluksi testattiin Destaco -kiinnittimen prototyyppiä, jossa
rautasydän kiinnitettiin jousivoimalla ja ruuvi kierrettiin vastetta vasten. Ajatuk-
sena oli, että vaste olisi asemoitu niin, että ruuvi jäisi halutun verran rautasydä-
men sisälle. Lopulliseen kiinnittimeen oli ajatuksena saada 10 rautasydäntä ker-
ralla (ks kuva 7).



Kuva 7. Destaco-kiinnittimen periaate (Kuva: Abloy Oy 2013).

Destacolla kiinnittäminen ei kuitenkaan onnistunut, koska sillä ei saavutettu tar-
peeksi puristusvoimaa rautasydämien paikallaan pysymiseksi ruuveja kiertäes-
sä. Suuri voimantarve johtuu ruuveissa olevista lukitetahnoista.

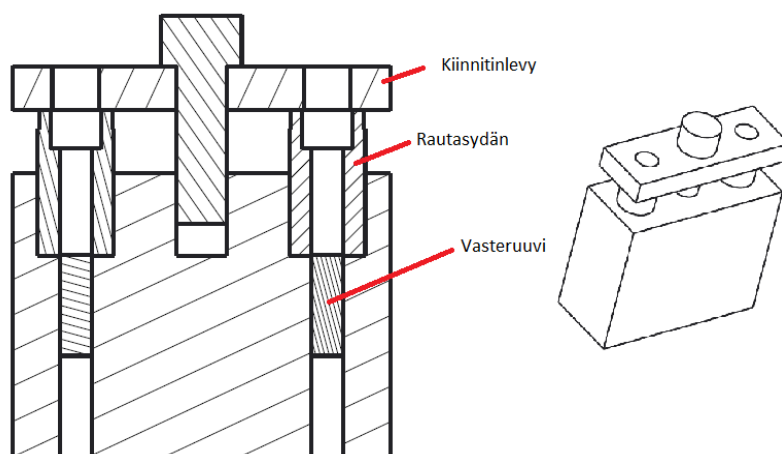
Seuraavaksi valmistettiin ja testattiin prototyyppiä jossa rautasydämet kiinnitet-
tiin pultilla ja vaste, joka asemoi ruuvien oli kuusioavaimeen liitettynä (ks. kuva
8). Tässä idea oli taas sama eli kun ruuvi on oikealla kohdallaan, vaste ottaa
kiinni eikä ruuvi pääse enää liikkumaan.



Kuva 8. Prototyyppi 2 ruuvien aseointiin (Kuva: Tommi Hassinen).

Tälläkään ei päästy haluttuihin tarkkuuksiin. Poteroissa joihin rautasydän kiinnitetään on jonkin verran välystä, joten rautasydän pääsee hieman liikkumaan pituussuunnassa. Myös rautasydämien ja ruuvien pituuksissa on jonkin verran vaihtelua, joten kyseisellä kiinnittimellä ei päästä haluttuun tarkkuuteen. Lisäksi ruuvia kiertäessä vasteen tulisi aina olla samansuuntaisesti kuin kiinnittimen reunan, jotta ruuvi edes teoriassa voisi liikkua haluttuun asemaan. Jos vaste olisi vähänkään vinossa, se pysäyttäisi ruuvien liian ajoissa. Tämä aiheuttaa ongelman akkuvääntimellä ruuvatessa.

Protokiinnittimen suunnittelussa käytettiin PDCA-mallia. Edellisistä opittuna todettiin, että kiinnittäminen kannattaa suorittaa pituussuunnassa, jolloin eri komponenttien mittavaihtelut eivät pääse vaikuttamaan aseointiin. Todettiin myös, että aseointivasteen kannattaa olla siellä päässä, johon ruuvi on tarkoitus asemoida, eikä esimerkiksi kuusiokoloavaimessa niin kuin edellisessä mallissa. Näiden pohjalta suunnittelin seuraavan prototyypin (ks. kuva 9). Työkalussa rautasydämet kiinnitetään puristamalla niitä päädyistä kiinnitinlevyllä. Toisessa päädyssä on vasteruuvi, jota vasten rautasydämen ruuvi kierretään. Ruuvi jää näin oikeaan asemaan.



Kuva 9. Luonnos ruuvien asemointityökalun prototyypistä (Kuva: Tommi Hassinen).

Tämän mallinen työkalu valmistettiin ja sitä testattiin. Työkalu toimi niin kuin ajateltiin ja asemoinnista saatiin tarkka. Tulokset osiossa kerron lisää työkalun testaustuloksista.

DMAIC-parannusmallin viimeisessä, eli ohjaus ja valvonta -osiossa työntekijöille tullaan ohjeistamaan uusi työjärjestys. Uusi ruuvien asemointityökalu otetaan myös käyttöön. Koko testausprosessin kelloitettuina jaksoaikoja ennen parannusta ja sen jälkeen vertailtiin, jotta voitiin todeta parannuksen hyödyllisyys. Eri työvaiheiden jaksokaikojen perusteella laskettiin parannuksen tuottama hyöty yritykselle sekä vuosi-, että kappalekohtaisella tasolla.

4.3 Laatuhukka FD-ovensulkimien valmistuksessa

Aiemmassa kappaleessa käsiteltiin testausvaiheessa ilmenevää työvaihehukkaa ja tämä kappale keskittyy työn toiseen tutkimuskohteeseen eli kokoonpano- ja testausvaiheessa hylätyihin ovensulkimiin. Ne aiheuttavat hukkaa ja siten lisäävät kustannuksia. Tuotteiden hylkäyksiä voidaan pitää laatuhukkana, joka on yksi lean-ajattelussa poistettavista hukista. Vähentämällä kyseistä hukkaa laatukustannukset laskevat ja tuottavuus nousee. Laatuhukan osalta kehityskysymyksenä tutkittiin, mikä aiheuttaa suurimman osan hylätyistä FD-sulkimista ja miten kyseisen hukan syntyä voitaisiin ehkäistä.

Prosessin nykytilassa kyseistä hukkaa ei seurata juuri mitenkään. Aikaisemmin hylätyt kappaleet ovat tiedossa vain vuosihävikin muodossa, mutta ongelmien syitä ei ole kirjattu mihinkään. Työntekijän havaitessa laatuongelmaisen tai toimimattoman ovensulkimen, hän heittää sen vain hukkakappaleille tarkoitettuun jalkalaatikkoon. Tämä aiheuttaa ongelman hukan tutkimisen kannalta, kun hylkäyksien syitä tai ajanjaksoa ei ole kirjattu mihinkään. Opinnäytetyötäni aloittaessa jalkalaatikossa oli useita kymmeniä hylättyjä sulkimia.

Jotta saataisiin parempi käsitys laatu hukkaan johtavista tekijöistä prosessissa, tehtiin uusi ohjeistus hylättäville sulkimille. Aiemmin käytetty jalkalaatikko poistettiin käytöstä ja tilalle tuotiin kärry, johon hylätyt tuotteet laitetaan jatkossa. Tutkimisen helpottamiseksi tehtiin myös "viallinen" tarroja ja työntekijät ohjeistettiin liimaamaan tarra vialliseen sulkimeen. Lisäksi tarraan oheistettiin kirjamaan hylkäämisen syy ja muuta mahdollista tietoa siitä miksi suljin ei toimi.

Tekemäni suunnitelman mukaan viallisia FD-sulkimia oli tarkoitus kerätä käyttämällä pareto -menetelmää. Näytteiden keräysjaksoksi asetin yhden kuukauden, jonka jälkeen niistä oli tarkoitus tehdä pareto-kuvaaja. Kuvaajalla saataisiin selkeä graafinen kuva hylkäyksiin johtavien syiden jakaumasta ja sen perusteella voitaisiin ohjata tutkimus- ja kehitystoimet prosentuaalisesti eniten laatu hukkaan johtaviin tekijöihin. Kehittämällä suurimpia laatu hukkaan johtavia tekijöitä saataisiin ehkäistä laatuongelmia tehokkaimmin.

Kuukauden kuluttua tutkimuksen aloituspäivämäärästä lukien hylättyjä sulkimia ei ollut kuitenkaan kertynyt kuin 4 kappaletta, joten päätin lisätä näytteiden keräämisaikaa vielä puolellatoista kuukaudella. Tämän jälkeenkään näytteitä ei ollut kerääntynyt tarpeeksi, mutta tämän opinnäytetyön ajan puitteissa keräysaika ei enää pystynyt jatkamaan.

4.4 Ergonomia FD-solussa

Opinnäytetyöni kolmas tutkimuskohde oli FD-solun ergonomia. Tarkoituksena oli tutkia solun ergonomiata ja puutteiden ilmetessä pohtia siihen parannusehdo-

tuksia. Kehityskysymykseksi ergonomian osalta asetettiin, mitä puutteita FD-solussa on ergonomian osalta ja miten puutteet voidaan korjata.

Tutkimuksessa päätin käyttää työpaikan ergonomian selvitysmenetelmää. Muokkasin työterveyslaitoksen julkaiseman selvityslomakkeen sopivaksi FD-solulle. Ergonomian selvitys rajattiin koskemaan pelkästään FD-ovensulkimien valmistuspisteitä, joihin myös muut opinnäytetyöni tutkimusaiheet oli rajattu. Selvityksessä arvioitiin työskentelypisteitä, kulkuväyliä ja muita tiloja sekä FD-solun varastointia. Selvityksen ulkopuolelle jäi siis FD-solussa toimivat palonsulkujärjestelmien kokoonpanotyöpisteet.

Selvitys tapahtui käymällä lomakkeen kohdat läpi yksi kerrallaan. Kunkin selvittävän kohdan puutteet sekä kehitysehdotukset kirjattiin ylös. Selvityksessä pyrittiin huomioimaan myös hyviä ratkaisuja, joita voisi hyödyntää tehtaassa työpisteissä. Selvityksen tekemiseen osallistui itseni lisäksi solun työntekijä ja työnjohtaja sekä työsuojeluhenkilö, jotta saataisiin useampia näkökulmia ja mielipiteitä aiheeseen. Seuraavaksi esitellään selvityksessä läpikäytyt kohdat. Selvityksestä saatuja tuloksia esitellään tulokset osion ergonomia -kappaleessa.

Ensimmäisessä vaiheessa arvioitiin työtilaa kokonaisjärjestelyiden osalta. Osuudessa käytiin läpi toiminnan yleistä sujuvuutta ja sitä onko työkalut, koneet ja kalusteet työtoiminnan mukaisesti järjestelty. Kyseisessä osiossa pohdittiin myös työpisteessä liikkumista ja varastointijärjestelyjä.

Toisena pääkohtana selvityksessä oli työtehtävät ja työn sisältö. Siinä arvioitiin työn kokonaisuutta mielekkyyden ja monipuolisuuden, sekä hallittavuuden osalta.

Kolmas arviointikohta oli työn tauotukseen liittyvät asiat. Tässä arvioitiin työn tauotuksen tarvetta lämpökuormituksen, yksipuolisen työn ja jatkuvan istumisen tai seisomisen takia.

Neljännessä kohdassa arvioinnin kohteena olivat työpisteen ominaisuudet. Näiden osalta arvioitiin työpisteiden järjestely- ja säätömahdollisuuksia sekä työpis-

teiden tuolien, seisoma-alustoiden ja kalusteiden sopivuutta työhön. Samalla arvioitiin myös työpisteiden tilantarvetta.

Viidennessä kohdassa arvioitiin koneiden ja laitteiden ohjaimia, näyttöjä ja tiedonkäsittelyä. Pohdittiin onko ohjaimet merkitty niin, että ne ovat helppokäyttöisiä ja että havaitaan helposti mistä tapahtuu mitään sekä onko ohjeistus helposti luettavissa ja havaittavissa.

Kuudes kohta arvioinnissa keskittyi työkaluihin ja työliikkeisiin. Osiossa käsiteltiin työkalujen ja työtapojen turvallisuutta sekä käyttökelpoisuutta. Myös työkalujen käytössä tarvittavaa voimaa ja käsien asentoja sekä niiden vaikutuksia arvioitiin.

Seitsemännessä kohdassa käsiteltiin valmistettavien tuotteiden ominaisuuksia. Arvioinnissa käytiin läpi työkappaleiden kiinnityksen ja irrotuksen helppous sekä tuotteen käsittelyn helppous ja fyysinen rasitus. Mietittiin myös työn aikana eri vaiheissa mahdollisesti muodostuvia laadullisia ongelmia, kuten naarmuja.

Arvioinnin kahdeksas kohta käsitteli nostamista ja kantamista. Siinä käytiin läpi työn fyysisiä kuormitustekijöitä nostotyön osalta FD-solun nykytilassa. Arvioitiin myös tarvitseeko jokin työvaihe tai työpiste esimerkiksi apuvälineitä nostoon tai taakkojen siirtämiseksi.

Yhdeksäs käsiteltävistä aiheista keskittyi valaistukseen. Arvioitiin onko valaistus riittävä kussakin työpisteessä. Myös valaistuksen säädettävyyttä ja tasaisuutta arvioitiin. Auringonvalo ei saisi haitata työsuorituksia, joten myös sen vaikutuksia arvioitiin.

Kymmenes arviointikohde oli työpaikan lämpöolot. Siinä arvioitiin työn lämpökuormituksia, ilmankosteutta ja vetoa eli ilmanvirtauksia. Sopivana lämpötilana liikkuvassa kevyessä työssä pidetään noin 19–23°C ja istumatyössä noin 21–25°C (Työterveyslaitos 2010).

Seuraavaksi keskusteltiin työsolun äänioloista. Yleinen raja-arvo, jonka ylitettäessä on käytettävä kuulonsuojausta on 85dB. Tehtaan eri osastoille on tehty melukartoitus, jossa on mitattu kunkin työpisteen meluarvot. FD -solussa meluongelmaa ei kartoituksen mukaan ole, joten jatkuva kuulosuojaus ei ole välttämätön. Kuulosuojainten paikat ovat kuitenkin työntekijöillä tiedossa.

Kahdentenatoista kohtana käsiteltiin työn opastukseen ja ohjeistukseen liittyviä asioita. Osiossa pohdittiin onko solun työhön perehdyttäminen, terveelliseen työtapaan liittyvät ohjeistukset sekä työpisteiden työ- ja käyttöohjeiden nykytila kunnossa vai tarvitaanko parannuksia.

Arvioinnin viimeisessä osiossa keskusteltiin muista solun ergonomiaan liittyvistä asioista, jotka eivät kuuluneet selvitykseen. Osiossa pohdittiin esimerkiksi solun toimivuutta yleisellä tasolla tapaturmiin ja työn hallintaan liittyen.

5 Tulokset

5.1 Testausvaihe

Vaihtelu

Vaihtelu eri komponenttien mitoissa vaikuttaa FD-ovensulkimen toiminta-arvoihin. Tehtyjen testien ja tutkimusten perusteella suurimmaksi vaihtelun aiheuttajaksi testausvaiheessa ja sulkimen toiminnassa ilmeni kuitenkin yksittäinen komponentti eli kara. Siihen liimatun tiivisteiden paksuus vaihtelee ja se aiheuttaa vaihtelua karojen kokonaispituuksissa. Karan kokonaispituudella ja momentilla huomattiin olevan korrelaatio keskenään. Korrelaatiota testattiin eri testeillä.

Esimerkiksi eräässä testissä karan tiivisteet hiottiin karan päädyn tasoon. Testituloksista (ks. liite 4) huomataan, että suuri osa rautasydämen ruuvien lopullisista säädöistä sijoittuu 0,00-arvoon tai aivan sen lähistölle. Aikaisemmassa tutkimuksessa (ks. liite 1), jossa karan tiivisteiden vaihtelua ei oltu huomioitu, rautasydämen lopullinen säätö vaihteli huomattavasti enemmän. Testin perusteella voidaan siis todeta, että suuri osa vaihtelusta aiheutuu juuri karan vaihtelun takia.

FD-ovensulkimilla todettiin olevan säätöalue, jolla ne voi laittaa valumatestiin. Ruuvi täytyy asemoida tälle alueelle kokoonpanossa, jotta ensimmäinen momentin testauskerta voidaan jättää pois prosessista. Säätöalueen laajuudeksi testeissä saatiin keskimäärin 0,3 mm. Testeissä ilmeni momentin testauksen ja säädön lisäksi, että karan pituus vaikuttaa myös kyseiseen säätöalueeseen (ks. liite 5). Tehtyjen testien perusteella nykyisellä karojen pituuden vaihtelulla 22,96–23,20 mm kaikki karat asettuvat valumatestiin, kun rautasydämen ruuvi asemoidaan rautasydämen sisään syvyyteen 0,05–0,20 mm.

Työn aikana huomattiin myös, että momentin tarkka säätö on turha tehdä ennen valumatestiä, koska tiiviste joutuu puristuksiin ja painautuu hieman valumatestin aikana. Vaikka säätö olisi tehty tarkasti mutta tiiviste painautuu hieman valuma-

testissä, ei säätö ole testin jälkeen enää hyvä vaan akseli voi "ryömiä". Vasta valumatestin jälkeen tiiviste on lopullisessa muodossaan ja tehty säätö ei enää muutu ajan kuluessa.

Uuden tiivistemateriaalin testaus

Jotta vaihtelua momentin testausvaiheessa oltaisiin saatu pienemmäksi, karan tiivisteeksi etsittiin vastaavan kovuista ja muutenkin vaatimukset täyttävää tiivistemassaa. Massa oli tarkoitus pursottaa karan poteroon ja tasata päädyn tasoon, jolloin saataisiin keskenään samanlaisia karoja. Teknisiltä tiedoiltaan sopiva massa löytyikin lopulta, mutta kyseisessä öljykanavan tiivistystarkoituksessa se ei toiminut laisinkaan.

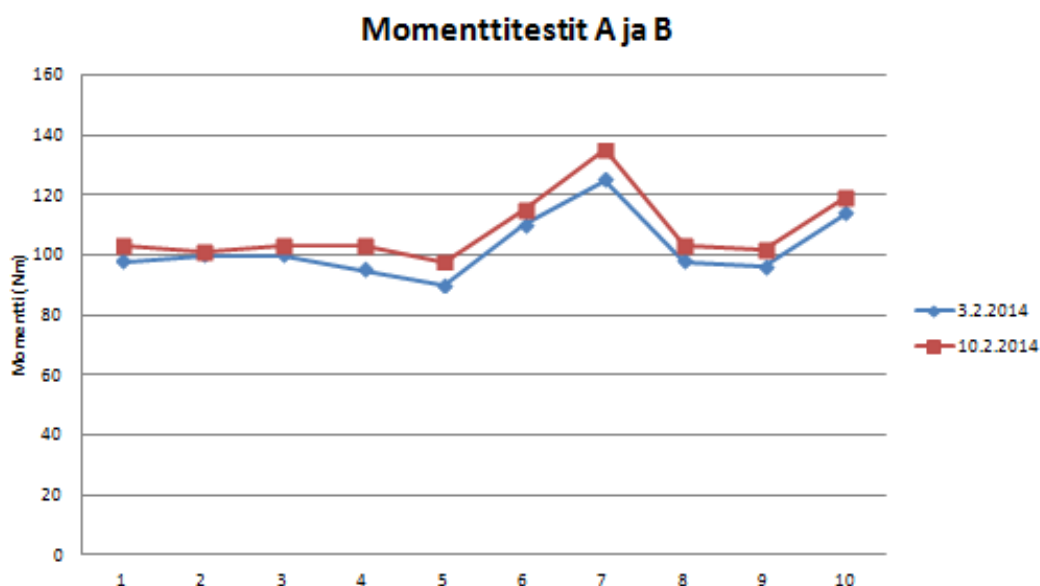


Kuva 10. Uuden tiivistemassan testaus (Kuva: Tommi Hassinen).

Massan kovettuttua huomattiin, että kovettuessaan se on osassa kappaleista tiivistynyt ja vetäytynyt enemmän kuin toisissa (ks. kuva 10). Vaihtelu karojen pituuksissa oli uudella tiivistemassalla vielä suurempaa, kuin nykyisellä tiivistekalvolla. Vain alle puolet valmistetusta testierästä olivat mitoiltaan edes lähellä haluttua. Lisäksi kovettunut massa oli huomattavasti kovempaa, kuin nykyinen tiivistekalvo vaikka esitteessä luvattiin sama kovuus, kuin nykyisellä. Kovuusarvotakaan ei siis päästy haluttuun tulokseen. Kokeilin kuitenkin mitoiltaan hyviksi havaittuja karoja ja testasin FD-ovensulkimen toimintaa niillä. Vain noin kymmenesosa karoista toimi käytännössä. Suurin osa ei pystynyt sulkemaan öljykanavaa halutulla tavalla, joten sulkimet eivät toimineet. Syy toimimattomuuteen oli todennäköisimmin liian suuri kovuus.

Momentin pysyvyys

Ovensulkimien momentin pysyvyydestä ajan saatossa ei ollut testaustietoa ja varmuutta, joten se päätettiin testata. Näin voitiin varmistua siitä, että asiakas saa laadukkaan, oikein toimivan ovensulkimen, eikä momenttiarvo muutu ovensulkimen ollessa käyttämättömänä esimerkiksi jälleenmyyjän varastossa. Testissä momentti ei laskenut (ks. kuvio18) ja käyttämättömänä olon jälkeen saatiin edelleen tiukka, "naksahava" vapautus. Testin jälkeen kuukauden kuluttua tein vielä muutaman pistokokeen kyseisille sulkimille ja tulokset olivat edelleen hyviä, joten momentin pysyvyydestä varmistuttiin.



Kuvio 18. Momentin pysyvyydestestin tulokset.

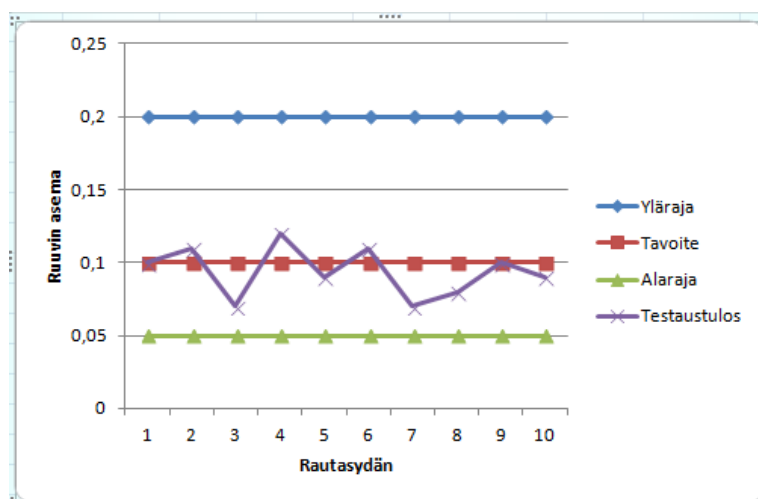
Prosessin lopullinen parannus

Uusi tiivistemateriaali ei toiminut halutulla tavalla. Karojen tiivisteiden ulkonemien hiomisen taas todettiin olevan liian monimutkaista, jotta se kannattaisi laajemmassa tuotantokäytössä. Hiominen nauhahiomakoneella on todella tarkkaa puuhaa, koska karasta hioutuu helposti muutama sadasosamilli liikaa, jolloin hiomisen tarkoitus menee hukkaan. Myös mittaamista joutuisi suorittamaan useasti, jotta saataisiin karat juuri oikean mittaisiksi. Tämän vuoksi päätin pyrkiä kehittämään prosessia nykyisillä tiivisteillä, hyväksyen niiden mittojen vaihtelun.

Karojen pituus vaihtelee kokonaisuudessaan välillä 22,96–23,20 mm, mutta havaintojen ja mittausanalyysien perusteella suuri osa sijoittuu kuitenkin välille 23,00–23,07 mm. Prosessin parannusvaihe päätettiin suorittaa tälle välille sijoituvien karojen mukaan mutta kuitenkin siten, että kaikilla karoilla valumatestiin laittaminen onnistuu ilman ensimmäistä säätöä ja testausta. Yleisimmille karapi-tuuksille mitattiin yhteinen rautasydämen ruuvin säätöalue, jolla saadaan hyväksytty momentti valumatestin jälkeen.

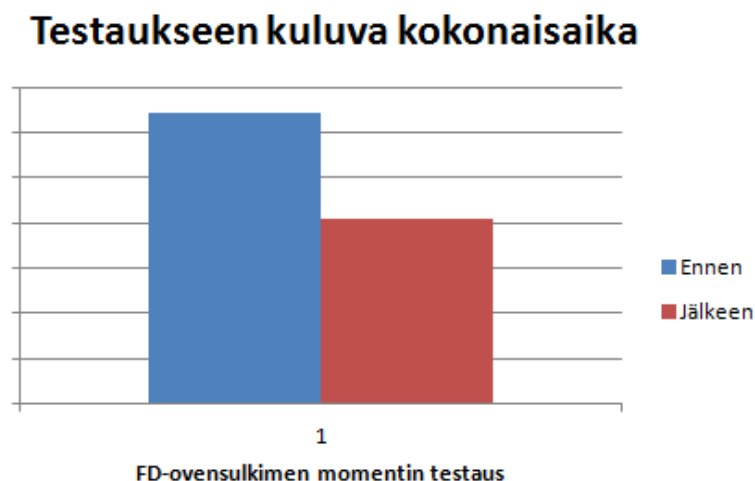
Kun rautasydämen ruuvi asemoidaan kokoonpanovaiheessa rautasydämen sisään $0,1 \pm 0,03$ mm, saadaan yleisimmillä karan mitoilla hyväksytty momentin arvo ilman säätöä valumatestin jälkeen. Sulkimet joiden karat eivät pituudeltaan satu tuolle alueelle, asettuvat valumatestiin tuolla rautasydämen ruuvin säädöl-lä, mutta niille joudutaan säätämään hyväksytty momentin arvo valumatestin jälkeen. Ruuvin aseointi tulisi kuitenkin pyrkiä saamaan välille 0,05–0,20 mm, jotta voitaisiin olla varmoja siitä, että sulkimet asettuvat valumatestiin ilman sää-töjä.

Rautasydämen ruuvien asemoimiseksi valmistettiin työkalu, josta kerrottiin ai-kaisemmassa kappaleessa. Asemointityökalua testattiin ja tulokset olivat hyviä. Työkalua testatessa asemoitiin kymmenen ruuvia, jonka jälkeen niiden paikka mitattiin. Asemointi onnistui toivotulla tavalla ja kaikki saatiin jäämään ihanne-alueelle $0,10 \pm 0,03$ mm (ks. kuvio 19). Tämän mallinen työkalu sopii siis hyvin kyseiseen tarkoitukseen.



Kuvio 19. Asemointityökalun testaus.

Ohjausvaiheessa tuotettiin myös ennen ja jälkeen parannuksen diagrammi (ks. kuvio 20), jolla vertailtiin parannuksen hyötyjä. Työvaihekohtaiset muutokset ennen ja jälkeen prosessin kehityksen ovat eriteltynä liitteessä 7. Toimeksiantajan pyynnöstä tämän opinnäytetyön julkisessa versiossa ei kuitenkaan julkaista tarkkoja kustannussäästöjä ajan tai rahallisen hyödyn suhteen.



Kuvio 20. Testausaika ennen ja jälkeen.

5.2 Laatu hukka

Hylättyjen ovensulkimien tutkiminen ei sujunut suunnitelmien mukaan. Tutkimuksen ongelmaksi muodostui ajanpuute. Hylättyjä kappaleita niiden keräyspisteeseen tuli vain murto-osa siitä, mitä niitä ajateltiin tulevan. Aikaisempina vuosina kokonaishylkäyksien määrä on ollut noin 200–300 kappaletta vuodessa eli noin 17–25 kpl/kk. Nyt kappaleita kertyi kahden ja puolen kuukauden aikana yhteensä vain kuusi.

Ajatuksena oli tarkastella prosentuaalisesti eniten hylkäyksiin johtavia syitä Pareto-menetelmällä. Muutaman kappaleen perusteella ei kuitenkaan voitu tehdä kunnollista Pareto-kuvaajaa tai suurempia johtopäätöksiä kokonaisuutta ajatellen. Siten myös niiden syvällisempi tutkiminen jäi tekemättä. Tutkimuksen aluksi oletettiin aikaisempien kokemusten perusteella, että kuukauden ajalta kerään-

tyy tarpeeksi hylättyjä sulkimia kunnollista tarkastelua varten. Näin ei kuitenkaan tapahtunut

Keräysaikana saaduista hylätyistä ovensulkimista viisi kuudesta hylkäyksestä tapahtui kokoonpano ja öljyntäyttövaiheessa. Niistä kolmessa hylkäyksen syynä oli se, ettei ovensulkimeen saatu pitoa lainkaan, eli suljin ei pystyisi pitämään ovea auki. Hylkäyksistä vain yksi tapahtui siis maalauksen jälkeisessä momentin testaus ja säätövaiheessa ja se johtui komponentin hajoamisesta testausvaiheessa.

5.3 Ergonomia

Ergonomian selvityslomakkeisiin kirjattujen tietojen pohjalta tein yhteenvetolomakkeen (ks. kuvio 21). Mikään arvioituista kohteista ei saanut numeroa kolme, joten ergonomia FD-ovensulkimien osalta on sillä mallilla, että töitä voidaan jatkaa normaalisti. Moni arviointikohteista sai kuitenkin numeron kaksi, joten parannuskohteitakin löytyi.

1. Työtilan kokonaisjärjestelyt	1	2	3
2. Työtehtävät ja työn sisältö	1	2	3
3. Tauotus	1	2	3
4. Työpisteen ominaisuudet	1	2	3
5. Laitteiden ohjaimet ja näytöt, tiedonkäsittely	1	2	3
6. Työkalut ja työliikkeet	1	2	3
7. Tuotteen ominaisuudet	1	2	3
8. Nostaminen ja kantaminen	1	2	3
9. Valaistus	1	2	3
10. Lämpöolot	1	2	3
11. Ääniolot	1	2	3
12. Työn opastus ja ohjeistus	1	2	3
13. Muita arvioitavia tekijöitä	1	2	3

Kuvio 21. FD-solun ergonomiaselvityksen yhteenvetolomake.

Työpisteen kokonaisjärjestelyt ovat hyvällä mallilla. Työtoiminta on sujuvaa ja tuotteiden kuljetukset sekä liikkuminen on helppoa. Varastointitilat sijaitsevat aivan solun vieressä, joten siirtomatkat ovat lyhyitä. Erityisen hyvää FD-solun kokonaisuuden osalta oli se, että työpisteitä ei ollut eristetty toisistaan sermeillä tai muilla näköesteillä, joten kommunikointi työntekijöiden kesken on helppoa.

Kyseistä mallia voisikin suositella käytettäväksi myös muissa työpisteissä. Kokonaisuudessaan järjestelyt olivat hyvät ja toimivat, joten edellisvuonna tehtyä lean-kehitystä uusine layouteineen voidaan pitää onnistuneena.

FD-solun ergonomian ongelmat

Ergonomia ei tällä hetkellä ole kuitenkaan kaikilla osa-alueilla täysin kunnossa. Numeron kaksi saaneita parannusta vaativia kohteita löytyi useita. Opinnäytetyöni ergonomiasuus rajattiin siten, että siinä ideoidaan ratkaisuehdotuksia, mutta päätöksenteko ja toteutus jäävät yrityksen hoidettavaksi.

Ensimmäinen selvityksessä ilmennyt ongelma liittyi työtehtäviin ja työn sisältöön. Ongelmaksi ilmeni FD- ovensulkimen momentin testausvaihe. Ovensulkimen aukipitomomentti testataan normaalilla momenttiavaimella, jossa on noin puolen metrin varsi. Momenttiavaimella käännetään ovensulkimen akselia, kunnes momentti ylittää sulkimen aukipitomomentin. Momentti kasvaa joissain sulkimissa reilusti yli sataan Newtonmetriin. Momentin matemaattinen kaava on $M = F \times r$, jossa F = vaikuttava voima ja r = varsi, joten noin puolimetrisellä momenttiavaimella tarvittava voima on yli 200 Newtonia. Testauksessa ovensuljin on asetettuna kiinnittimeen, joka on noin lantion korkeudella. Moni solun työntekijöistä suorittaa momentin testaamisen työntämällä momenttiavainta lantiolla, koska tarvittava voima on niin suuri, että sen saavuttamiseksi tarvitaan vartaloa avuksi. Myös omakohtaista kokemusta testauksen rasittavuudesta sain tutustuessani prosessiin ja tehdessäni testejä momentin mittauksen parissa.

Työvaiheen fyysisen raskauden takia kaikki työntekijät eivät voi suorittaa kyseistä työtä. Tämän vuoksi myös työkierto ja työtehtävien monipuolisuus kärsii. Momentin testausvaiheessa ilmeni myös toinen rasittava tekijä. Solenoideja ja maalaussuojuksia auki ja kiinni kiertäessä ranne joutuu ääriasentoihinsa. Työvuoron aikana momenttia säädettäessä solenoidia joutuu pyörittelemään useita kertoja. Toistuvana toimintana se johtaa helposti työhön liittyviin sairauksiin, kuten jännetupitulehduksiin.

Pohdimme vaihtoehtoisia ratkaisuja momentin testaamiseen, joita kannattaisi kokeilla työn helpottamiseksi. Varteenotettavaksi vaihtoehdoksi nousi samanlaisen momenttivarsiyksikön käyttö, kuin päätykansien kiinnityksessä. Kyseisessä yksikössä sähköinen momenttiväännin lepää kevennysten avulla työkappaleen yläpuolella (ks. kuva 11), joten sen liikuttelu ja käyttö on helppoa. Momentin vääntö tapahtuu liipaisinta painamalla. Normaalisti yksiköt on tarkoitettu momenttiin kiristämiseksi, mutta tässä tapauksessa tarvitsisi mitata aukaisemiseen tarvittava momentti. Jos momenttivarsiyksikkö saataisiin vastaamaan käytön tarpeita, työntekijän fyysinen kuormitus vähenisi todella paljon. Nykyään momenttiavaimelle tarvittava suuri työntövoima korvautuisi siis liipaisimen painaluksella.



Kuva 11. Atlas Copcon SML MKII sarjan momenttivarsi (Kuva: Atlas Copco, 2014).

Toinen idea vaihtoehdoksi momentin mittaamiseen, joka tuli esille oli tehdasasetuksien testaus ja säätölaitteen käyttö. Keskustelin myöhemmin laitteen suunnittelijan kanssa ja pohdimme sekä testasimme laitetta momentin mittauksen merkeissä. Kyseisessä laitteessa on ohjelma valmiina juuri momentin mitausvaihetta varten, mutta sitä ei ole koskaan otettu käyttöön. Syytä edes suunnittelija itse ei muistanut, mutta tehtyämme muutamia testejä huomasimme, että nykymallissaan laitteen antamat tulokset eivät ole luotettavia.

Ohjelman ajonopeus oli huomattavan nopea ja se lienee yksi suurimmista syistä siihen, että tulokset olivat mitä olivat. Nopealla ajonopeudella laite ei esimerkiksi ehdi huomioida mahdollista testausvaiheessa tapahtuvaa akselin "ryömimistä"

ja myöskään saatu momentin arvo ei liian nopealla ajolla ole luotettava. Suunnittelijan mukaan laitteen ohjelmaa muokkaamalla olisi testistä kuitenkin mahdollista saada luotettava ja laitteesta soveltuva myös momentin mittaukseen.

Seuraava korjaustoimenpiteitä vaativa kohta on työpisteen ominaisuuksissa. Työpöydässä jossa ovensulkimen momentti mitataan ei ole nopeaa korkeuden säätömahdollisuutta. Pöydän korkeus muodostuu ongelmaksi, kun siinä työskentelee keskenään eripituisia työntekijöitä ja he eivät saa säädettyä korkeutta mieleisekseen. Se taas voi aiheuttaa vääriä työasentoja ja siten myös loukkautumisia.

Parannettavaa löytyi myös työn opastus- ja ohjeistusosioista. Abloy Oy:llä työn opastus ja ohjeistus uuden työntekijän kannalta hoidetaan mallikkaasti. Työntekijä käy läpi perehdytysohjelman, jonka jälkeen hän tuntee työskentelytavat ja mahdolliset työn vaarat ja haitat. Kehitettävää kuitenkin löytyi FD-solun työpisteiden työohjeista. Tällä hetkellä työohjeita ei ole näkyvillä tai nopeasti saatavissa. Ainoat ohjeet löytyvät kansioista varastohyllyköstä. Lisäksi nämä työohjeet on pelkästään kirjoitetussa muodossa eikä niitä ole päivitetty pitkään aikaan.

Ergonomiaselvityksessä myös valaistus- ja lämpöolot saivat numeron kaksi mutta niiden ongelmat oli otettu käsittelyyn jo ennen selvityksen tekemistä. Valaistuksen osalta harmia on aiheuttanut työpisteiden vieressä olevat isot ikkunat, joista tuleva kirkas auringonvalo haittaa työntekoa. Ongelman ratkaisemiseksi ikkunoihin on tilattu auringonvaloa himmentävät kalvot. Lämpöolojen ongelmat ovat aiheutuneet vedon tunteesta. Vetoa on aiheuttanut työpisteen läheisyydessä olevat isot halliovet, joista kulkee trukkiliikennettä vähän väliä. Ilmanvirtauksien poistamiseksi oviin on tilattu tahdistus, jonka avulla kahden hallioven avaus tahdistetaan siten, ettei molemmat ovet ole auki samaan aikaan.

6 Pohdinta

Momentin testausvaihe

Kehityskysymys: Olisiko prosessia mahdollista kehittää jättämällä ensimmäinen momentin testausvaihe kokonaan pois prosessista?

Prosessissa aikaisemmin ollut ensimmäinen momentin testausvaihe oli suurimmilta osin hukkaa, kuten ajateltiin. Ei kuitenkaan täysin koska ensimmäisessä testauksessa voidaan huomata jos kara ei tuota pitoa lainkaan ja se täytyy vaihtaa. Jos huomataan vasta valumatestin jälkeen, että kara täytyy vaihtaa, on sulkimelle suoritettava valumatesti uudelleen, koska vasta silloin karan tiiviste painuu lopulliseen muotoonsa. Karojen vaihtoja ilmenee kuitenkin sen verran harvoin, että ensimmäinen testauskertaa kannattaa jättää prosessista pois ja karan vaihdon vaativat yksittäiset sulkimet kannattaa laittaa valumatestiin uudelleen.

Opinnäytetyöni päätavoitteen osalta päästiin siis tavoitteeseen ja ensimmäinen testauskertaa voidaan jättää luottavaisin mielin pois prosessista, kun rautasydämen ruuvit asemoidaan kokoonpanossa oikealle säätöalueelle. Ensimmäinen testaus aiheuttaa odottamisen ja turhan prosessoinnin hukkaa. Nämä kuuluvat lean -ajattelussa poistettaviin hukkiin, joten poistamalla ne ollaan taas lähempänä täydellisyyttä, jota kohti lean -ajattelussa tähdätään.

Tavoitteeseen pääsemiseksi eli ensimmäisen testauskerran pois jättämiseksi ruuvien säädön ei kokoonpanovaiheessa tarvitsisi olla kuitenkaan niinkään tarkka, kuin testien avulla määritettiin eli $0,10 \pm 0,03$ mm. Ensimmäisen testauskerran voisi jättää pois kun ruuvi olisi asemoitu rautasydämen sisään kaikille karan mitoille yhteisellä valumatestin säätöalueella eli 0,05–0,20 mm rautasydämen päädyssä. Tarkemmalla asemoinnilla saavutetaan kuitenkin lisähyötyä, kun moni suljin läpäisee testin ilman säätöjä. Uudella ruuvien asemoimiseksi suunnitellulla työkalulla suurin osa ruuveista saadaan kuitenkin asemoitua ihannealueelle

ja siten useampi suljin läpäisee testauksen ilman ainuttakaan säätöä. Siispä testaukseen asetetut tavoitteet jopa ylitettiin.

Rautasydämen ruuvien asemaa mitattiin testeissä työntömitalla. Kyseisiä sadasosamillien tarkkuuksia mitattaessa työntömitalla ei varmasti saada täydellistä totuutta, varsinkaan kyseisestä melko vaikeasti mitattavasta kohteesta. Vaikka työntömitalla ei saataisikaan absoluuttista totuutta mitasta, huomattiin testejä tehdessä työntömitan tarkkuuden olevan kuitenkin riittävä tässä mittauksessa.

Tavoitteena oli työn tehokkuuden parantaminen ja siten kustannussäästöjen tuottaminen. Kun uusi työjärjestys otetaan käyttöön, saavutetaan tavoitteita noilta osin. Pullonkaulaa aiheuttavan työvaiheen poistaminen prosessista tulee lisäämään prosessin kokonaiskapasiteettia ja toteuttamaan asetettuja tavoitteita. Työn suorittamiseen tarvittava kokonaisaika lyhenee uudella työjärjestyksellä huomattavasti ja se auttaa Door Control -yksikköä sen tavoitteessa, eli työn tehokkuuden kasvussa kahdesta kolmeen prosenttia vuodessa. Lisäksi pullonkaulaa aiheuttavien työvaiheiden poistaminen oli Abloy Oy:ssä yksi lean -tarkkailun alaisista kohdista, joten opinnäytetyössä tehdystä prosessin kehityksestä oli hyötyä myös siltä osin.

Vaihtelu on laatuguru Demingin mukaan suurin yksittäinen syy eri ongelmassa. Myös FD-ovensulkimien valmistusprosessissa vaihtelun havaittiin olevan suuri murhe. Kokoonpantavien komponenttien mitoissa on vaihtelua, joka taas vaikuttaa suoraan ovensulkimen toimintaan. On kuitenkin muistettava, että jos kokoonpantavien komponenttien valmistustoleransseja ruvetaan tiukentamaan, lisää se samalla kustannuksia huomattavasti. Tällä hetkellä komponenttien toleransseja ei mielestäni ole syytä tiukentaa, vaan keskittyä prosessin kehitykseen nykyisillä mitoilla.

Six sigmassa pyritään kohti täydellistä nollavirhetasoa vaihtelua pienentämällä. Myös tässä työssä pyrittiin pienentämään vaihtelun eri lähteitä. Karan tiivisteiden huomattiin aiheuttavan suurinta vaihtelua, joten tiivisteet pyrittiin saamaan samankaltaisiksi keskenään ja näin pienentämään momentin säädössä tapahtuvaa vaihtelua. Näin prosessi olisi saatu hallintaan entistä paremmin. Karojen

vaihtelua ei kuitenkaan tämän opinnäytetyön puitteissa saatu pienennettyä, joten se oli pieni pettymys.

Nykyinen tiivistekalvo josta tiivistepalat leikataan on jo valmiiksi erikoislaatua, joten sitä ei kyseisenä kalvona ole mahdollista saada tarkemmilla mitoilla. Vaatimukset täyttävän tiivistemateriaalin etsiminen oli hankalaa ja vaihtoehtoja ei juuri löytynyt. Jatkossa eri tiivistevaihtoehtoihin kannattaisi kuitenkin perehtyä lisää ja etsiä tarkempaa ja parempaa ratkaisua karan tiivisteeeksi. Jos uusi parempi ratkaisu löydettäisiin, olisi siitä todella suuri hyöty prosessin parannuksen kannalta ja taas lähestyttäisiin tavoitetta eli nollavirhetasoa. Lisäksi uutta ratkaisua olisi mahdollista käyttää myös uusissa ovensuljinmalleissa.

Ruuvien asemoinnissa rautasydämen kokoonpanovaiheessa havaittiin suurta vaihtelua. Ruuvien asemoinnissa tapahtuvan vaihtelun pienentäminen on erittäin tärkeässä osassa, kun halutaan jättää ensimmäinen testausvaihe pois. Ruuvien asemoimiseksi testattiin useaa prototyyppiä. Lopulta löydettiin ratkaisu, jolla ruuvit saatiin asemoitua tarpeeksi tarkasti. Jatkotoimenpiteenä ruuvien aseointityökalusta voisi kuitenkin kehittää paremmin tuotantotyöhön sopivan. Prototyypissä kiinnitys tapahtuu pultilla ja se ei ole kovin nopea tapa, joten ainakin kiinnitykseen voisi kehitellä paremman ratkaisun. Nykyisellä prototyypillä aseointi toki onnistuu ja uuteen työjärjestykseen voidaan siirtyä jo sen avulla.

Laatuhukka

Kehityskysymys: Mikä aiheuttaa suurimman osan hylätyistä FD-ovensulkimista niiden valmistusprosessissa ja miten kyseisen hukan syntyä voitaisiin ehkäistä?

Tutkimuksessa ongelmaksi muodostui liian lyhyt näytteiden keräysjakso, joten tarpeeksi laajaa ja luotettavaa taulukointia laatuongelmien syistä ei saatu tämän opinnäytetyön aikana. Toisaalta se että näytteitä ei kertynyt paljoa on yrityksen kannalta hyvä asia sillä se kielii siitä, että sulkimien hylkääminen ei ole jokapäiväistä. Selvää prosentuaalista enemmistöä tutkiessa näytteitä kuuluisi olla paljon enemmän, kuin nyt saadut muutamat kappaleet.

Tutkimuksen luotettavuutta heikentää se, kun ei ole varmuutta onko kaikki hylätyt ovensulkimet todella kirjattu ja laitettu niiden keräyskärryyn vai onko osa heitetty entiseen tapaan vain romulaatikkoon.

Jos kuitenkin oletetaan että kaikki ovat toimineet ohjeistuksen mukaan, on todennäköistä, että käyttöönotettu uusi ohjeistus on vähentänyt niin sanottuja turhia hylkäyksiä, koska hylättyjä sulkimia kertyi reilusti oletettua vähemmän. Ohjeistuksen mukaan hylätty suljin ja siinä oleva vika kirjataan ylös. Vian kirjaamisen ohella kynnys hylkäämiseen todennäköisesti kasvaa suuremmaksi. Kun aikaisemmin minkäänlaista kirjausmenetelmää ei ole ollut, osa työntekijöistä on saattanut heittää sulkimen romulaatikkoon vaikka vika olisi ollut helposti korjattavissa. Yksinkertaisuudessaan jotkin viat voivat korjautua jonkin helposti vaihdettavissa olevan komponentin, kuten säätöruuvien vaihdolla. Yritykselle tällaiset viime hetken hylkäykset eivät ole missään nimessä suotuisia ja ne aiheuttavat suuria kustannuksia.

Mielestäni hylättyjen ovensulkimien seurantaa kannattaisi jatkaa FD-solussa ja ottaa se myös virallisesti käyttöön, vaikka alunperin sitä oli tarkoitus käyttää vain opinnäytetyötäni varten. Uskoisin että seuranta vähentää turhia hylkäyksiä, mikä taas johtaa kustannussäästöihin laatu-kustannusten laskiessa. Lisäksi seurannalla saataisiin arvokasta tietoa "todellisten" vikojen aiheuttamista hylkäyksistä pidemmältä aikaväliltä. Kun näytteitä on kertynyt tarpeeksi, voidaan virheitä tutkia paremmin ja ohjata kehitystoimet oikeisiin kohteisiin. Näin saadaan ehkäistyä hukan syntyä entisestään, jolloin päästään taas askelta lähemmäksi nollavirhetasoa.

Kerättyjen näytteiden pohjalta voisi kuitenkin tehdä oletuksen, että enemmistö hylkäyksistä tapahtuu kokoonpano ja öljyntäyttövaiheessa. Oletuksen perusteenä on se, että viisi kuudesta hylkäyksestä keräysjakson aikana tapahtui kokoonpano ja öljyntäyttövaiheessa. Kerätyistä näytteistä kolmessa ilmeni pito-ongelmia ja se on 50 prosenttia kaikista kertyneistä näytteistä. Rikki olevat venttiilit ovat monesti syynä FD-ovensulkimien pito-ongelmissa. Jos pidempiaikaisella seurannalla todettaisiin, että suurin osa hylkäyksistä johtuu todella pito-

ongelmista ja toimimattomista venttiileistä, voitaisiin ryhtyä tutkimaan mistä venttiilien toimimattomuus johtuu. Toimimattomuuteen johtavia tekijöitä voi mahdollisesti olla komponenttien laatuongelmat tai kokoonpanovaiheessa tehdyt virheet mutta kuten todettua, luotettavaan tarkasteluun tarvitaan suurempi näytemäärä hylättyjä sulkimia.

Hylkäyksien seuranta voisi kehittää entisestään siten, että hylkääjä kuittaisi hylkäyksen omalla nimellään. Tämä todennäköisesti nostaisi hylkäämisen kynystä entisestään. Laatuhukan seurannan luotettavuuden nostamiseksi tulisi puolestaan entinen hylkylaatikko hävittää työpisteestä kokonaan, jolloin työntekijällä ei olisi mahdollisuutta hylätä suljinta helposti entisellä tavalla kirjaamatta sitä ylös. Vastaavanlaista seuranta voisi soveltaa myös muissa työsoluissa muiden ovensuljinmallien osalta.

Ergonomia

Kehityskysymys: Mitä puutteita FD-solussa on ergonomian osalta ja miten kyseiset puutteet voitaisiin korjata?

Ergonomiaselvityksen pohjalta syntyi kehityskohteita FD-solun ergonomiaan. Tässä osiossa pohditaan kyseisiä kohteita ja mahdollisia ratkaisuja niihin. Lopulliset päätökset kunkin ehdotuksen täytäntöönpanosta tekee toimeksiantaja.

Ergonomian selvitykseen osallistui itseni lisäksi työntekijä ja työnjohtaja FD-solusta sekä työsuojeluhenkilö. Näin saatiin useampia näkökulmia kustakin kohteesta ja täten myös tuloksia voidaan pitää luotettavina. Mikään arviointikohteista ei saanut kriittistä arvoa kolme, joten kehittämiskohteet eivät ole niin kiireellisiä, että ne vaatisivat välittömiä toimenpiteitä. Numeron kaksi saaneet kohteet kannattaisi kuitenkin ottaa kehityksen alle, koska niitä kehittämällä saavutettaisiin hyötyjä niin yritykselle, kuin työntekijöillekin. Kun työntekijällä on hyvät ja työhön sopivat välineet, näkyy se varmasti myös työn tuloksissa sekä tuottavuudessa, kun työn tehokkuus lisääntyy ja sairastapaukset vähentyvät.

Tuloksista kävi ilmi, että fyysisesti raskaat työvaiheet rajoittavat työntekoa. Voidaan olettaa, että työvaiheiden, kuten momentin testauksen kehittäminen vähemmän fyysistä rasitusta aiheuttavaksi mahdollistaisi myös fyysisesti heikompien työntekijöiden kyseisen työvaiheen suorittamisen. Tämä lisäisi mahdollisuutta laajempaan työkiertoon. Laajempi työkierto monipuolistaisi työntekijöiden työtehtäviä ja lisäisi varmasti työn mielekkyyttä. Lisäksi raskaissa työvaiheissa väärät työliikkeet aiheuttavat helposti loukkaantumisia, joten siltäkin kannalta kyseisiä työvaiheita kannattaisi kehittää.

Momentin testaamiseen vaihtoehtoiseksi menetelmäksi tuli esille kaksi ideaa, lineaarimomenttiyksikkö sekä tehdasasetusten testaus ja säätölaite. Jos päädyttäisiin tehdasasetuksien testaus ja säätölaitteeseen, vaatisi se laitteen ohjelmiston kehitystä ja uuden vastaavan laitteen hankkimista. Samalla laitteella testaus ei onnistuisi, koska sulkimien kokoonpanovaiheessa työskentelevä henkilö tarvitsee nykyistä laitetta vuoron aikana vähän väliä. Lisäksi kokoonpanossa oleva laite on öljyinen, koska sillä säädetään juuri öljyntäytöstä tulleita sulkimia. Tämän vuoksi maalattujen, lähes valmiiden tuotteiden testaus samalla laitteella likaamatta niitä ei tulisi onnistumaan.

Samalla laitteella testauksen mahdollistaisi toki työjärjestyksen muuttaminen siten, että momentti ja valumatesti suoritettaisiin ennen pesua ja maalausta. Tosin tämä taas vähentäisi päivittäisen saannon määrää, eikä solussa päästäisi päivittäiseen kappaleiden tavoitearvoon, kun suoritettaisiin samalla laitteella kaksi työvaihetta entisen yhden sijasta. Uuden laitteen hankinta ja ohjelmiston kehitys vaatisi todennäköisesti suuria investointeja. FD-sulkimien myyntivolyymit ovat kuitenkin sen verran pieniä, että kyseisen laitteen kehitys ei todennäköisesti ole järkevää. Kannattavin vaihtoehto momentin testausvaiheeseen lieenee paneutuminen lineaarimomenttiyksikkö mahdollisuuteen. Kaikkia vaihtoehtoja kannattanee kuitenkin puntaroida tarkemmin laajemmassa palaverissa, johon osallistuisi useampia asiasta perillä olevia henkilöitä. Täten saataisiin varmasti useampia näkökulmia ja ajatuksia aiheeseen liittyen.

Myös solenoidien kiinni- ja auki pyörittämiseen kannattaisi etsiä uutta ratkaisua. Jos pyörittämisen saisi hoidettua koneellisesti esimerkiksi sähköisellä moment-

tivääntimellä, pienenisi työhön liittyvien sairauksien riski myös tämän työvaiheen osalta. Solenoidin runkoon voisi esimerkiksi tehdä samanlaiset avainreiät, kuin päätykannessa, jolloin pyörittäminen onnistuisi samanlaisella työkalulla.

Ergonomia tulisi huomioida aina työpisteitä ja menetelmiä suunnitellessa tai uusia työkaluja tilatessa. Työpöydässä jossa ovensulkimien momentti testataan ei ole helppoa ja nopeaa korkeudensäätömahdollisuutta. Helppo ja nopea korkeuden säätö olisi ergonomian kannalta suotavaa varsinkin, kun työpisteessä työskentelee eripituisia työntekijöitä. Ongelman ratkaisemiseksi kyseiseen työpisteeseen tulisi hankkia sellainen. Moottoroitu pöytä olisi erittäin hyvä ratkaisu korkeuden säätöongelmaan. Moottoroituja pöytiä on lähes joka lähtöön ja niissä korkeuden säätö tapahtuu portaattomasti nappia painamalla.

Työohjeiden päivittäminen tulisi tehdä aika ajoin. Jos työohjeet olisivat työpisteessä selvästi näkyvillä ja ne olisivat selvennetty esimerkiksi valokuvin, olisi varsinkin uuden työntekijän tai satunnaisen työpisteellä työskentelijän helppo muistaa ja havaita kuinka työ tulee suorittaa. Työohjeiden päivityksellä saataisiin vähennettyä entisestään laaduttoman toiminnan mahdollisuutta.

Yhteenveto opinnäytetyöprosessista

Kokonaisuutena työ onnistui mielestäni hyvin. Pää tavoite eli testauksen kehitys onnistui jopa paremmin, kuin odotettiin. Tavoitteena oli tutkia mahdollisuutta poistaa ensimmäinen testausvaihe prosessista. Kehitetyillä parannustoimenpiteillä pystytään poistamaan ensimmäinen momentin testausvaihe, mutta nyt osa sulkimista läpäisee myös valumatestin jälkeisen momentin testauksen ilman säätöjä.

FD-ovensulkimissa toimintaan vaikuttavia komponentteja on useita ja se loikin omat haasteensa työhön. Työssä onnistuttiin kuitenkin selvittämään toiminnan vaihteluun johtavia tekijöitä hyvin. Kun nämä tekijät saatiin selvitettyä, pystyttiin prosessia kehittämään haluttuun suuntaan ja tuotannon tehokkuutta saatiin kasvatettua.

Suurimpia ongelmia testausvaiheen kehityksessä aiheutti sopivan tiivistemateriaalin etsiminen karaan. Pitkän etsimisen jälkeen teknisiltä tiedoiltaan sopiva materiaali löytyi, mutta käytännössä se ei toiminut, kuten oletettiin. Tämän takia alkuperäistä suunnitelmaa täytyi muuttaa ja pyrkiä prosessin parantamiseen käyttämällä samaa tiivistemateriaalia kuin aikaisemminkin. Tiivistemateriaalin vaihtelu täytyi siis hyväksyä ja kehittää prosessia jollain muulla tapaa. Lopulta prosessin kehittämiseksi löydettiin ratkaisu, jossa asemoimalla rautasydämen ruuvi oikealle säätöalueelle päästäisiin haluttuun tulokseen. Ruuvien asemoimiseksi täytyi suunnitella työkalu. Sopivan työkalun suunnittelussakaan ei säästytty ongelmilta. Ongelmana oli se, että ruuvien kiertämiseksi rautasydämeen tarvittiin suuri voima pitämään rautasydän paikallaan ja samalla asemoinnin täytyi olla tarkka. Asemointiin valmistettiin erilaisia prototyyppkejä. Edellisen prototyypin ongelmat otettiin aina huomioon seuraavaa suunniteltaessa ja lopulta päästiinkin haluttuun lopputulokseen.

Momentin testausvaiheen kehittäminen opetti minulle ongelmanratkaisukykyä. Työn aikana joutui useaan kertaan muuttamaan tehtyjä suunnitelmia, joten se opetti myös suhtautumista ongelmiin tilanteen mukaan.

Laatuhukan tutkiminen aloitettiin, mutta vähäinen näytemäärä aiheutti ongelman ja sen takia hylkäyksiä ei voitu tutkia tarkemmin ja tulokset jäivät laihoiksi. Tältä osin tavoitteeseen ei päästy, joten se oli hienoinen pettymys. Hylkäyksien seuranta saatiin kuitenkin aluille ja se luo hyvän pohjan laatuhukan tutkimiselle jatkossa.

Ergonomiaselvityksen perusteella löydettiin ongelmakohdat FD-ovensulkimien valmistuksen ergonomiassa. Niihin saatiin myös pohdittua kehitysehdotuksia. Jotta ergonomiasuudesta olisi saanut vielä parempia tuloksia, olisin voinut perehtyä tarkemmin eri kehitysehdotuksiin, kuten mahdolliseen momenttivääntimen käyttöön momentin testausvaiheessa. Rajallinen aika ja pääasiallinen keskittyminen opinnäytetyön pääkehityskohteeseen rajoittivat kuitenkin ergonomian syvällisempää tutkimista.

Opinnäytetyö kokonaisuudessaan oli mielenkiintoinen ja tarpeeksi haastava. Myös opinnäytetyön rajaaminen onnistui mielestäni hyvin ja siten työn laajuus insinöörin opinnäytetyöksi saatiin sopivaksi. Työ oli erittäin opettava alkavaa insinöörin uraa ajatellen. Työn aikana opin tuntemaan uusia toimintamalleja sekä työkaluja tuotannon kehityksestä. Työn aikana joutui kommunikoimaan yrityksen eri tahojen kanssa esimerkiksi ongelmanratkaisun parissa, joten kommunikointitaidotkin saivat hyvää harjoitusta työn aikana.

Lähteet

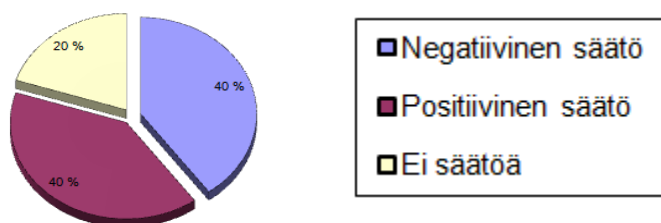
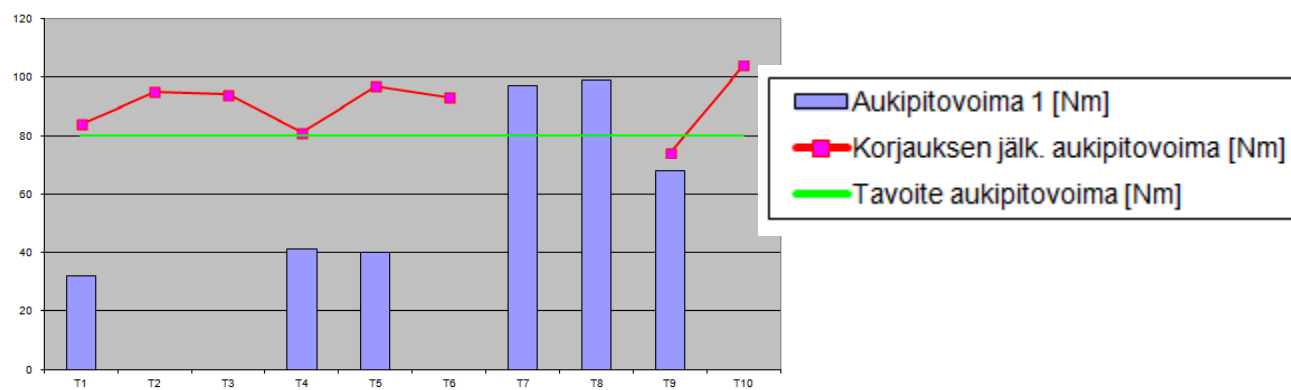
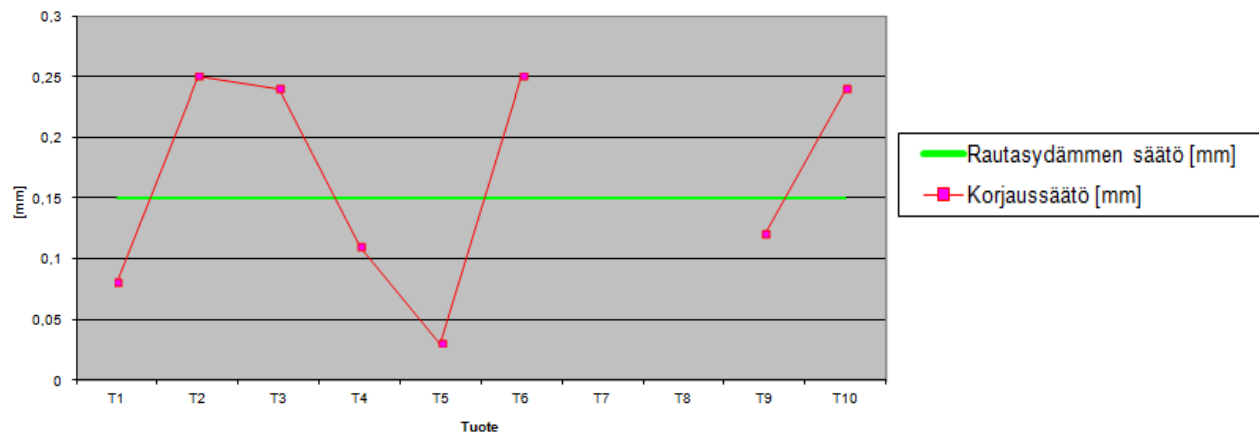
- Abloy Oy intranet. 2013. Abloy Oy:n sisäinen tietoverkko. 18.12.2013.
- Abloy Oy. 2013. Abloy palonsulkujärjestelmät. Abloy Oy.
http://www.abloy.fi/Abloy/FI/Tuotevalintaopas/Tuotekohtaiset%20oppaat/ABLOY_Palonsulkuj%C3%A4rjestelm%C3%A4t.pdf
- Abloy Oy. 2013. Yritys. Abloy Oy. <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/Yritys/>. 8.1.2014.
- Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY.
- ASSA ABLOY. 2012. About us. ASSA ABLOY.
<https://www.assaabloy.com/en/com/About-ASSA-ABLOY/ASSA-ABLOY-in-brief/>. 3.1.2014.
- Atlas Copco. 2014. Tuotteet. Atlas Copco.
<http://www.atlascopco.fi/fius/products/product.aspx?id=3507870&productgroupid=1401357>. 21.5.2014.
- Bicheno, J. & Holweg, M. 2009. The Lean Toolbox—The Essential Guide to Lean Transformation. Buckingham: PICSIE Books.
- Charantimath, P. 2003. Total Quality Management. Pearson Education India.
- Cole, R. Managing Quality Fads—How American Business Learned to Play the Quality Game. Oxford University Press.
- Deming, W. 2000. Out of the Crisis. MIT Press.
- Fryman, M. 2002. Quality and Process Improvement. Cengage Learning.
- Harry, M., Mann, P., Hodgins, O., Hulbert, R. & Lacke, C. 2011. Practitioner's Guide to Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements. John Wiley & Sons.
- Hirvola-Kostamo, E. 2013. Lean tuottaa tulosta. Abloy 26 (1), 13.
- Hitoshi, K. 1998. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. Helsinki: Metaliteollisuuden kustannus.
- Ho, S. 1999. Operations and Quality Management. Cengage learning EMEA.
- Juran, J. 1992. Juran on Quality by Design—The New Steps for Planning Quality Into Goods and Services. Simon and Schuster.
- Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2002. Six Sigma – Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Hollola, Quality Knowhow Karjalainen Oy.
- Karjalainen. 2013. Abloylle miljoonasopimus - "On väistämätöntä, että tarvitsemme lisää työvoimaa". Karjalainen.
<http://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/talous/item/37260-abloylle-miljoonasopimus-on-vaistamatonta-etta-tarvitsemme-lisaa-tyovoimaa>. 9.1.2014.
- Kelada, J. 1996. Integrating Reengineering with Total Quality. ASQ Quality Press.
- Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
- Launis, M. & Lehtelä J. 2006. Ergonomiaopas—koneiden ja työvälineiden hankintaan, käyttöön ja tarkastamiseen. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Lecklin, O. & Laine, R. 2009. Laadunkehittäjän työkalupakki—Innovatiivisen johtamisjärjestelmän rakentaminen. Helsinki: Talentum media Oy.
- Lecklin, O. 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. Helsinki: Talentum media Oy.
- Levinson, W. 2007. Beyond the Theory of Constraints—How to Eliminate Variation & Maximize Capacity. Productivity Press.

- Misra, K. 2008. Handbook of performability engineering. Springer.
- Rakennuslehti. 2010. Uutiset. Abloy lopettaa Tampereen tehtaan toiminnan.
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/talous/21144.html>. 9.1.2014.
- Ross, J. & Perry, S. 1999. Total Quality Management—Text, Cases and Readings. CRC Press.
- Salomäki, R. 1999. Hyödynnä SPC—Suorituskykyiset prosessit. Helsinki: Metaliteollisuuden Kustannus Oy.
- Seppälä, J. 2010. Abloy sulkee Tampereen tehtaansa. Tekniikka& talous.
<http://www.tekniikkatalous.fi/tyo/abloy+sulkee+tampereen+tehtaan+sa/a396215>. 9.1.2014.
- Shankar, R. 2009. Process Improvement Using Six Sigma—A Dmaic Guide. ASQ Quality Press.
- Smith, R. & Hawkins, B. 2004. Lean maintenance—reduce costs, improve quality, and increase market share. Butterworth-Heinemann.
- Suganthi, L. & Samuel, A. 2004. Total Quality Management. Prentice Hall of India Learning Pvt. Ltd.
- Suomen keksintösäätiö. 2013. Merkittävimmät keksinnöt.
<http://keksintosaatio.fi/keksinn%C3%B6t/merkitt%C3%A4vimm%C3%A4t-keksinn%C3%B6t/120>. 8.1.2014.
- Taloussanomat. 2013. Abloy Oy Ab. Taloussanomat.
<http://yritys.taloussanomat.fi/y/abloy-oy-ab/joensuu/0774324-5/>. 9.1.2014.
- Tuominen, K. 2010a. Lean – kohti täydellisyyttä. Helsinki: readme.fi.
- Tuominen, K. 2010b. Lean – Tehoa ja laatua hukan vähentämiseen. Helsinki: readme.fi.
- Työterveyslaitos. 2002. Työkuormitus ja sen arviointimenetelmät. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Työterveyslaitos. 2010. Työpaikan ergonomia— selvitysmenetelmä. Työterveyslaitos.
http://www.ttl.fi/fi/ergonomia/menetelmat/tyopaikan_ergonomia/Sivut/default.aspx. 2.3.2014.
- Työterveyslaitos. 2013. Ammattitaudit ja työperäiset sairaudet. Työterveyslaitos.
<http://www.ttl.fi/fi/tyoterveyshuolto/ammattitaudit/sivut/default.aspx>. 26.2.2014.
- Työturvallisuuskeskus. 2006. Työsuojelulla hyvinvointia ja tulosta. Helsinki: Työturvallisuuskeskus.
- Vilka, H. & Airaksinen, T. 2004. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Tammi.
- Zidel, T. 2006. A Lean guide to transforming healthcare—How to implement lean principles in hospitals, medical offices, clinics and other healthcare organizations. Milwaukee, ASQ Quality Press.

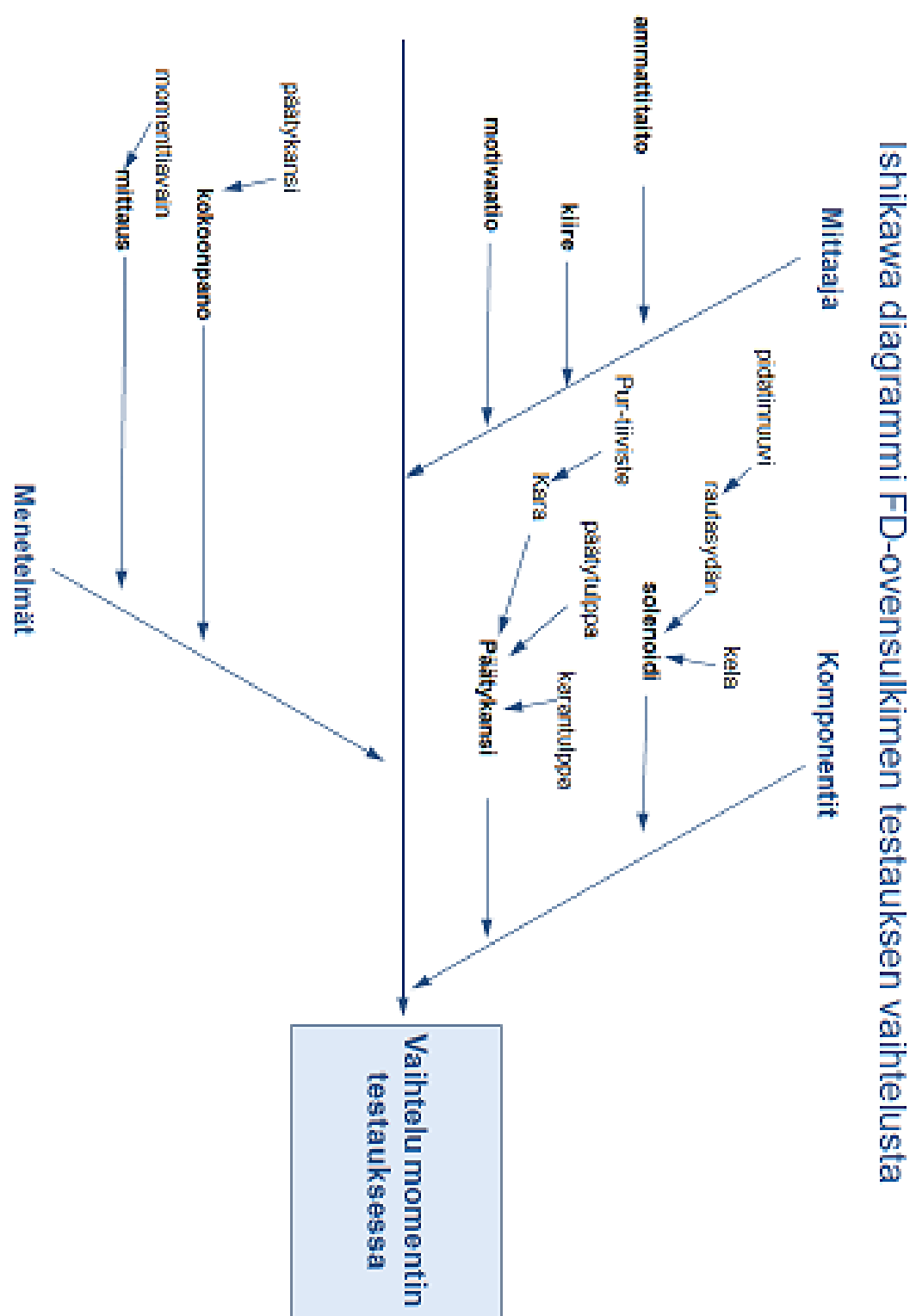
Testaustulokset 4.7.2013

	Päivämäärä 1	Rautasydämen säätö [mm]	Tavoite aukipitovoima [Nm]	Aukipitovoima 1 [Nm]	Korjauussäätö [mm]	Korjauksen jälk. aukipitovoima [Nm]
Kappalenumero						
T1	4.7.2013	0,15	80	32	0,08	84
T2	4.7.2013	0,15	80	0	0,25	95
T3	4.7.2013	0,15	80	0	0,24	94
T4	4.7.2013	0,15	80	41	0,11	81
T5	4.7.2013	0,15	80	40	0,03	97
T6	4.7.2013	0,15	80	0	0,25	93
T7	4.7.2013	0,15	80	97		
T8	4.7.2013	0,15	80	99		
T9	4.7.2013	0,15	80	68	0,12	74
T10	4.7.2013	0,15	80	0	0,24	104
Keskiarvot				37,7	0,165	90,25
MAKS				99	0,25	104

Testi 2313-A 4.7.13. (0,15mm)



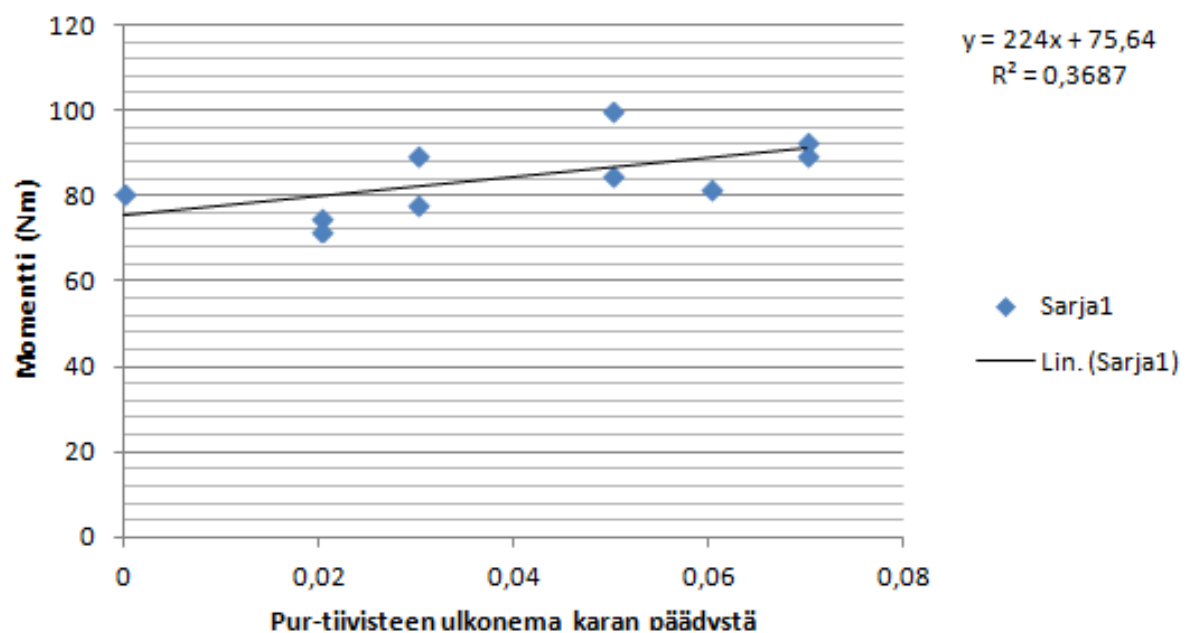
Ishikawa diagrammi momentin testauksesta



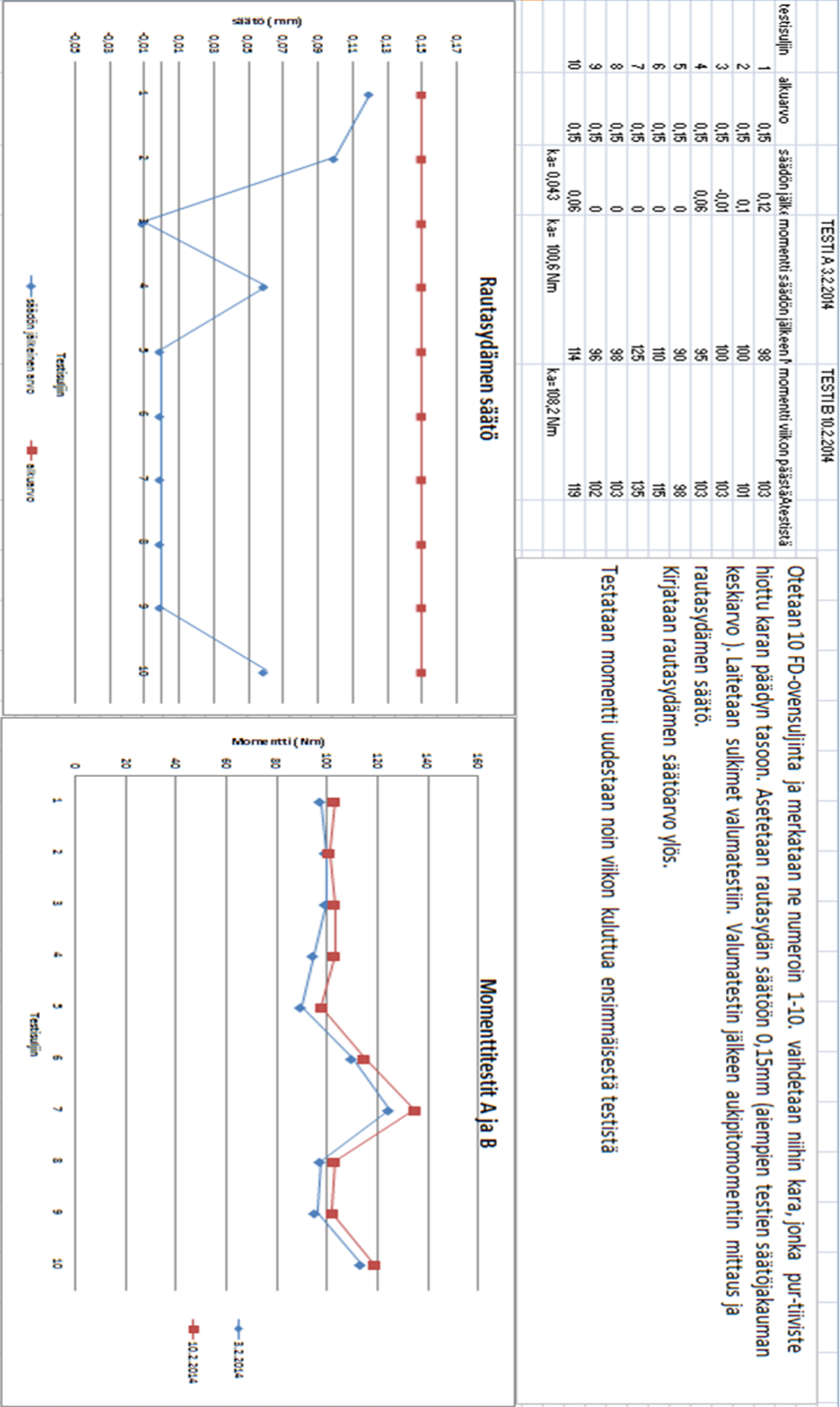
Testaustulokset tiivisteen ulkoneman vaikutuksesta

TESTI 1		Tommi Hassinen 27.1.2014			
Kara	Pur-tiivisteen ulkonema	rautasydän	Momentti		
1	0,07	0,12	90		
2	0,02	0,12	75		
3	0,02	0,12	72		
4	0,05	0,12	85		
5	0	0,12	81		
6	0,03	0,12	78		
7	0,06	0,12	82		
8	0,07	0,12	93		
9	0,05	0,12	100		
10	0,03	0,12	90		

Pur-tiivisteen ulkoneman vaikutus momenttiin

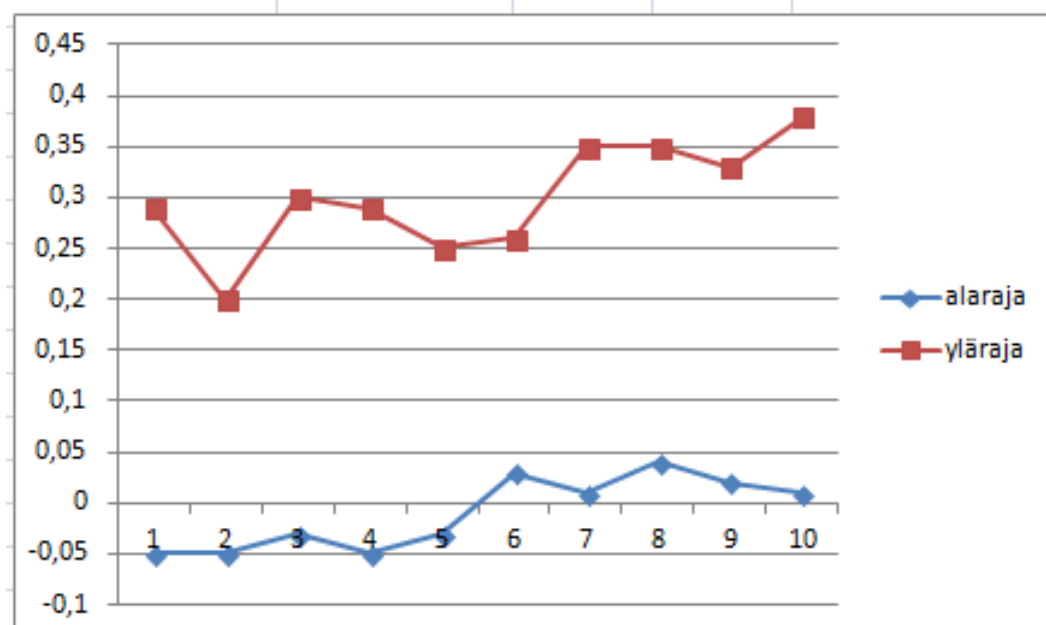


Testaustulokset karan vaikutuksesta ja momentin pysyvyydestä



Testaustulokset valumatestin säätöalueesta

pumppu		karan kok.pituus	alaraja	yläraja	säätöalue
	1	22,96	-0,05	0,29	0,34
	2	22,98	-0,05	0,2	0,25
	3	22,99	-0,03	0,3	0,33
	4	23	-0,05	0,29	0,34
	5	23,02	-0,03	0,25	0,28
	6	23,04	0,03	0,26	0,23
	7	23,05	0,01	0,35	0,34
	8	23,06	0,04	0,35	0,31
	9	23,07	0,02	0,33	0,31
	10	23,11	0,01	0,38	0,37
					0,31375



TESTI

haettiin kymmenelle sulkimelle säätöalue, jolla asettuu valumatestiin.

Testaustulokset momenttialueesta

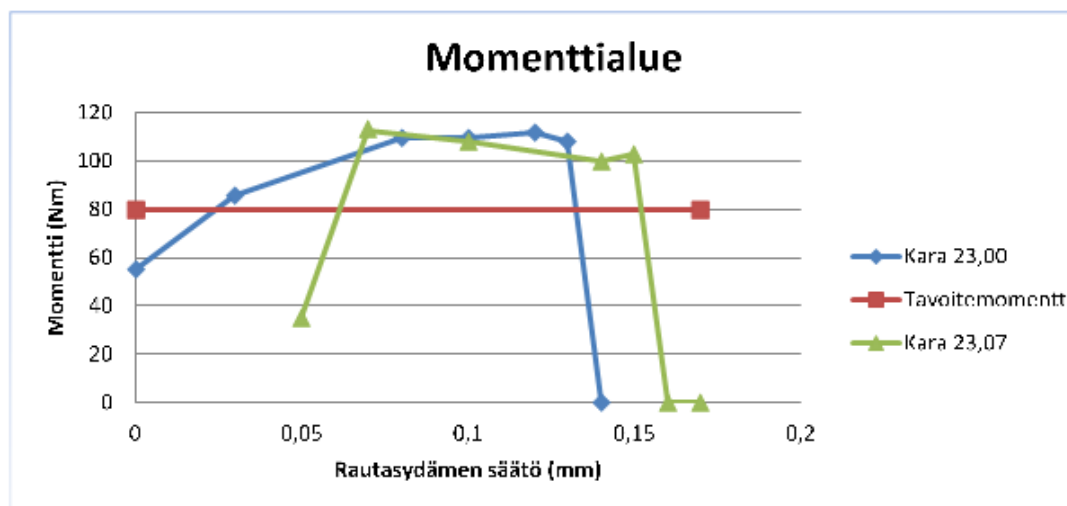
Valittiin kaksi karaa, joiden välisiä mittoja esiintyy usein. Valumatestissä 2h, jonka jälkeen haettiin säätöalue, jolla saadaan tarvittava momentti (ei ryökimistä).

KARA pituus 23,00

Rautasydämen säätö	Momentti	Tavoitemomentti
0	55	80
0,03	86	80
0,08	110	80
0,1	110	80
0,12	112	80
0,13	108	80
0,14	0	80

KARA pituus 23,07

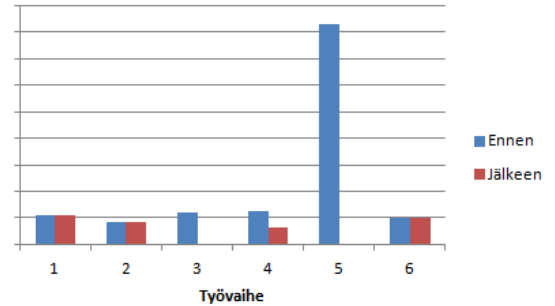
Rautasydämen säätö	Momentti
0,05	35
0,07	113
0,1	108
0,14	100
0,15	103
0,16	0
0,17	0



FD-ovensulkimen testausprosessin vaiheajat ennen ja jälkeen parannuksen

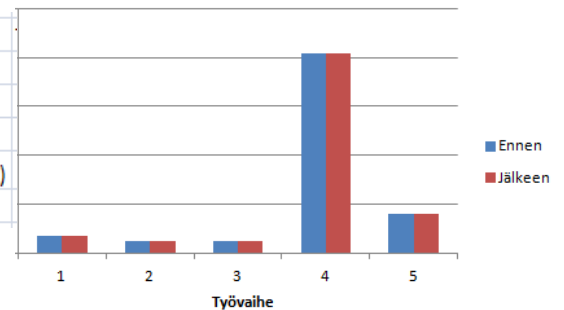
Testauksen työvaiheet ennen valumatestiä

työvaihe	Mitä tehdään
1	Runko jigiin + jousivoimat pois
2	Maalaussuoja pois + karantulpan kiristys
3	Rautasydämen esisäätö (ruuvien ulkonema)
4	Solenoidi paikalleen + johdot kiinni
5	Momentin mittaus + säätö (solenoidi irti ja takaisin)
6	Suljin valumatestiin (Kampi kiinni -> kammien kääntäminen yht.)



Testauksen työvaiheet valumatestin jälkeen

työvaihe	Mitä tehdään
1	Suljin valumatestistä testausjigiin
2	Jousivoiman säätö +3 kierrosta
3	Johdot kiinni
4	Momentin varmistus + säätö tarvittaessa (solenoidi irti ja takaisin)
5	Sokeripala kiinni ja suljin kuljetuskärrtiin



Testauksen kokonaisaika

