

LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Marko Ihalainen

**JAUHEMAALAAMON KEHITTÄMINEN LEAN SIX SIGMA -TYÖKALUJEN
AVULLA**

30.5.2020

Tarkastajat Professori Juha Varis
DI Juha-Pekka Saukko

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Marko Ihalainen

Jauhemaalaamon kehittäminen Lean Six Sigma -työkalujen avulla

Diplomityö

2020

81 sivua, 46 kuvaa, 6 taulukkoa ja 5 liitettä

Tarkastajat: Professori Juha Varis
DI Juha-Pekka Saukko

Hakusanat: Lean Six Sigma, Kanban, CONWIP, imuohjaus, 5S, vaihtelu, DOE, DMAIC, SPC, jauhemaalaus

Tämän tutkimustyön tarkoituksena oli tutkia millä menetelmillä voidaan parantaa Vilakone Oy:n jauhemaalaamon maalausprosessia niin, että se tuottaa tasalaatuista pintakäsittelyä tuotantosuunnitelman vaatimassa järjestyksessä. Yrityksessä on otettu vuoden 2018 alussa käyttöön uusi toiminnanohjausjärjestelmä, joka on omalta osaltaan muuttanut tuotannonohjausta maalaamossa. Maalaamon suurimpana ongelmana on ollut töiden ohjaus. Vilakone Oy:n kiinnostuksen kohteena oli myös selvittää mitkä tekijät prosessissa vaikuttavat maalatun pinnan tarttuvuuteen sekä visuaaliseen laatuun.

Tutkimuksessa käytetään Lean Six Sigma -menetelmän keskeisiä työkaluja. Työssä tutustuttiin aluksi Lean Six Sigma työkalujen ja menetelmien kirjallisuusteoriaan. Empiirinen tutkimus toteutettiin DMAIC-ongelmaratkaisumenetelmällä ja se jaettiin kahteen osaan, maalaamon ohjaus ja maalauslaatu. DMAIC-menetelmä lähtee liikkeelle ongelman määrittämisestä sekä nykyisen toimintatavan ja tilanteen mittaamisesta. Kun tunnetaan prosessin nykytila, voidaan lähteä analysoimaan prosessista kerättyä informaatiota ja identifioimaan tekijöitä tai syitä, jotka vaikuttavat prosessin ulostuloon. Seuraavana kehitetään parannuskeinot, joilla analyysivaiheessa havaitut syyt poistetaan tai korjataan. DMAIC-menetelmän viimeisenä vaiheena on löytää menetelmät ja ohjauskeinot, joilla varmistetaan parannuksen pysyvyys.

Tutkimuksessa todistettiin tieteellisellä menetelmällä (Blackett-Burmanin DOE-kokeella) mitkä tekijät vaikuttivat eniten maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaalisuuteen. Maalaamonärkevimmäksi ohjaustavaksi todettiin sekä työntö- että imuohjaus. ERP-järjestelmällä suunnitellaan tuotantotilaukset ja imuohjauksella ohjataan valmistusta. Ohjausmuutokset eivät ehtineet vielä täysin saavuttaa parasta hyötyään, mutta esimerkiksi keskeneräisen työn arvo väheni huomattavasti ja läpimenoajan vaihtelukerroin pieneni 803 prosentista 60 prosenttiin.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Marko Ihalainen

Development of a powder coating paint shop using Lean Six Sigma tools

Master's thesis

2020

81 pages, 46 figures, 6 tables and 5 appendices

Examiners: Professor Juha Varis
M. Sc. (Tech.) Juha-Pekka Saukko

Keywords: Lean Six Sigma, Kanban, CONWIP, pull control, 5S, variation, DOE, DMAIC, SPC, powder coating

The aim of this master thesis was to research which methods can be used to improve the painting process of Vilakone's powder coating shop, so it produces high quality surface treatments accordance with production plan. The company has taken to use a new ERP-system beginning of 2018 and it has been partially affected the production management at the painting shop. The biggest problem in the painting shop has been management of production orders. Vilakone Oy's interest was also to find out which factors in the process affected to the adhesion and visual quality of the painted surface.

The tools of Lean Six Sigma method have been used in this master thesis. First, the literary theory of Lean Six Sigma tools and methods have been introduced. The empirical research was performed with DMAIC problem solving method and it was divided into two parts, management of painting shop and quality of painting. The method of DMAIC begins identifying the issue and measuring the current state of the process. When the current state of the process is known, can be started to analyze collected information and identify factors which affected to the output of the process. Next phase is to develop eliminate of correct the causes which founded in the analyze phase. The last phase of DMAIC method is to find out control methods which ensure the stability of the improvement.

This research was proved by scientific method (Design of Experiments, Blackett-Burman) which factors effected mostly to the adhesion and visual quality of painted surface. Both push and pull control systems were found a rational control method for the painting shop. The production orders are planned by ERP-system and the manufacturing is controlled by pull control. The best benefit of the control changes was not achieved yet, but the value of WIP was reduced significantly and the coefficient of variation was reduced from 803 % to 60 %.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	7
	1.1 Taustaa kohdeyrityksestä.....	7
	1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset.....	8
	1.3 Tutkimusmenetelmät.....	9
	1.4 Tutkimuksen rakenne.....	9
2	LEAN	10
	2.1 Leanin metodologia.....	10
	2.2 Hukka (Muda).....	10
	2.3 Prosessivirtaus.....	14
	2.4 Työntö- ja imuohjaus.....	16
	2.4.1 Kanban-imuohjaus.....	17
	2.4.2 CONWIP-imuohjaus.....	19
	2.5 Arvovirtakuvaus.....	22
	2.6 5S.....	23
3	SIX SIGMA	24
	3.1 Vaihtelu.....	25
	3.2 DMAIC.....	28
	3.3 Aivoriihi.....	29
	3.4 XY-matriisi.....	30
	3.5 FMEA.....	31
	3.6 SPC.....	32
	3.7 Design of Experiments (DOE).....	36
4	JAUHEMAALAAMON NYKYTILA	39
	4.1 Ongelman kuvaus (Define).....	39
	4.2 Maalausprosessi.....	40
	4.3 Mittaus (Measure).....	41

4.3.1	Maalaamon ohjaus	41
4.3.2	Maalauslaatu	46
4.4	Analyysi (Analyze)	49
4.4.1	Maalaamon ohjaus	49
4.4.2	Maalauslaatu	53
5	JAUHEMAALAAMON KEHITYSTOIMENPITEET	65
5.1	Jauhemaalaamon parannus (Improve)	65
5.1.1	Maalaamon ohjaus	65
5.1.2	Maalauslaatu	67
5.2	Tutkimuksen keskeiset tulokset ja jauhemaalaamon ohjaus (Control).....	68
5.2.1	Maalaamon ohjaus	69
5.2.2	Maalauslaatu	74
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	75
	LÄHTEET	79
	LIITTEET	

LIITE I: Arvovirtakuvaus Nykytilanne (VSM).

LIITE II: Maalaamon prosessikuvaus.

LIITE III: XY-matriisi.

LIITE IV: Arvovirtakuvaus Kaiken Burst (VSM).

LIITE V: Arvovirtakuvaus Tulevaisuuden tila (VSM).

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

μ tai \bar{X}	Keskiarvo
λ	keskimääräinen saapumisnopeus per aikayksikkö
σ	Sigma, kreikkalainen kirjain, joka käytetään kuvaamaan standardipoikkeamaa
5S	Visuaalisen johtamisen työkalu
CONWIP	Constant Work In Progress, imuohjausmenetelmä
COV	Coefficient Of Variation, vaihtelukerroin
C_p tai C_{pk}	Laaduntuottokykyindeksi
CT	Cycle time, jaksoaika
DSD	Definitive Screening Designs
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis, Vika- ja vaikutusanalyysi
I-mR	Yksittäisen havainnon ja liukuvan vaihteluvälin ohjauskortti
L	Kuvaa keskimääräistä jonossa olevien asioiden lukumäärää
LSL	Lower Specification Limit, Alempi spesifikaatoraja
LT	Lead time, läpimenoaika
MTO	Make-to-Order, tilausohjautuva tuotantotilaus
MTS	Make-to-Stock, varasto-ohjautuva tuotantotilaus
OFAT	Yksimuuttujakoe
SPC	Statistical Process Control, Tilastollinen prosessin ohjaus
TH	Throughput, läpimeno
USL	Upper Specification Limit, Ylempi spesifikaatoraja
VSM	Value Stream Mapping, arvovirtakuvaus
W	keskimääräinen jonotusaika
WIP	Work In Progress, keskeneräinen työ (KET), pitää sisällään toimitusketjun raaka-aineet, prosessin sisäiset varastot ja lopputuotteet

1 JOHDANTO

Nykypäivänä laatu ja tehokkuus ovat yritysten avainsanoja. Jotta yritys voi olla kilpailukyinen ja tehokas, on sen karsittava arvotuottamatonta työtä ja pienennettävä prosessien vaihtelua. Lean Six Sigma yhdistää Leanin arvoajattelun ja Six Sigman kvantitatiivisen parannusopin yhdeksi tehokkaaksi prosessin parannusmenetelmäksi.

Tutkimuksen tekijä on työskennellyt kohdeyrityksen palveluksessa 4 vuotta ja teollisuudessa 20 vuotta. Laadun ja laatutekniikoiden parissa tutkimuksen tekijä on ollut 8 vuotta. Tämä tutkimus on toteutettu, koska Vilakone Oy haluaa kehittää jauhemaalaaamon ohjausta ja ymmärtää paremmin, mitkä tekijät prosessissa vaikuttavat maalauksen laatuun. Tutkimuksessa hyödynnettiin Lean Six Sigma työkaluja, joiden avulla pystyttiin toteuttamaan systemaattinen kehitysprojekti.

1.1 Taustaa kohdeyrityksestä

Vilakone Oy on Loimaalla toimiva yritys, joka valmistaa Wille tuotemerkkisiä ympäristönhoitokoneita (Kuva 1) ja niissä käytettäviä lisälaitteita. Wille on markkinoiden suosituin ympäristönhoitokone ja se on suunniteltu toimimaan kaikkina vuodenaikoina. Koneet ovat runko-ohjattuja ja ovat näin ollen erittäin ketteriä liikkumaan kaupunki- ja taajama-alueilla. Vilakone Oy kuuluu Wihuri Oy:n Tekniseen Kauppaan.

Wille ympäristöhoitokoneiden päämarkkina-alueet ovat tällä hetkellä Ruotsi, Suomi, Norja, Venäjä sekä Pohjois-Amerikka. Suurin osa näistä alueista sijaitsevat meri-ilmastoalueella ja näin ollen asettavat kovat vaatimukset koneiden korroosiokestävyydelle. Tänä päivänä lähes kaikki Willen runkojen teräsrakenteet maalataan Vilakoneen omassa jauhemaalaaamossa. Vilakoneen jauhemaalit ja maalausprosessi on testattu standardin ISO 12944 vaatimusten mukaisesti ja se täyttää rasitusluokka C5-M (M) vaatimukset.



Kuva 1. Wille 465 (Wille 465 2020).

1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset

Tutkimustyön päätarkoituksena on tutkia millä menetelmillä voidaan parantaa jauhemaalaamon maalausprosessia niin, että se tuottaa tasalaatuista pintakäsittelyä tuotantosuunnitelman vaatimassa järjestyksessä. Tutkimus rajataan koskemaan vain Vilakoneen maalausprosessiin liittyviin kehityksiin. Tutkimuksen aikana saattaa tulla ilmi myös kehitystarpeita, jotka liittyvät yrityksen muihin funktioihin. Näiden osalta toimitaan niin, että kehitystarpeet tuodaan yrityksessä ilmi, mutta niitä ei käsitellä tämän tutkimuksen aikana.

Tutkimuksella haetaan vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä muuttujat/tekijät vaikuttavat maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaaliseen pinnanlaatuun?
- Miten työjärjestelyä tulisi muuttaa maalaamon kehittämiseksi?
- Mikä on järkevin ohjaustapa Vilakoneen maalausprosessille?
- Onko nykyistä ERP-järjestelmää mahdollista käyttää maalausprosessin tehokkaaseen ohjaukseen?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytetään Lean Six Sigma -menetelmässä käytettäviä työkaluja ja menetelmiä. Tutkimuksen kirjallisuuosiossa kuvataan työn laajuuden rajaamiseksi vain keskeisimmät ja tässä työssä käytetyt Lean Six Sigma -menetelmät ja työkalut. Kirjallisuuosio perustuu pääosin tietokirjallisuuteen sekä muutamaankin artikkeliin, jotka tukevat tietokirjallisuutta. Lean ja Six Sigma menetelmistä löytyy paljon kirjallisuutta.

Varsinainen tutkimustyö suoritetaan empiirisenä tutkimuksena. Tutkimus on jaettu kahteen osaan, laatuun ja ohjaukseen. Laatu-osiossa pyritään tutkimaan systemaattisesti, mitkä tekijät vaikuttavat todellisuudessa maali-pinnan tarttuvuuteen ja pinnanlaatuun. Tutkimustyön alussa selvitetään ja ideoidaan mahdollisia tekijöitä, jotka aiheuttavat laatuvirheitä. Kun tekijöitä on saatu vähennettyä arviointien perusteella, tutkitaan jäljelle jääneitä kokeellisin menetelmin. Ohjaus-osiossa tutkitaan erilaisten kehitys- ja ideapalaverien ja tuotannonohjausjärjestelmästä saatujen tietojen avulla parasta mahdollista ohjausmenetelmää maalaamoprosessille. Kehitys- ja ideapalaverit, joihin osallistuu laaja joukko yrityksen eri toiminnoista valikoituja henkilöitä, ovat edellytyksenä tutkimuskysymyksien ja -ongelman vastausten hakemisessa.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen raportti koostuu kuudesta pääluvusta. Ensimmäisessä luvussa kuvataan tutkimusongelma, -menetelmät ja tutkimuksen rakenne. Luvuissa kaksi ja kolme tarkastellaan Lean Six Sigma aiheen kirjallisuuskatsausta. Lean ja Six Sigma käsitellään kirjallisuuskatsauksessa erikseen selkeyden vuoksi. Molemmista aihealueista käsitellään vain ne osat ja työkalut, joita hyödynnetään tutkimuksessa. Luvussa neljä käsitellään jauhemaalaa nykytilaa DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmän kolmen ensimmäisen vaiheen avulla. Luvussa viisi kuvataan kehitystoimenpiteet, jotka toteutettiin tutkimuksen aikana sekä näiden toimenpiteiden keskeiset vaikutukset ja tulokset. Tutkimuksen rakenne koostuu kahdesta osasta, maalaamon ohjauksesta ja maalaamon laadusta. Tutkimus jaettiin kahteen osaan selkeyden vuoksi. Luvussa kuusi esitetään tutkimuksen johtopäätökset.

2 LEAN

Lean-toimintamalli on kehitetty alun perin Japanissa ja se pohjautuu Toyotan tuotantosysteemiin (Toyota Production System). Se on levinnyt ensiksi autoteollisuuteen ja sitä kautta lähes kaikille muille toimialoille. Tavallisesti Lean-toimintamallia noudattavat yritykset ovat toimialansa kannattavimpia ja nopeimmin kasvavia. Lean-toimintamalli on vahvasti sidoksissa yrityskulttuuriin ja sen toiminta edellyttääkin koko yrityksen sitoutuneisuutta. Lean-toimintamallin avulla pyritään luomaan toimintaan tarkoituksenmukaisuutta, järkevyyttä ja täsmällisyyttä asiakasnäkökulmasta lähtien. (Kouri 2010, s. 6.)

2.1 Leanin metodologia

Lean-menetelmien tavoitteena on tunnistaa ja eliminoida hukkaa, jotta maksimoidaan prosessien nopeus ja joustavuus, jotta voidaan toimittaa asiakkaalle mitä hän tarvitsee, koska hän tarvitsee ja montako hän tarvitsee (Arcidiacono et al. 2012, s. 5). Tuotteen tai palvelun arvo määritetään siis aina asiakkaan näkökulmasta. Käytännössä sanalla arvo tarkoitetaan asiakkaan kokemusta kohteen hyödyllisyydestä. Eri asiakkaat määrittelevätkin arvon eri tavalla, mutta usein se muodostuu tuotteen ominaisuuksista, laadusta, toimitusajasta ja -varmuudesta. (Kouri 2010, s. 6-7.)

Leanin tarkoituksena on parantaa työskentelyolosuhteita, antaa työntekijöille mahdollisuus osallistua kehitystyöhön, parantaa yrityksen kilpailukykyä ja tehdä asioita yksinkertaisesti ja oikein. Leanin tarkoituksena ei ole kuitenkaan vähentää työn mielekkyyttä, toimia kustannustensäästöohjelmana, siirtyä liukuhihnatyöhön, hakea pienempää riippuvuutta työntekijöistä ja karsia kaikesta. (Kouri 2010, s. 6-7.)

2.2 Hukka (Muda)

Leanin peruseriaatteisiin kuuluu termi hukka, jolla tarkoitetaan kaikkea turhaa tekemistä ja arvoa lisäämätöntä työtä. Leanissa tuottavuuden parantaminen perustuu näiden hukkien poistamiseen eikä työtehon kasvattamiseen. Leanissä hukka on jaettu kahdeksaan eri muotoon. Näitä hukkan muotoja ovat:

1. Ylituotanto

2. Odottelu ja viivästyksset
3. Tarpeeton kuljettaminen
4. Ylikäsittely
5. Tarpeettomat varastot
6. Tarpeeton liike työskentelyssä
7. Laatuvirheet
8. Työntekijöiden käyttämättä jätetty luovuus (Kouri 2010, s. 10-11.)

Tuotannon suurimpana hukkana voidaan pitää ylituotantoa. Ylituotannolla tarkoitetaan, että tuotanto valmistaa tuotteita enemmän tai nopeammin kuin kysyntä edellyttää. Tällöin tuotteet valmistuvat joko varastoon tai keskeneräiseksi työksi (WIP, Work In Process). Ylituotanto johtaa usein moneen muuhun negatiiviseen seuraukseen, kuten varastojen kasvuun, tuotantoprosessien hidastumiseen, tuotannonsuunnittelun joustavuuden vähenemiseen ja kuljetuskustannusten kasvamiseen. Ylituotannon syyt liittyvät usein:

- Suuriin eräkokoihin
- Hitaisiin asetusaikeisiin
- Varastojen luomiseen virheiden ehkäisemiseksi
- Tarpeettomiin resursseihin prosessissa
- Liian moniin tai nopeisiin koneisiin (Chiarini 2013, s. 20.)

Odottelu ja viivästyksset ovat yksi Leanin hukista, jotka eivät missään nimessä tuota lisäarvoa asiakkaalle. Esimerkkejä tällaisesta hukasta ovat kone- ja laitehäiriöiden sekä materiaalipuutteiden aiheuttamat viivästyksset. (Kouri 2010, s. 10.) Usein odottaminen rinnastetaan työntekijöihin, mutta se koskee myös koneiden seisomista. On aika yleistä, että työntekijä tai koneet seisovat ja odottavat jotakin työkaluja tai ohjeita. Tämän kaltainen odotus on varmaan yksi hyväksytyimmistä hukista. Suurimmat syyt odottelulle ovat suuret eräkoot, vaiheiden tasapainotus, heikko kunnossapito ja puutteet siisteydessä ja ohjeistuksissa. Usein odottelua voidaan ehkäistä parantamalla tehtaan/työpisteen lattiajärjestystä eli layouttia, nopeuttamalla vaiheiden vaihtoa, parantamalla ennakoivaa kunnossapitoa, kehittämällä siisteyttä ja järjestystä sekä kehittämällä virhevapaita menetelmiä (Poka Yoke). (Chiarini 2013, s. 29.)

Tarpeettoman suuret varastot aiheuttavat tarpeetonta kuljettamista, joka ei lisää asiakasarvoa. Usein puolivalmisteita tai valmiita tuotteita kuljetetaan varastosta toiseen tai varastosta tuotannon työpisteelle. Tyypillisiä syitä tarpeettomalle kuljettamiselle ovat huono layout, suuret eräkoot, työntekijöiden heikot taidot ja yleinen hyväksyntä siitä, että kuljetus on välttämätön osa prosessia. Yleensä layoutin uudelleen suunnittelu auttaa vähentämään tarpeetonta kuljetusta. Prosessia voidaan arvioida myös arvovirtakuvauksen tai spagettidiagrammin avulla, jolloin tarvittavien muutosten hahmottaminen on helpompaa. (Chiarini 2013, s. 24-26.) Yleisesti materiaalien tai tuotteiden turhaa siirtämistä on vältettävä eri tuotantovaiheiden välillä (Kouri 2010, s. 10).

Neljäs Leanin hukka on laatuvirheet. Kun tuote tai palvelu ei täytä vaatimuksia, joita asiakas tai organisaatio on itse asettanut, syntyy laatuvirheitä. Laatuvirheet aiheuttavat yrityksille kahdenlaisia kustannuksia, ennalta ehkäisystä sekä sisäisistä ja ulkoisista virheistä johtuvia kustannuksia. Ennalta ehkäisystä johtuvia kustannuksia syntyy mm. koulutuksista, kehitysohjelmista, datan analysoinnista, toimittaja-auditoinneista ja korjaavien toimenpiteiden hallinnasta. Arviointikulut syntyvät tarkastuksista ja testauksista sekä tuotteiden korjauskuluista. Ulkoiset kustannukset koostuvat mm. tuotteiden korjauksista, menetetyistä asiakkaista, reklamaatioiden hallinnasta ja tuotteiden takaisin kutsusta. (Chiarini 2013, s. 24-26.) Lyhyesti sanottuna, laatuvirheet johtavat usein asiakastyytymättömyyteen sekä hukkaavat kapasiteettia ja materiaaleja (Kouri 2010, s. 10).

Tarpeettomat varastot liitetään usein ylituotantoon ja ovat siksi tyypillisimpiä tuotannon hukkia (Chiarini 2013, s. 21). Tarpeettomat varastot piilottavat erinäköisiä ongelmia, pidentävät läpimenoaikoja ja lisäävät kustannuksia (Kouri 2010, s. 11). Tuotannossa varastot koostuvat pääosin raaka-aineista, puolivalmisteista sekä valmiista tuotteista. Mikäli tuote odottaa valmistuksessa, nimitetään sitä keskeneräiseksi työksi (KET/WIP). Hyvä tapa selvittää, missä prosessin tarpeettomia varastoja löytyy, on etsiä paikat, minne tavara varastoidaan. Usein hyllyt tai lattiat ovat täynnä tavaraa. Yleisimmät syyt tarpeettomille varastoille ovat pitkät vaihtoajat, liian suuret eräkoot, liian aikainen tuotanto, pullonkaulat prosessin virtauksessa, virtauksen balansointi sekä yleinen hyväksyntä sille, että liiallista varastointia ei voi estää. Viimeisen syyn poistaminen on tärkeintä, jotta yritys voi käynnistää muutoksen. Henkilöstön pitää ymmärtää ja uskoa, että liiallista varastointia voidaan eliminoida. Perinteisiä Lean menetelmiä tarpeettomien varastojen poistamiseksi ovat:

- Työvaiheiden tasapainottaminen
- U-solut, ryhmäteknologia
- Nopeat vaihtoajat vaiheisiin
- Tuotannon imuohjaus (Chiarini 2013, s. 21-22.)

Asiakkaan näkökulmasta merkityksettömien asioiden tekemisestä käytetään termiä ylikäsittely (Kouri 2010, s. 11). Tätä ei pidä sekoittaa ylituotantoon, joka liittyy tarvittaviin toimenpiteisiin, jotka tuottavat enemmän kuin on pyydetty. Esimerkiksi, jos konetta käyttävä työntekijä tuottaa tuotteita, jotka kerääntyvät WIP:iin, koska seuraava työntekijä ei ole ehtinyt käsittelemään niitä. Tällöin koneen toiminta ei tuota ylituotantoa, vaan työntekijä aiheuttaa prosessissa ylikäsittelyllään hukkaa. Ylikäsittelyä esiintyy esimerkiksi, kun prosessia ei ole suunniteltu riittävästi, työtehtäviä ei ole standardoitu tai työvälineet ovat väärät tai riittämättömät. Ylikäsittelyä voidaan ehkäistä mm. uudelleen suunnittelemalla prosessi, standardoimalla tai automatisoimalla työtehtävät. (Chiarini 2013, s. 27-28.)

Kaikki tarpeeton liike työskentelyssä, joka ei tuo lisäarvoa asiakkaalle, on hukkaa (Kouri 2010, s. 11). Yleisimpiä tällaisia hukkia ovat, kun työntekijät etsivät työkaluja/dokumentteja, jotka eivät ole työpisteellä, liikkuvat ladatakseen tietoa tietokoneelle ja siirtyvät osastolta toiselle seisomaan. Syitä voi olla useita, mutta yleisimmin ne johtuvat mm. huonosta layoutista, työntekijöiden osaamisesta/huonosta koulutuksesta, henkilöstön huonosta osallistumisesta, järjestyksen ja siisteyden puutteesta tai toiminnoista eristetyllä alueella. Kun työntekijän tarpeetonta liikkumista ryhdytään vähentämään, tulee seuraaviin asioihin kiinnittää huomiota:

- asteittainen siirtyminen kohti virtaavaa tuotantoa
- työpaikan järjestys (5S)
- työntekijän taitojen kehitys
- U-muotoisten solujen suunnittelu
- tarpeettoman liikkeen tietoisuuden lisääminen
- ohjeiden ja menettelyjen tarkistaminen (Chiarini 2013, s. 23.)

Useissa materiaaleissa esitetään Leanin kahdeksanneksi hukaksi työntekijöiden käyttämättä jätetty luovuus. Tällä tarkoitetaan sitä, että usein työntekijöillä, jotka tekevät kyseistä työtä, on paras tieto ja taito työvaiheiden ja menetelmien toiminnasta ja niiden kehittamisestä.

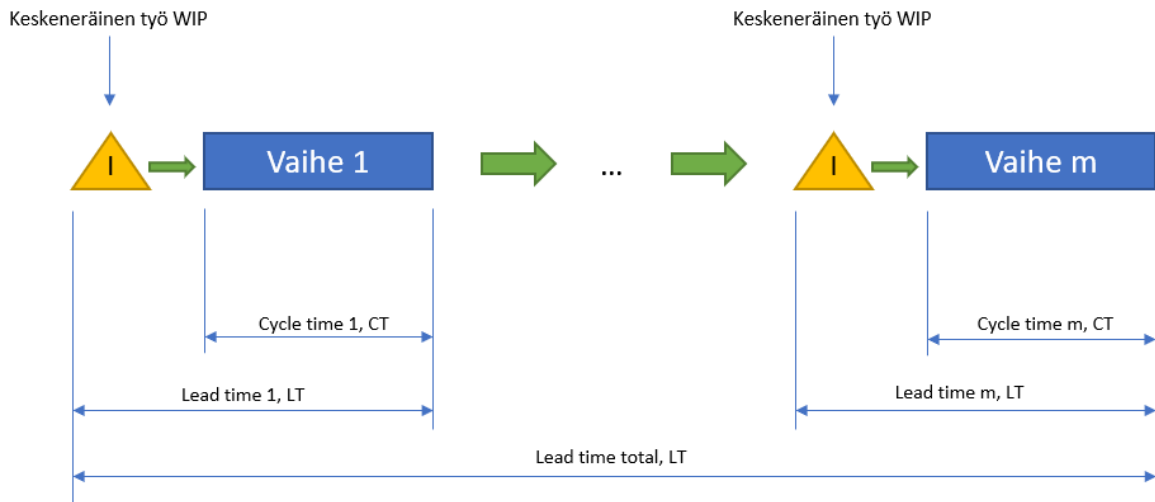
(Kouri 2010, s. 11.) Työntekijöiden tietotaidon käyttämättä jättäminen kertoo vanhanaikaisesta kulttuurista yrityksessä. Henkilöstö on kuitenkin yrityksen tärkein resurssi ja jokaisen osallistaminen kehittämiseen parantaa yrityksen kilpailukykyä. (Arcidiacono et al. 2012, s. 5.)

2.3 Prosessivirtaus

Prosessivirtauksen eli palvelu- ja tuotantosysteemin dynamiikan sekä peruskäsitteiden ymmärtäminen on tärkeää, kun tarkastellaan riippuvuussuhteita jaksoajan, varastojen ja läpimenon välillä. Sir John Little esitteli vuonna 1961 kaavan, joka tunnetaan Littlen lakina. Sitä pidetään tehdasfysiikan Newtonin toisena lakina. Littlen laki sitoo yhteen kolme tuotantosysteemin tärkeää elementtiä: varastot (WIP), läpimenon (Throughput, TH) ja jaksoajan (cycle time, CT). Kaavan alkuperäinen muoto on $L = \lambda W$, jossa L kuvaa keskimääräistä jonossa olevien asioiden lukumäärää, λ on keskimääräinen saapumisnopeus per aikayksikkö ja W on keskimääräinen jonotusaika. Tänä päivänä kaava kuitenkin tunnetaan muodossa: (Piiainen 2014, s. 84.)

$$WIP = TH \cdot CT \quad (1)$$

Littlen lakiin ja koko asiaan perehtyminen vaatii tarkempia termistön täsmennyksiä, koska valmistukseen ja prosessiin liittyviä termiä ei ole standardoitu. Kirjallisuudessa esiintyykin monia eri merkityksiä näiden termien ja lyhenteiden käytöstä. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin seuraavia termejä ja määrittämiä niin, että jaksoaika eli cycle time (CT) kuvaa aikaa, prosessivaiheen aloituksesta prosessivaiheen lopetukseen. Tämä aika pitää sisällään prosessivaiheen asiakkaalle arvoa tuottavan ja ei-arvoa tuottavan ajan. Lead time (LT) pitää sisällään jaksoajan sekä keskeneräisestä työstä aiheutuvan varastoajan. Tällä varastoajalla tarkoitetaan sitä, jos prosessivaiheen aika on 10 minuuttia ja varastossa on WIP:iä 6 kpl, niin tällöin varastoaika on 60 minuuttia. Läpimenoaika siis kertoo, miten nopeasti varaston viimeinen kappale on läpäissyt prosessivaiheen. Throughput (TH) tarkoittaa aikavälin valmistumisnopeutta ja sitä mitataan tyypillisesti kpl tai tapahtumaa per aikayksikkö. Kuvassa 2 on havainnollistettu tässä tutkimuksessa käytettyjen termien merkitys.



Kuva 2. Termien määrittämiä.

Littlen lakia voidaan käyttää myös läpimenoajan laskemiseen. Tällöin kaava esitetään muodossa: (Karjalainen 2017)

$$LT = \frac{WIP}{TH} \quad (2)$$

Littlen lakia voidaan käyttää varastojen, läpivirtausaikojen tai läpimenon arvioimiseen ja suunnitteluun. Laki sitoo yhteen prosessin ja prosessin ulostulon. Laista voidaan havaita, että jaksoaika/läpimenoaika on WIP:n ja läpimenon suhde sekä läpimeno on WIP:n ja jaksoajan/läpimenoajan suhde. (Piirainen 2014, s. 84.) Littlen lain elementtien vaikutusta liiketoimintaan voidaan kuvata seuraavasti:

- jaksoajan (CT) ja läpimenoajan (LT) muodostuminen vaikuttaa yrityksen kykyyn vastata kysyntään ja kysynnän muutoksiin eli ketteryyteen.
- läpimeno (TH) vaikuttaa, kuinka paljon tuotantosysteemi kykenee tuottamaan myytäviä tuotteita tai palveluja, joista muodostuu liikevaihto.
- Varastojen määrä vaikuttaa vaihto-omaisuuteen (Piirainen 2014, s. 100.)

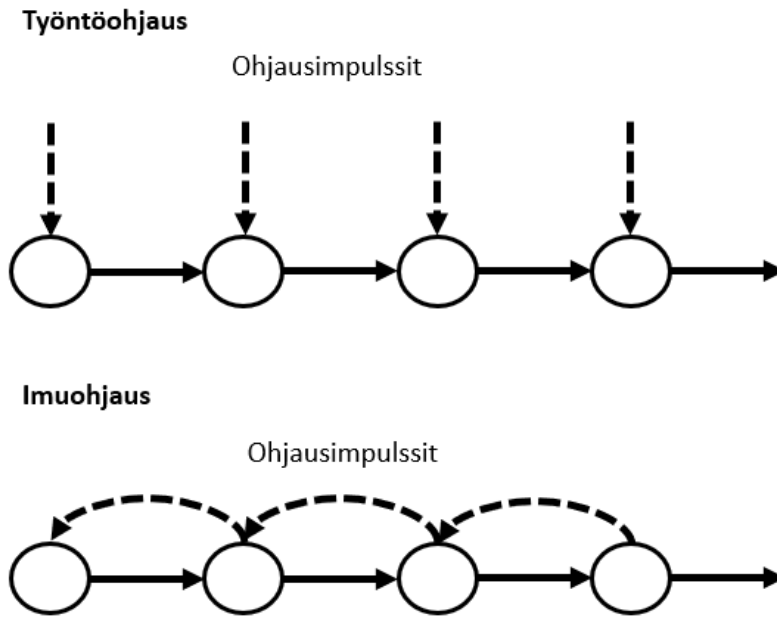
Littlen laki on tärkeä laki arvioitaessa prosessin dynamiikkaa. Varastotasojen laskeminen eli keskeneräisen työn vähentäminen mahdollisimman alas on helpoin tapa nopeuttaa prosessia eli lyhentää jakso- tai läpimenoaika. Tällä voi olla kuitenkin negatiivinen vaikutus läpimenoaika, mikäli prosessista pääsee materiaali loppumaan. Optimin varastotason löytäminen on tässäkin kohdassa tärkeää. (Piirainen 2014, s. 100.)

2.4 Työntö- ja imuohjaus

Työntöohjauksella tarkoitetaan erillistä valmistussuunnitelmaa, jonka on luonut usein yrityksen tuotannosuunnittelija. Suunnitelmalla ohjataan ja koordinoidaan tuotannon eri työvaiheita. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotantotilaukset ”työnnetään” tuotannon läpi. Tämä ohjausmenetelmä on yleisesti eniten käytetty ja se sopii kaikkiin eri tuotantomuotoihin. (Haverila et al. 2005. s. 422.) Työntöohjauksessa MRP-systeemi vapauttaa tuotantotilaukset perustuen aikataulutettuun suunnitelmaan. Tämä suunnitelma ei kuitenkaan tiedä tuotannon tilannetta, eli onko tuotantoon tullut mahdollisesti seisokkeja tms. (Hopp & Spearman 2001, s. 340.)

Työntöohjaus on kuitenkin osoittautunut haasteelliseksi ohjaustavaksi monimutkaisten ja laajojen valmistusketjujen ohjauksessa. Ongelmia alkaa ilmetä, kun todellinen valmistustilanne eroaa suunnitellusta. Usein valmistus ei pysty toimimaan suunnitelman mukaisesti tai suunnitelmat eivät vastaa täysin todellisuutta. Pitkissä valmistusketjuissa tämä johtaa usein välivarastojen syntymiseen. Näillä välivarastoilla piilotetaan valmistuksen ongelmia ja suunnitelmien puutteita. Nämä välivarastot kuitenkin vaikeuttavat entisestään valmistuksen suunnittelua ja hallintaa, koska läpimenoajat pitenevät ja hallittavien asioiden määrä kasvaa. Työntöohjauksen käyttö edellyttää kuitenkin selkeää ja hallittavissa olevaa valmistusprosessia, hyvää laatua ja kurinalaista toimintaa. (Haverila et al. 2005. s. 422.)

Imuohjauksessa tuotteita tai komponentteja valmistetaan ainoastaan todellisen välittömän tarpeen verran. Komponentteja ”imetään” edellisestä työvaiheesta vain tarpeen mukaan. Ohjausimpulssit etenevät lopusta alkuun päin. Imuohjaus toteutetaan käytännössä pienten nopeasti kiertävien välivarastojen avulla. Näitä välivarastoja kutsutaan puskureiksi (Buffer). Tilausimpulssi syntyy, kun komponentteja käytetään puskuripaikoista. Näitä tilausimpulsseja voidaan välittää imuohjauskortin eli kanban-korttien avulla. Imuohjaus soveltuu komponenteille, joilla on tasainen menekki. Mikäli tuotteella ei ole tasaista menekkiä, on imuohjauspuskurien rakentaminen miltei mahdotonta. Imuohjaus edellyttää tuotannolta lyhyttä läpimenoaikaa ja virheetöntä laatua. Tuotanto voi pysähtyä, mikäli jossain valmistusvaiheessa havaitaan ongelmia. Kuvassa 3 on havainnollistettu työntö- ja imuohjauksen eroa. (Haverila et al. 2005. s. 422-423.)



Kuva 3. Työntö- ja imuohjaus (Haverila et al. 2005. s. 423).

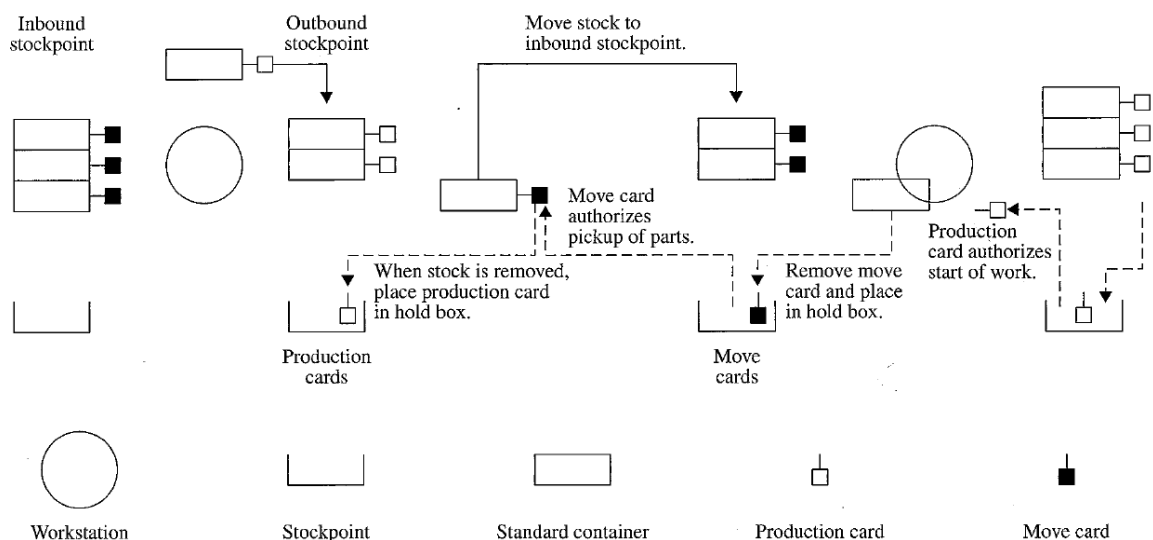
Imuohjausperiaatteesta on olemassa monia eri variaatioita. Sitä voidaan käyttää omien osavalmistusvaiheiden tai toimittajien ohjauksessa. Sitä voidaan käyttää myös vakiokomponenttien tai osakokoonpanojen ohjaamiseen tehtaissa, jotka muuten toimivat työntöohjausperiaatteella. Tällöin koko tilauksen aikataulu ja tilauskohtaiset tuotantotilaukset suunnitellaan työntöohjauksella, mutta vakiokomponenttien valmistus ohjataan imuohjaustekniikalla. Imuohjauksen etuina voidaan pitää sen toimintavarmuutta, koska materiaalikirjanpidon virheet ja valmistuksenohjauksen ongelmat eivät häiritse ohjausjärjestelmää. (Haverila et al. 2005. s. 423.)

2.4.1 Kanban-imuohjaus

Kanban on japanilainen sana ja se tarkoittaa korttia. Alun perin Kanban-imuohjaus on kehitetty Japanissa Toyotan autotehtaalla, jossa sitä käytettiin hallitsemaan materiaalivirtoja. Kanban-imuohjausjärjestelmässä tuotannon käynnistää aina asiakkaan tarve toisin kuin MRP-ohjauksessa. Kun komponentti otetaan varastopisteestä (puolivalmis- tai valmisvarasto), niin tämä antaa luvan korvata tuote uudella. Lupa tuotteen korvaamisesta lähetetään tuotannon ylävirtaan edelliselle työpisteelle, joka toimittaa uuden tuotteen ja antaa luvan taas edelliselle työpisteelle luvan toimittaa uusi osa. Jokainen työpiste tekee saman asian ja täydentää alavirran tyhjyyttä ja lähettää luvan ylävirran edelliselle asemalla.

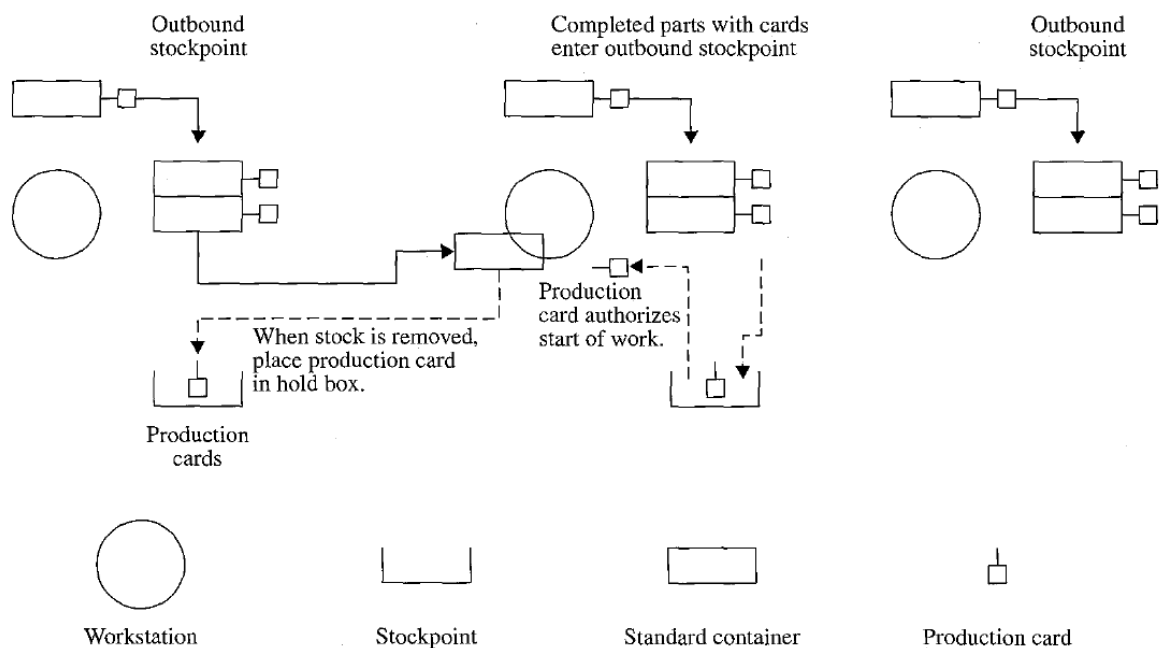
Kanban-järjestelmässä operaattori tarvitsee sekä osat, että luvan (Kanban) tehdäkseen töitä. (Hopp & Spearman 2001, s. 163.)

Kanban-järjestelmissä voidaan käyttää joko 1- tai 2-kortin järjestelmää. Toyota käytti 2-kortin järjestelmiä (Kuva 4), jossa käytetään kahdenlaisia ohjauskortteja, valmistus- ja kuljetuskortteja. Tässä työntekijä ottaa tuotantokortin laatikosta, kun työpiste on vapaana seuraavaan tehtävään. Tämä kortti kertoo työntekijälle, mitä osaa alavirran työpisteessä tarvitaan. Työntekijä tarkistaa välivarastosta raaka-aineiden saatavuuden ja jos osia ei ole saatavilla, vaihtaa työntekijä toiseen tuotantokorttiin. Jos osat ovat saatavilla, työntekijä ottaa kuljetuskortin ja laittaa sen toiseen laatikkoon. Aina kun työntekijä löytää laatikosta tuotantokortin ja siihen materiaalit, hän suorittaa työn ja asettaa tuotteen työpisteen lähtevään varastopisteeseen. Varastohenkilö käy säännöllisesti tarkastamassa kuljetuskortit ja korvaa tuotantokortit kuljetuskorteilla sekä siirtää tavarat tarvittavaan pisteeseen. Poistetut tuotantokortit palautetaan niille työpisteille, joista ne saapuivat. 2-kortin systeemi on ideaalinen silloin, kun työpisteet sijaitsevat hajallaan ja pitkien matkojen päässä toisistaan. Siksi jokaisella työpisteellä tulee olla sekä saapuvan että lähtevän tavaravaroasteet. Kuljetuskortit toimivat signaalina varastohenkilölle siitä, että materiaali pitää siirtää paikasta toiseen. (Hopp & Spearman 2001, s. 163-164.)



Kuva 4. Kahden kortin Kanban-järjestelmä Toyotan tyyliin (Hopp & Spearman 2001, s. 163).

1-kortin järjestelmä (Kuva 5) on toimiva silloin, kun työpisteet sijaitsevat toistensa lähellä ja työ voidaan tehokkaasti ”luovuttaa” seuraavalle vaiheelle. Tällöin ei tarvita saapuvan tavaran varastoja lainkaan. Idea kuitenkin tässä on sama kuin 2-kortin järjestelmässä, eli työntekijä tarvitsee tuotantokortin ja materiaalit aloittaakseen työn. Sen sijaan, että poistetaan kuljetuskortti saapuvista materiaaleista, työntekijä poistaa tuotantokortin ylävirran prosessista ja lähettää sen takaisin ylävirtaan. (Hopp & Spearman 2001, s. 163-164.)



Kuva 5. Yhden kortin Kanban-järjestelmä (Hopp & Spearman 2001, s. 164).

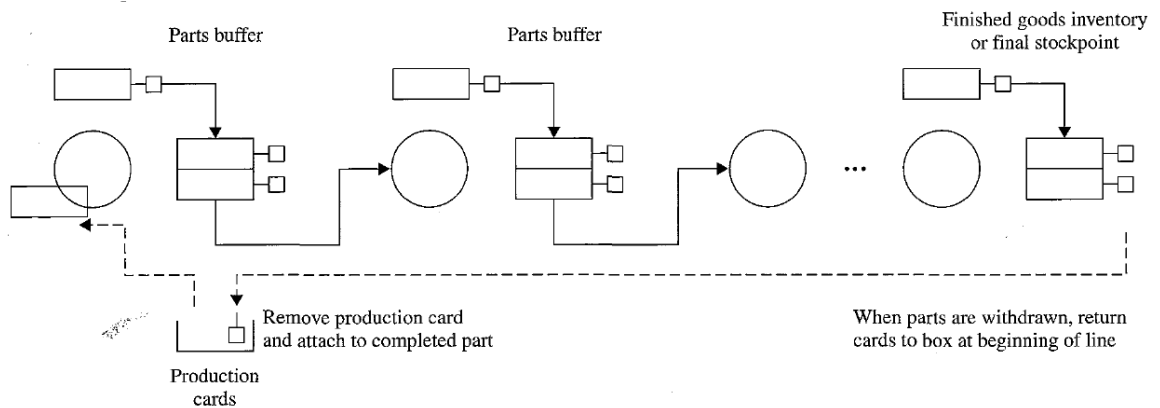
Molemmissa Kanban-järjestelmissä avainasiana on korttien määrät jokaisessa työpisteessä. Nämä kortit vaikuttavat keskeneräisen työn (WIP) määrään ja vaikuttavat läpimenonopeuteen. (Hopp & Spearman 2001, s. 164.)

2.4.2 CONWIP-imuohjaus

Yksi imuohjauksen yksinkertaisimmista protokollista on nimeltään CONWIP. Se tulee sanoista *constant work in progress* ja tarkoittaa sitä, että siinä säädetään keskeneräisen työn maksimi määrää tuotantolinjalla tai -osastolla. Ideana siinä on sallia tietty määrä tuotantokortteja eli keskeneräistä työtä vapaaksi tuotantolinjalle tai -osastolle. Kun tuote on valmis, lähetetään tuotantokortti takaisin tuotantolinjan alkuun ensimmäiselle työpisteelle

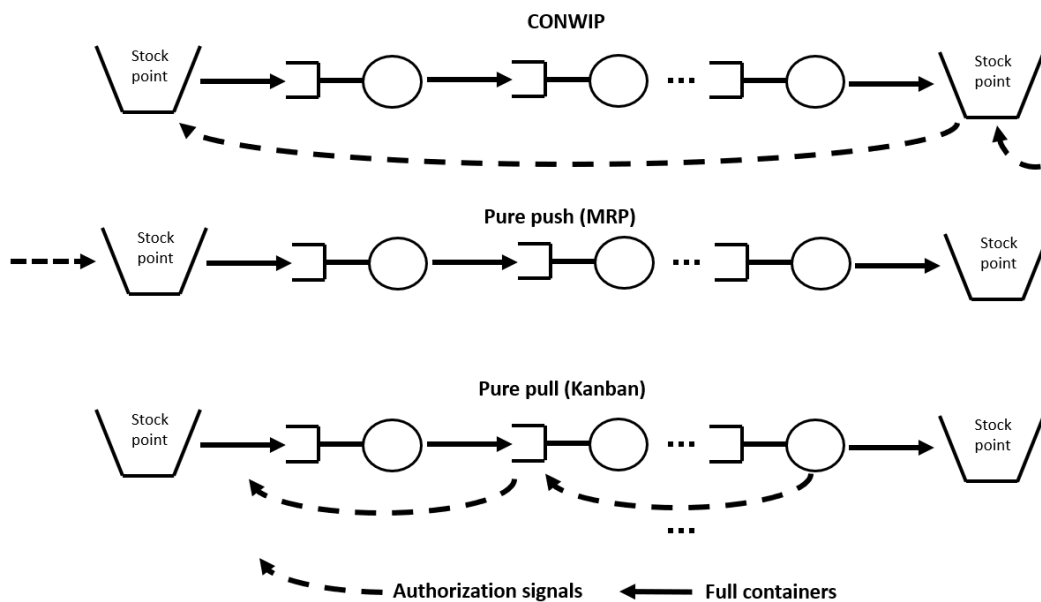
(Kuva 6). Keskenäisen työn määrä on tällöin käytännössä vakio. CONWIP:in käyttö edellyttää kuitenkin kahta asiaa:

1. Tuotantolinja koostuu yhdestä reitityksestä, jota pitkin kaikki osat virtaavat
2. Työt ovat identtisiä, jolloin WIP voidaan mitata yksikköinä (töiden tai linjan osien lukumäärä) (Hopp & Spearman 2001, s. 349.)



Kuva 6. CONWIP tuotantolinja (Hopp & Spearman 2001, s. 350).

Vertailtaessa CONWIP:iä, MRP:tä ja Kanbania kuvassa 7, voidaan huomata, että CONWIP-järjestelmä näyttää suljetulta jonotusverkolta, MRP avoimelta jonotusverkolta ja Kanban suljetulta jonotusverkolta, jossa on estoja matkan varrella. (Hopp & Spearman 2001, s. 350.)



Kuva 7. CONWIP-, työntöohjaus- ja Kanban-järjestelmät (Hopp & Spearman 2001, s. 351).

Kuten jo luvussa 2.4 Työntö- ja imuohjaus mainittiin, niin työntöohjauksella (MRP) on paljon vaikeampi hallinnoida ja optimoida ulostuloa kuin imuohjauksella (CONWIP ja Kanban). MRP:llä ohjattaessa, tuotantotilausten vapautusnopeus on tehtävä kapasiteetin suhteen. Mikäli tuotantotilauksia vapautetaan liikaa, tukkeutuu tuotantosysteemi liian suurella WIP:llä. Jos tuotantotilauksia vapautetaan liian hitaasti, kärsii joko sisäinen tai ulkoinen asiakas liian pienestä tuotantomäärästä. Kapasiteetin arvioiminen on kuitenkin vaikeaa, koska siihen vaikuttaa mm. koneen käyttökätkökset ja työntekijöiden saatavuus. Yleisesti voidaan todeta, että sama tuotannon ulostulo (TH) saavutetaan imuohjauksessa pienemmällä keskeneräisellä työllä. Tästä seuraa se, että Littlen lain (käsitellään luvussa 2.3 Prosessivirtaus) mukaan MRP-ohjauksella tuotannon läpimenoaika on pidempi. (Hopp & Spearman 2001, s. 355-358.)

Kuten jo edellä on mainittu, niin CONWIP ja Kanban ovat molemmat imuohjaukseen perustuvia ohjausjärjestelmiä. Molemmilla järjestelmillä rajoitetaan keskeneräisen työn määrää ja molemmilla on samanlaiset toimintaedut verrattuna työntöohjauksessa käytettävään MRP-systeemiin. Molemmilla, sekä CONWIP ja Kanban-järjestelmillä saavutetaan sama ulostulo (TH) kuin MRP-ohjauksella, mutta pienemmällä WIP:llä ja pienemmällä läpimenoajan (LT) vaihtelulla. CONWIP:lla ja Kanbanilla on kuitenkin tärkeitä eroavaisuuksia toisiinsa nähden. Yksi isoimmista eroista on korttimäärän määrittäminen. Esimerkiksi yhden kortin Kanban-järjestelmissä pitää päättää minkä kokoisia varastoja pidetään jokaisella työpisteellä. Tällöin varastokoot ja työpisteiden määrä määrittävät korttien määrän. Mikäli käytössä on kahden kortin Kanban-järjestelmä, niin korttien lukumäärä vielä tuplaantuu. CONWIP-järjestelmässä korttien määrä määritetään koko tuotantolinjaa koskevaksi. CONWIP-järjestelmän yhtenä etuna on siis sen yksinkertaisuus. Toisena erona järjestelmien välillä on se, että CONWIP:ssa tuotantokortit merkkäavat vain yhtä työtä, kun taas Kanbanissa tuotantokortit ovat osanumerokohtaisia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Kanban-kortit ”tunnistavat” osan, jolle ne antavat tuotantoluvan, kun taas CONWIP-järjestelmässä tuotantokortti antaa luvan käynnistää työn ja käynnistettävä työ katsotaan erillisestä tuotantolistasta. Tämä tuotantolista on usein aikataulutettu ERP-järjestelmässä. (Hopp & Spearman 2001, s. 359-360.)

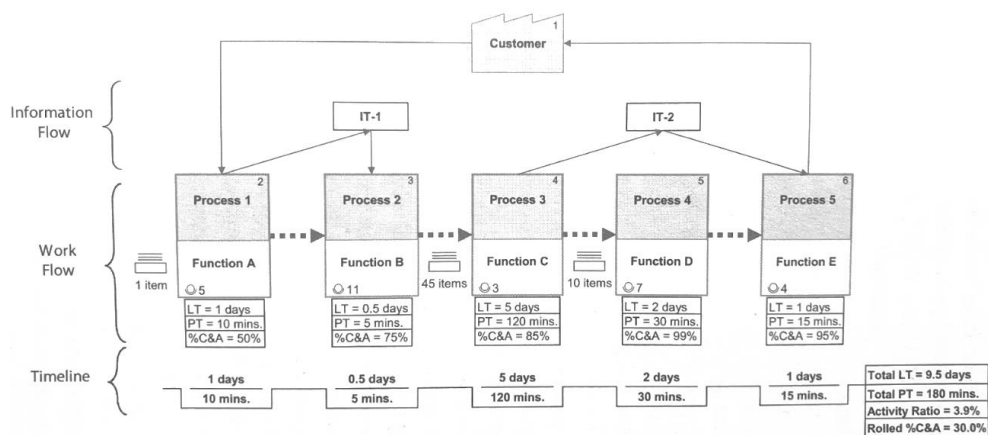
On kuitenkin huomattava, että järjestelmien välinen perustavanlaatuisen ero on se, että Kanban-järjestelmän hankinta-aika on 0, kun CONWIP-järjestelmässä se on pieni. Kanban-

järjestelmä on puhdas make-to-stock järjestelmä, jolloin osien odotetaan olevan lähtevän tavaran varastossa, kun sitä tarvitaan. CONWIP-järjestelmässä pidetään taas läpimenoaika (LT) mahdollisimman pienenä pitämällä keskeneräinen työ mahdollisimman matalana. (Hopp & Spearman 2001, s. 360.)

2.5 Arvovirtakuvaus

Termin arvovirta (Value Stream) keksivät James Womack, Daniel Jones ja Daniel Roos kirjassaan *Lean Movement, The Machine that Changed the World* (1990). Arvovirta muodostuu organisaation toimenpiteistä ja aktiviteeteista, joita tarvitaan tuotteen tai palvelun toimittamiseksi asiakkaalle. Arvovirtoja esiintyy myös tukitoiminnoissa, kuten rekrytoinnissa, IT-tuessa ja budjetoinnissa. Value Stream Mapping -menetelmä (VSM) on yksi tehokkaimmista tavoista kuvata visuaalisesti organisaation arvovirtoja. Arvovirtakuvaukset tarjoavat holistisen näkymän organisaation materiaali- ja informaatiovirtoihin läpi prosessin ja tarjoavat strategisen näkymän sen kehittämiseen. (Martin & Osterling 2014, s. 2-10.)

Tyypillisesti arvovirtakuvasta käytetään prosessin parantamiseen. Kun prosessia lähdetään parantamaan, tulee ensimmäisenä ymmärtää, miten prosessi toimii tällä hetkellä. Usein ihmiset kiirehtivät ”ratkaisuun” ja tekevät ns. ”tulipalon” sammutuksia, joilla voi olla pahimmassa tapauksessa huonoja vaikutuksia prosessiin. Arvovirtakuvauksen nykytilan kuvauksen (Kuva 8) tarkoituksena on esittää totuus arvovirrasta ja antaa selkeä kuva missä kohdassa prosessia on hukkaa ja missä ”pullonkaula” rajoittaa virtausta. Nykytilakuvaus kertoo aina sen päivän kuvauksen, jolloin se on tehty. (Martin & Osterling 2014, s. 51-52.)



Kuva 8. VSM nykytilakuvaus (Martin & Osterling 2014, s. 9).

Arvovirtakuvauksen tavoitteena on

- identifioida tuotteen/palvelun materiaali- ja informaatiovirrat
- löytää hukat ja niiden syyt
- löytää pullonkaulat, keskeneräisen työn (WIP) ja varastot
- vähentää läpimenoaikaa
- luoda kokonaisvaltainen prosessikuvaus
- luoda perusta uusien tuotteiden implementoimiselle (John et al. 2008, s. 145.)

2.6 5S

Lean-toiminnan lähtökohtana on, että ainoastaan siistissä ympäristössä pystytään tekemään laadukasta ja tuottavaa työtä. 5S on työkalu, jolla huolehditaan siisteyden ja järjestyksen kehittämisestä ja ylläpidosta. 5S:n avulla voidaan parantaa seuraavia asioita:

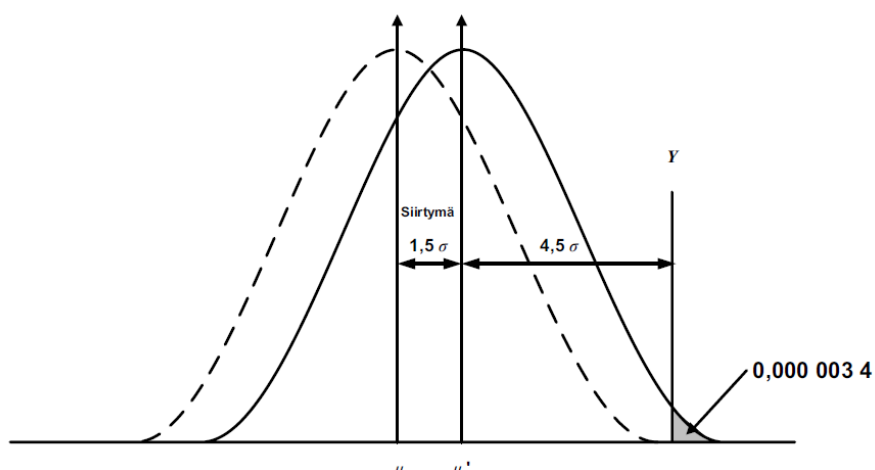
- työturvallisuutta
- ylläpitää työpisteen järjestystä ja vähentää työvälineiden etsimiseen kuluvaa aikaa
- tehostetaan tuotantovälineiden valvontaa ja seurantaa
- helpottaa työntekemistä työvälineiden tarkoituksenmukaisen organisoinnin myötä
- kehitetään systemaattisuutta ja kurinalaisuutta (Kouri 2010, s. 26.)

5S tulee japaninkielisistä sanoista Seiri (lajittele), Seiton (järjestä), Seiso, (puhdistusta ja huolla), Seiketsu (vakiinnuta) ja Shitsuke (ylläpidä). Ensimmäisessä S:ssä lajitellaan työkalut, materiaalit ja muut tavarat niiden tarpeellisuuden mukaan. Työpisteestä poistetaan kaikki ylimääräiset työkalut ja tarpeettomat tavarat. Toinen S-kirjain tarkoitti järjestämistä ja tässä käytännössä järjestetään jäljelle jääneille työkaluille ja tavaroille tarkoituksenmukaiset paikat. Ne myös merkitään selkeästi visuaalisia merkintöjä hyväksikäyttäen. Kolmannessa S:ssä puhdistetaan ja huolletaan kaikki koneet ja laitteet. (Kouri 2010, s. 27.) Tässä vaiheessa myös määritellään siivouksen tavoitteet ja vastuut sekä aikataulutetaan 5S-auditoinnit, joilla tarkistetaan ja arvioidaan alue (John et al. 2008, s. 209). Neljäs S tarkoittaa toimenpiteiden vakiinnuttamista. Järjestelyt ja siivous ovat osana työpisteen rutiininomaista työskentelyä. Viidennessä S:ssä ylläpidetään vakiintuneita käytäntöjä. Aiempia S:iä toteutetaan säännöllisesti ja alueen 5S-tasoa auditoidaan systemaattisesti. (Kouri 2010, s. 27.)

3 SIX SIGMA

Six Sigma on joukko menetelmiä ja käytäntöjä, joilla parannetaan prosessia systemaattisesti ja sen keskeinen vahvuus on sen tieteellinen perusta. Six Sigman tavoitteena on pienentää vaihtelua prosessin ulostulossa tilastollisia menetelmiä hyväksikäyttäen. Vaihtelun pienentäminen tapahtuu tutkimalla prosessiin vaikuttavia syyseuraussuhteita ja tekemällä muutoksia ulostuloon vaikuttaviin muuttujiin. Vaihtelun pienentäminen vähentää hukkaa ja seurauksena tästä on kapasiteetin kasvaminen. Vaihtelu aiheuttaa myös virheitä, jotka aiheuttavat vikoja ja viat aiheuttavat taas hukkaa. Six Sigmassa keskitytään vaihtelun pienentämiseen ja Leanissa keskitytään hukan poistamiseen.

Nimi Six Sigma tulee siitä, kun toleranssit asetetaan 3 sigman etäisyydelle keskiarvosta (3 sigmaa molemmin puolin keskiarvoa = 6 sigmaa). Kun sigmataso on prosessissa tasolla kuusi, virheiden määrä on alle 3,4 virhettä miljoonaa virhemahdollisuutta kohden (DPMO, Defects Per Million Opportunities) ja prosessin suorituskykyindeksi C_p on 2. Suorituskykyindeksi on esitelty tarkemmin luvussa 3.6 SPC. (Karjalainen 2017.) Sigmataso johdetaan normaalijakaumasta 1,5 keskihajonnan siirrolla, joka on valittu vakiintuneen käytännön perusteella (Kuva 9) (ISO 13053-1 2014, s. 21).



Kuva 9. Sigmataso 6 tarkoittaa 4,5 keskihajontaa keskiarvosta (ISO 13053-1 2014, s. 22).

Six Sigma kehitysprojekteissa käytetään ongelmanratkaisumenetelmänä DMAIC-menetelmää. DMAIC-menetelmästä lisää luvussa 3.2 DMAIC. (Dale et al. 2013, s. 475.)

3.1 Vaihtelu

Vaihtelu on läsnä jokaisessa asiassa. Sillä voi olla joko positiivinen tai negatiivinen vaikutus asiaan. Vaihtelu voi olla ennustettavaa tai ei-ennustettavaa, satunnaista tai ei-satunnaista. Varmaa kuitenkin on se, että vaihtelu laskee aina tuotanto- tai palvelusysteemin suorituskykyä. Vaihtelua tuotantosysteemiin tulee usein monesta eri suunnasta:

- Asiakaskysynnästä – tilauksia ei tule tasaisesti
- Ominaispiirteestä – ominaispiirre ei ole täysin yhdenmukainen suunnitelman kanssa. Ominaispiirteellä tarkoitetaan tuotteeseen tai palveluun suunniteltua ominaisuutta.
- Muunnoksesta – ominaispiirteen tuottamisaika vaihtelee
- Läpimenoajasta (LT) – prosessiketjun materiaalivirtausaika prosessin alkupisteestä loppupisteeseen (Piirainen 2014, s. 9-10.)

Vaihtelua vastaan voidaan suojautua kolmella eri tekijällä. Nämä tekijät ovat ylimääräinen kapasiteetti, ylimääräiset varastot ja ylimääräinen aika. Nämä tekijät kuitenkin vaikuttavat puhtaasti yrityksen liiketoiminnan tuottavuuteen negatiivisesti. Suojautumiskeinoja voidaan kuitenkin pienentää, kun vaihtelu on saatu hallintaan ja pienennettyä. (Piirainen 2014, s. 12.)

Tuotantosysteemien aikavaihtelun yleisimpiä tekijöitä ovat:

- ”Luonnollinen” vaihtelu
- Satunnaiset seisokit ja pysähdykset
- Asetusajat
- Työntekijöiden käytettävyys
- Laatuviat (Hopp & Spearman 2001, s 255.)

Luonnollisella vaihtelulla tarkoitetaan tuotantoprosessin prosessiaikaa, josta on poissuljettu tuotantoseisokit, asetusaajat tai muut ulkopuoliset vaikutukset. Luonnollista vaihtelua esiintyy aina tuotantoprosessin prosessiajassa. Esimerkiksi täysin automatisoidussa koneistusoperaatiossa materiaalin koostumus voi vaihdella, jolloin myös prosessinopeus vaihtelee hieman. Tyypillisesti luonnollinen vaihtelu on suurempaa manuaalisessa työssä kuin automatisoidussa työssä. (Hopp & Spearman 2001, s 255.)

Yleensä oletetaan, että häiriöt/keskeytykset vaikuttavat vain keskimääräiseen ominaispiirteen muodostumisaikaa ja unohdetaan vaikutus vaihteluun. Vaihtelu vaikuttaa

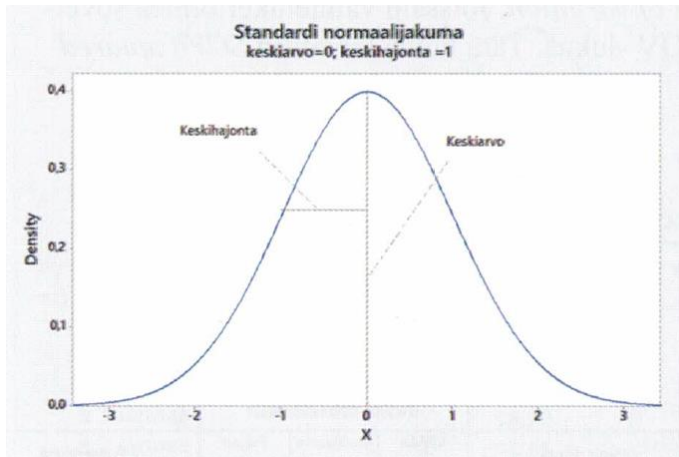
kuitenkin paljon ennustettavuuteen. Esimerkiksi, mikäli tuotteen läpimenoajassa on paljon vaihtelua, on miltei mahdotonta ennustaa tuotteen valmistusaikaa. Taulukossa 1 on luokiteltu kuuteen kategoriaan tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotantoympäristössä prosessointiaikaan ja läpimenon vaihteluun. (Piirainen 2014, s. 65-66.)

Taulukko 1. Prosessointiaikaan ja läpimenon vaihteluun vaikuttavat tekijät luokiteltuna kuuteen kategoriaan (Piirainen 2014, s. 66).

Kategoria	Luokka	Esimerkkejä
1. Laiterikot	Suunnittelemattomat alasajot	<ul style="list-style-type: none"> • Työkaluviat • Suunnittelemattomat kunnossapitotyöt • Yleiset kone-/laiterikot • Suunnitellut kunnossapitotoimenpiteet, vaikka koneiden pitäisi olla käynnissä
2. Asetus ja säätöviiveet	Suunnittelemattomat alasajot	<ul style="list-style-type: none"> • Vaihdot, asetukset • Materiaali- ja osapuutteet • Operaattoreista johtuvat esteet • Merkittävät päällekkäisyydet ja säätäminen • Aloitusajat • Palaveri ja huonosti organisoidut ohjaukset • Fasiliteetit ja infraan liittyvät ongelmat
3. Joutoaika ja pienet pysähdykset	Laskenut suorituskyky	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotevirran esteet • Ylikuormitus • Osa ja materiaaliarvot • Koneviat • Epäonnistuneet materiaalisyötöt • Sensoriviit • Ylimääräinen puhdistus
4. Alentunut nopeus	Laskenut suorituskyky	<ul style="list-style-type: none"> • Alhaisempi kuin suunniteltu nopeus • Kuluminen • Operaattoreiden tehottomuus • Lika ja jämät
5. Prosessiviat	Laatuhävikit	<ul style="list-style-type: none"> • Viat • Uudelleen tekeminen ja korjaaminen • Tuoteviat • Tuotteiden vanheneminen
6. Alentunut saanto	Laatuhävikit	<ul style="list-style-type: none"> • Aloituksista syntyvät viat • Aloituksista syntyvät korjattavat tuotteet • Tuotteiden vaurioituminen

Vaihtelun käsittely lähtee liikkeelle halusta ymmärtää vaihtelua. Usein halu ymmärtää vaihtelua johtuu tarpeesta. Tarve voi olla esimerkiksi, halu ennustaa tuotteen

valmistumisaika. Vaihtelun ymmärtämiseksi, tulee data esittää kuvaavassa muodossa. Yksi yleisimmistä tavoista on käyttää jakaumaa kuvaamaan havaintojoukkoa. Normaalijakauman on yksi yleisimmistä jakaumista. Normaalijakauma kuvaa jatkuvan datan satunnaismuuttujia ja sen parametrit ovat keskiarvo μ ja keskihajonta σ . Kuvassa 10 on esitetty standardi normaalijakauma. (Pirainen 2014, s. 50-51.)



$$f(x) = \frac{e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (3)$$

, jossa

μ = keskiarvo

σ = standardipoikkeama

Kuva 10. Standardi normaalijakauma ja sen parametrit keskiarvo ja keskihajonta (Pirainen 2014, s. 51.)

Hajontaa kuvataan jossain tapauksissa standardipoikkeaman ja keskiarvon suhteella ja tätä kutsutaan vaihtelukertoimeksi eli COV-luvuksi. COV tulee englanninkielisistä sanoista *coefficient of variation* ja se lasketaan seuraavasti: (Pirainen 2014, s. 52.)

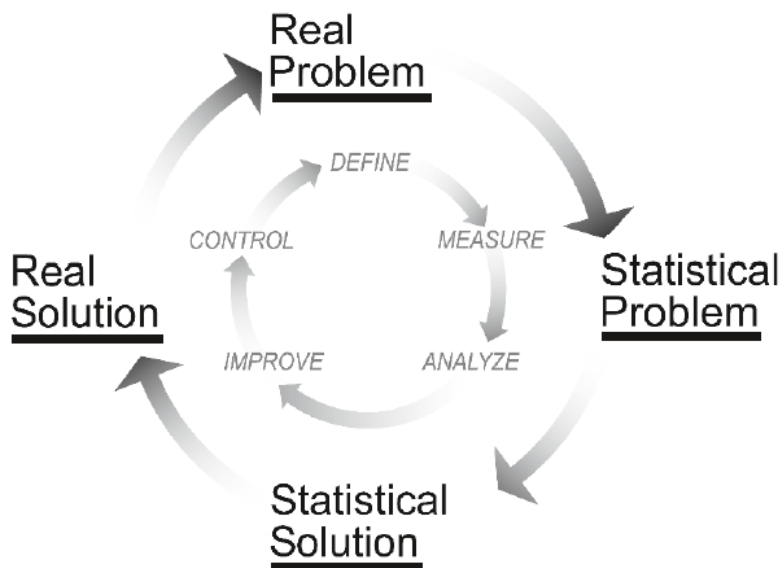
$$COV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (4)$$

Standardi normaalijakauma mahdollistaa halutun tarkasteluvälin esiintymistodennäköisyyksien tai satunnaismuuttujan osalta yksittäisten tapahtumien selvittämistä. Luotettavaan päätöksenteon pohjaksi tarvitaan usein todistus prosessin stabiilisuudesta. Mikäli prosessi ei ole stabiili, parametrit (esim. keskiarvo ja keskihajonta) eivät ole tulevaisuudessa tarkkoja. Tällä tarkoitetaan sitä, että voidaanko olettaa, että kyseinen data kuvaa ilmiötä myös tulevaisuudessa vai kuvaako data vain mitä on tapahtunut. Walter A. Shewhart on todennut: ”kun menneen kokemuksen perusteella havainnot ovat rajojen sisällä, sanotaan ilmiön olevan ohjauksessa. Tällöin voidaan ennustaa, kuinka ilmiö

tulee oletettavasti käyttäytymään tulevaisuudessa”. (Pirainen 2014, s. 53-54.) Tilastollinen prosessiohjaus käydään läpi tarkemmin luvussa 3.6 SPC.

3.2 DMAIC

Six Sigman tai Lean Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmänä käytetään DMAIC-menetelmää. DMAIC-tulee sanoista, määrittely (Define), mittaus (Measure), analysointi (Analyze), parannus (Improve) ja ohjaus (Control). Menetelmän avulla optimoidaan nykyisiä prosesseja järjestelmällisesti ja faktaperusteisesti. DMAIC:n tavoitteena on nostaa laatua (vähentämällä korjaustyötä ja romua) ja vähentää varastoja sekä pienentää läpimenoaikoja (LT) varastohallinnan ja kapasiteetin säätämisen avulla. Kuvassa 11 on esitetty DMAIC-ympyrä. (John et al. 2008, s. 11.)



Kuva 11. DMAIC-ympyrä (John et al. 2008, s. 11).

DMAIC-menetelmän määrittely vaiheessa määritellään, minkälainen ongelma on kyseessä ja mikä on käsiteltävä strateginen kysymys. Paranneltavan prosessin tavoite asetetaan ja projektiryhmä määritellään myös tässä vaiheessa (John et al. 2008, s. 12). Määrittelyvaiheessa käytetään muun muassa seuraavia työkaluja: projektin valintamatriisi, SIPOC-kaavio, VSM, aivoriihi, haastattelut ja kyselyt (Karjalainen 2017).

Mittaus-vaiheen tarkoituksena on määrittää, minkälainen prosessi on tällä hetkellä ja mitata prosessin suorituskyky (ISO 13053-1 2014, s. 14). Tässä vaiheessa varmistetaan myös

mitattavan datan laatu eli mittaussysteemi on analysoitava (John et al. 2008, s. 12). Mittausvaiheessa käytetään muun muassa seuraavia työkaluja: prosessikuvaus, VSM, Gage R&R, FMEA, suorituskykyanalyysit ja datan keräyssuunnitelma (Karjalainen 2017).

Kolmannessa vaiheessa (Analysointi) lähdetään tutkimaan tarkemmin prosessia ja määritellään prosessin huonon suorituskyvyn perimmäinen syy. Kolmessa ensimmäisessä vaiheessa keskitytään käsittelemään ongelman rajaamista ja tunnistamista. (ISO 13053-1 2014, s. 14.) Analysointi-vaiheessa käytetään muun muassa seuraavia työkaluja: perustatistiikka, SPC, ANOVA, regressioanalyysit, DoE, spagetti diagrammi, 5S ja hypoteesitestaus (Karjalainen 2017).

Parannus vaiheessa kehitetään ja tutkitaan parannusideoita sekä testataan niiden vaikutusta itse prosessiin (ISO 13053-1 2014, s. 14). Tämän vaiheen tarkoituksena on saada aikaan kestävä parannus prosessiin. Tavoitteena on tunnistaa kaikki esteet, jotka estävät parannusratkaisun toteuttamisen ja poistaa ne. (ISO 13053-1 2014, s. 49.) Parannusvaiheessa käytetään muun muassa seuraavia työkaluja: DoE, FMEA, SPC, koulutussuunnitelma, Kanban ja SMED (Karjalainen 2017).

Viimeisessä vaiheessa (Ohjaus) keskitytään parannuksen käytännön toteutukseen ja kehitetään menetelmät, jolla suorituskyky kyetään ylläpitämään (ISO 13053-1 2014, s. 14). Parannettu prosessi luovutetaan yleensä projektin omistajan haltuun tässä vaiheessa, sen jälkeen, kun vaadittu prosessin parannus on vahvistettu. Yleensä prosessi olisi auditoitava puolen vuoden päästä, jotta voidaan varmistua prosessin toimivuudesta. (ISO 13053-1 2014, s. 50.) Ohjaus-vaiheessa käytetään muun muassa seuraavia työkaluja: control plan (ohjaussuunnitelma), SPC, koulutussuunnitelma, dokumentointi ja suorituskykyanalyysit (Karjalainen 2017).

3.3 Aivoriihi

Aivoriihi on menetelmä, jolla generoidaan uusia ideoita. Lean Six Sigma menetelmässä tämä tarkoittaa esimerkiksi ulostuloon vaikuttavien tekijöiden tai ongelmien ratkaisujen ideointia. Aivoriihi toteutetaan aina ryhmänä, johon valitaan henkilöitä useilta eri osastoilta. Ajatuksena tässä on, että saadaan ideointiin mahdollisimman laaja näkökanta. Uusille ideoille ei sallita kritiikkiä lainkaan aivoriiehen aikana. Tämä on erityisen tärkeää muistuttaa

ryhmälle, kun aivoriieheä aloitellaan. Ryhmän johtajan tehtävänä on kontrolloida ja luoda säännöt, miten toiminta etenee. Esimerkiksi, ekstrovertti henkilö voi helposti vallata keskustelun ja näin ollen introvertit jäävät vähemmälle huomiolle sekä pahimmassa tapauksessa jää jotain hyviä ideoita luomatta. (Agustiady & Adedeji 2012, s. 195.)

Aivoriiehi-istunnon toteuttamiseen on muutamia eri vaihtoehtoja. Ideoita voidaan kerätä suoraan keskustelun kautta tauluun, jossa ne luokitellaan syy-seurausdiagrammiin. Toinen tapa on antaa yksittäisten henkilöiden kirjoittaa ideoita post-it lappuihin ja ryhmänä järjestellä ne taululle, jolloin herää vielä mahdollisesti uusia ideoita esiin. Kolmas vaihtoehto on, että jokainen yksittäinen henkilö kirjoittaa ideansa ylös ja muodostaa niistä omat luokituksensa. Se mitä menetelmää käytetään, riippuu ryhmästä ja ryhmän johtajasta. (John et al. 2008, s. 232).

3.4 XY-matriisi

XY-matriisin avulla selvitetään tekijöiden ja ulostulojen välistä vaikuttavuutta. Sillä voidaan vakuuttaa koko Lean Six Sigma kehitysryhmälle niistä ulostuloista, jotka ovat kriittisiä tuotteelle ja/tai asiakkaalle. Numeerisen arvioinnin avulla voidaan määrittää tekijöiden tärkeysvaikutus jokaiseen ulostulosuureen. XY-matriisi voidaan toteuttaa Excelissä. Ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus listata kaikki ulostulomuuttujat matriisin yläosaan. Nämä ulostulomuuttujat ovat asioita, joita Lean Six Sigma projektiryhmä tai asiakas pitävät tärkeinä. Seuraavaksi pisteytetään jokainen ulostulo numerolla 1-10. Suurin numero annetaan tärkeimmälle ulostulolle. Tämän jälkeen listataan kaikki potentiaaliset syyt (jotka ideoitu aivoriiehessa) matriisin vasempaan reunaan. Seuraavaksi pisteytetään numeroin 1-10 jokaisen tekijän vaikutus jokaiseen ulostuloon. Tässä on tärkeää, että koko ryhmä osallistuu arvioimaan vaikutuksia. Tällöin voidaan käyttää matriisissa ryhmän keskiarvoja. Tämän jälkeen kerrotaan ryhmän antama vaikutusefektinumero ulostulon tärkeysnumerolla, jolloin saadaan priorisoitu luku. Mikäli ulostuloja on useampi kuin yksi, niin priorisoituun lukuun summataan kaikkien ulostulojen ja vaikutusefektien tulot. Esimerkki XY-matriisi on esitetty kuvassa 12. (Karjalainen 2017.)

0.1.1900

Prosessi vaihe	Muuttujan nimi	Tyyppi (y/x/x)	Luokka (S/C/N/X et R)	Vaatimus Rank (1-10)	Ujestulot (Y's)					Prioritettu luku
					Vari	Heppamuus	Maitopitoisuus	Läpimenoaika-LT	Raa-ainekust.	
INPUT	Operaattori	x		2	2	2	9	1		127
INPUT	Keitin	x		2	2	2	2	1		57
INPUT	Vesi	x		1	1	1	1	2		33
INPUT	Kahvi	x		4	4	1	1	7		72
INPUT	Suodatinpaperi	x		1	1	1	1	1		30
Valmistelu	Kahvimäärän selvittäminen	x	S							
Valmistelu	Kuppityyppi	x	S		1	1	1	6	2	83
Valmistelu	Kahvityyppi	x	S		1	1	1	1		30
Valmistelu	Resepti	x	S		4	5	1	1	5	72
Valmistelu	Tuntemattomat juojet	x	N		4	3	7	1	1	102
Valmistelu	Juojen lkm	y			1	1	1	6	1	80
Valmistelu	Arvio kuppia/ hlo	y			1	1	1	1	1	30
Valmistelu	Tarjoiluastia	y			1	1	1	1	1	30
Valmistelu					3	3	1	1	1	46

$$Y_1 \times X_1 + Y_2 \times X_1 + Y_3 \times X_1 + Y_4 \times X_1 + Y_5 \times X_1 = \text{Rank}$$

Operaattori: $2 \times 2 + 6 \times 2 + 9 \times 2 + 10 \times 9 + 3 \times 1 = 127$

Keitin: $2 \times 2 + 6 \times 2 + 9 \times 2 + 10 \times 2 + 3 \times 1 = 57$

Kuva 12. Esimerkki kuva XY-matriisista (Karjalainen 2017).

Priorisoitu luku on siis ryhmän näkemys muuttujien vaikutuksista ja se ei ole välttämättä faktaa. Tämä on hyvä muistaa, vaikka jostain asiasta oltaisiinkin varmoja. Tulokset voidaan siirtyä tämän jälkeen tutkimaan lisää prosessi FMEA:lla. (Karjalainen 2017.)

3.5 FMEA

FMEA tulee sanoista Failure Modes and Effects Analysis. Failure Modes tarkoittaa menetelmää tai tilaa, jossa jokin menee vikaan ja tuote/palvelu ei täytä asiakasvaatimuksia. Effects Analysis tarkoittaa näiden vikojen ja seurauksien tutkimista. FMEA-tekniikka kehitettiin vuoden 1962 tienoilla lento- ja puolustusteollisuuden riskienarviointimenetelmäksi. FMEA-analyysit voidaan jakaa useaan eri kategoriaan, mutta vaiheet ja suoritustapa niissä on samat. Kaksi yleisimmin käytettyä analyysia ovat Design-FMEA ja Process-FMEA. (Dale et al. 2013, s. 425-426.) FMEA:n perusvaiheet ovat:

- Kirjoita ylös yleiset tiedot liittyen projektiin
- Kuvaa analysoitavan prosessin tai tuotteen toiminnot
- Tunnista mahdolliset häiriöt
- Kuvaa vian vaikutukset
- Arvioi virheen vakavuus (Severity, S)
- Arvioi virheen esiintyvyys (Occurance, O)
- Arvioi virheen todennäköisyys (Detection, D)

- Laske riskiluku $RPN=S \cdot O \cdot D$ (Risk Priority Number)
- Kehitä korjaavat toimenpiteet merkittävimmille riskeille
- Arvioi riski uudelleen (John et al. 2008, s. 126-127.)

Virheiden vakavuus, esiintyvyys ja todennäköisyys arvioidaan numeroasteikolla 1-10. Numero 1 tarkoittaa esimerkiksi vakavuuden kohdalla sitä, että sillä ei ole vaikutusta tuotteeseen/henkilöön/ulostuloon, kun taas numero 10 tarkoittaa sitä, että virhe voi aiheuttaa vakavia ongelmia tuotteeseen tai henkilöön sekä sillä on erittäin suuri vaikutus ulostuloon. Lyhyesti sanottuna, FMEA on työkalu, jolla dokumentoidaan tavat, jolla prosessi tai tuote voi epäonnistua täyttämästä asiakasvaatimuksia. XY-matriisissa suurimmat priorisoidut luvut saaneet muuttajat voidaan analysoida FMEA-analyysin avulla. Tällöin saadaan FMEA-analyysin priorisoitu järjestys, joka voi poiketa merkittävästi XY-matriisin antamasta järjestyksestä. (Karjalainen 2017.)

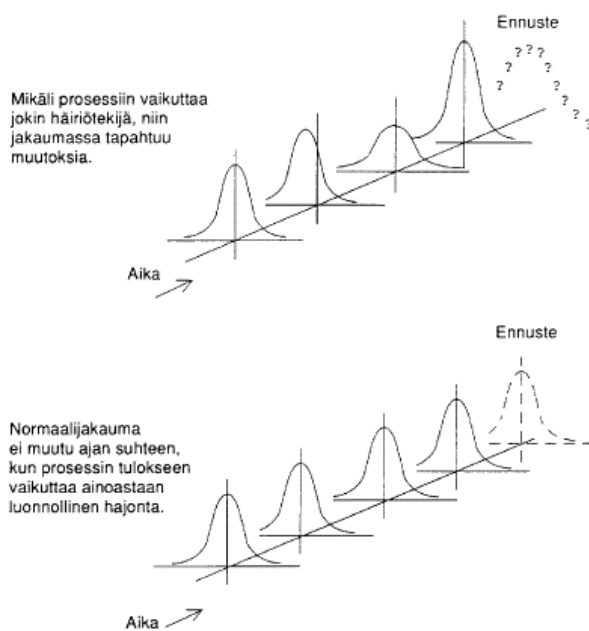
3.6 SPC

SPC:n eli Statistical Process Controlin (Tilastollinen prosessin ohjaus) kehitti W. A. Shewhart vuosina 1925-31 Bell Telephone laboratoriossa Yhdysvalloissa. Hän julkaisi vuonna 1931 ”Economic Control of Quality of Manufactured Product”-kirjan, jossa hän esitteli tilastollisten menetelmien hyväksikäyttöä tuotantoprosessissa. ”Laatu ja tuottavuus nousevat, kun hajonta pienenee”, oli hänen perusajatuksensa. Englannissa aloitettiin virallinen koulutusohjelma W. Edwards Demingin ja Shewhartin johdolla toisen maailman sodan aikana. SPC:ssä sana statistical (tilastollinen) tarkoittaa tietojen keräämistä sekä niiden käsittelyä ja analysointia. Sana prosessi tarkoittaa sisään tulevien materiaalien, toimintojen, menetelmien, jne. muuttamista tuotteeksi, palveluksi, tiedoksi tai yleisesti tavoitteeksi. Ohjaus tarkoittaa prosessista kerätyistä mittaustuloksista laskettujen tilastollisten tunnuslukujen avulla tapahtuvaa prosessin valvontaa ja ohjausta. SPC ymmärretään usein pelkästään tilastollisten menetelmien hyödyntämisenä prosessien valvonnassa ja ohjauksessa, ja tämän seurauksena sen käyttö rajoittuu usein pelkästään valvontakorttien käyttöön. Valvontakorttien avulla kyetään kuitenkin todentamaan vain se, että onko prosessi tilastollisesti hallinnassa ja muuttuuko se ajan suhteen. Jotta voidaan määrittää prosessin muutosten syyt eli miksi prosessi ei ole hallinnassa, tarvitaan kuitenkin monia muita menetelmiä. SPC:n perusajatuksena on seurata systemaattisesti prosessin kehittymistä ja vähentää sen vaihtelua. (Lähtenmäki & Leiviskä 1998, s. 2-3.)

SPC:n avulla voidaan saavuttaa seuraavia hyötyjä:

- Prosessin muutokset havaitaan nopeasti, jolloin saadaan nopeat korjaustoimenpiteet
- Löydetään helposti kriittiset korjaustoimenpiteitä vaativat kohteet
- Prosesseille saadaan yhtenäiset laatumittarit
- Opitaan tuntemaan prosessit paremmin
- Ihmiset saavat suoraa palautetta omasta työstään (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, s. 11.)

Mittaustulokset muodostavat normaalijakauman, jos mikään ulkopuolinen häiriötekijä ei vaikuta tuotantoprosessiin. Tällöin prosessi on hallinnassa ja siihen vaikuttaa vain prosessin oma luonnollinen hajonta, eikä mikään systemaattinen häiriötekijä (erityisyys). Yleisesti voidaan todeta, että erityisyyttä, jotka voidaan paikallisesti korjata, on 5–15 % ja yleisiä syitä, jotka voidaan korjata systeemitasolla, on 85–95 %. Mikäli prosessiin vaikuttaa jokin ulkopuolinen tekijä, jakaumassa tapahtuu muutoksia. Seuraamalla prosessia tilastollisia menetelmiä hyväksikäyttäen, voidaan havaita ajoissa muutoksia, mikäli jokin häiriötekijä (erityisyys) alkaa vaikuttamaan prosessiin. Ennen kuin prosessi alkaa tuottamaan virheellistä tuotetta, häiriötekijä voidaan korjata. Kuvassa 13 on havainnollistettu kyseistä asiaa. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, s. 4.)



Kuva 13. Prosessin tilan ennustaminen normaalijakauman avulla (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, s. 5).

Yleensä tuotantoprosessissa valmistettaville tuotteille tai palvelulle on määritetty spesifikaatorajat (toleranssit), jotka pitää täyttää, jotta tuote tai palvelu olisi hyväksyttävää. Mikäli spesifikaatorajojen määrittämä toleranssialue on huomattavasti pienempi kuin prosessin luonnollinen hajonta (keskihajonta, standardipoikkeama), on vaarana virheellisten osien tai palveluiden syntyminen. Jos taas prosessin luonnollinen hajonta on toleranssialueeseen nähden pieni, vaaraa virheiden syntymiseen ei ole. Prosessista voi valmistua virheellisiä tuotteita, vaikka se olisi hallinnassa ja päinvastoin. Valvontarajojen avulla voidaan nähdä, onko prosessi hallinnassa vai ei ja spesifikaatorajojen avulla määritellään, onko tuote tai palvelu virheellinen. (Lähtenmäki & Leiviskä 1998, s. 5.)

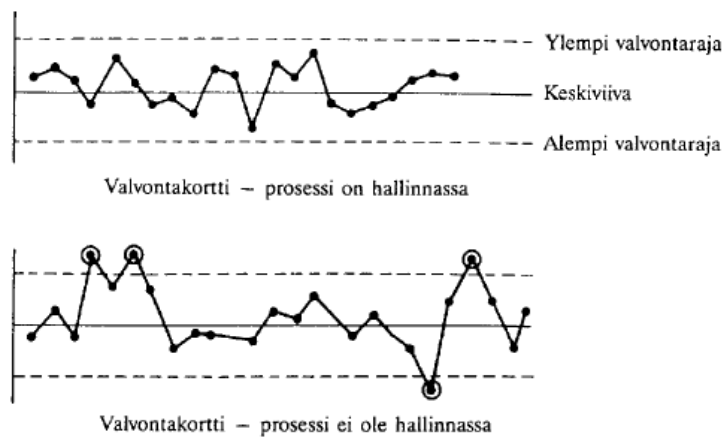
Prosessille tai tuotantokoneelle voidaan laskea laaduntuottokykyindeksi. Se saadaan laskettua vertaamalla prosessin tai koneen suorituskykyä asetettuihin toleranssirajoihin. Laaduntuottokykyä merkitään C_p tai C_{pk} -indeksillä. C_p -indeksillä verrataan prosessin hajontaa toleranssialueeseen, mutta ei huomioida keskiarvon sijaintia. C_{pk} -indeksillä voidaan huomioida myös keskiarvon sijainti eli jakauman sijainti toleranssialueeseen nähden. (Lähtenmäki & Leiviskä 1998, s. 7.)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (5)$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right] \quad (6)$$

Yhtälöissä 5 ja 6 USL on ylempi spesifikaatoraja, LSL on alempi spesifikaatoraja, \bar{X} on jakauman keskiarvo ja σ on standardipoikkeama. Prosessin suorituskyky C_p määritellään toleranssialueen suhtena kuuden standardipoikkeaman mittaan. Prosessin suorituskykyä voidaan pitää riittävänä, kun C_p on suurempi kuin 1. Yleisenä sääntönä voidaan kuitenkin pitää, että suorituskyky tulisi olla vähintään 1,33, jotta mahdollistetaan jakauman vähäinen liikkuminen toleranssialueella ilman, että syntyy heti virheellisiä tuotteita. Vaikka C_p olisi suurempi kuin 1, se ei takaa, että prosessi tuottaa virheettömiä tuotteita. Prosessin keskiarvon tulisi sijaita keskellä toleranssialuetta, ettei jakauman toinen laita sijaitisi toleranssialueen ulkopuolella. C_{pk} -indeksi huomioi myös keskiarvon, jolloin sen käyttö on monessa järkevämpää. (Lähtenmäki & Leiviskä 1998, s. 7-8.)

SPC:n tärkein työväline on valvontakortit. Niiden avulla valvotaan ja seurataan prosessia. Valvontakortteja on kahden tyyppisiä, mitattavien suureiden valvontaan tarkoitettut kortit ja attribuuttikortit (On/Ei). Mitattava suure voi olla esimerkiksi mitta, paino, lämpötila tai aika. Mitattavien suureiden valvontakortin perusajatuksena on prosessista otettujen näyte-erien perusteella piirtää käyrä, jonka avulla valvotaan prosessin tilaa. Valvontakortteihin asetetaan valvontarajat yleensä kolmen sigman (standardipoikkeaman) etäisyydelle keskiarvosta. Mikäli jokin valvontakäyrän piste on valvontarajan ulkopuolella, syynä on yleensä jokin häiriötekijä. Kuvassa 14 on esitetty esimerkki valvontakortista. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, s. 7-8.)



Kuva 14. Esimerkki valvontakortista (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, s. 25).

Näitä häiriötekijöitä kutsutaan erityisyyiksi. Tyypillisiä erityisyyitä voi olla seuraavat:

- Raaka-aineen muutos
- Muutos koneen asetuksissa
- Rikkinäinen työkalu
- Laitteiden puhdistamatta tai huoltamatta jättäminen
- Laiteviat
- Väärien tietojen syöttäminen (Dale et al. 2013, s. 447.)

Satunnaissyyt ovat taas niitä syitä, jotka aiheuttavat prosessin luonnollista vaihtelua. Satunnaissyyt ilmestyvät monista eri lähteistä ja niitä on usein vaikea identifioida. Tyypillisiä satunnaissyyitä voivat olla:

- Huonosti huolletut koneet

- Huono valaistus
- Huono työaseman layout
- Huonot työohjeet
- Huono valvonta/työnjohto
- Materiaalit ja laitteet eivät sovellu vaatimuksiin (Dale et al. 2013, s. 448.)

I-mR -ohjauskortti on yksittäisen havainnon ja liukuvan vaihteluvälin perusohjauskortti (Individuals and Moving Range). Korttia käytetään, kun looginen näytekoko on yksi. I-mR -ohjauskorttia käytetään esimerkiksi silloin, kun tutkitaan tuotteiden läpimenoaikoja (LT), läpimenoa (TH) tai varastotasoja (WIP) valitulla tarkastusvälillä. Ohjauskorttia on käytetty perinteisesti tuoteominaisuuksien tai prosessin parametrien ohjauksessa ja valvonnassa. Havaintojen perusteella lasketaan matemaattisella kaavalla ohjausrajat, jotka kuvaavat prosessin luonnollista systeemiperusteista vaihtelua. Tämän jälkeen havainnot sijoitetaan ohjauskorttiin ja arvioidaan prosessin käyttäytymistä. I-mR -ohjauskortin avulla voidaan arvioida tutkittavan suuren keskiarvoa ja ennustettavuutta. Mikäli arvot ovat ohjausrajojen sisäpuolella, voidaan olettaa prosessin olevan ennustettava. (Piirainen 2014, s. 55-56.)

3.7 Design of Experiments (DOE)

Koesuunnittelu (DOE) on systemaattinen menettelytapa, jolla voidaan tutkia prosessissa vaikuttavien tekijöiden ja ulostulon välisiä riippuvuussuhteita minimaalisella määrällä kokeita (John et al. 2008, s. 185). Tavoitteena on löytää tärkeimmät vaihtelun lähteet ja määrittää niiden vaikutus ulostuloon. Havainnointitutkimuksessa tutkitaan yleensä, miten prosessin muuttujat vaikuttavat ulostuloon ja mitä tapahtuu. Koesuunnittelussa sen sijaan ohjataan prosessin muuttujia ja asetetaan niille arvoja ja aktiivisesti muutetaan prosessia, jota tutkitaan. (Karjalainen 2007.)

Teollisen koesuunnittelun on aloittanut R. A. Fisher 1920-luvulla ja se on perustunut maataloudessa ja lääketieteessä suoritettuun kehitystyöhön. Myöhemmin eri aloilla ja alueilla tehtävät kokeet ja kokeiden tavoitteet, painotukset ja rakenteet ovat eriytyneet ja voidaankin selvästi erottaa neljäntyyppisiä kokeita:

1. Tutkimus- ja tiedeympäristön kokeet
2. Maa- ja metsätalouden kokeet
3. Lääketieteelliset kokeet

4. Teollisuuskokeet (Karjalainen 1992, s. 9.)

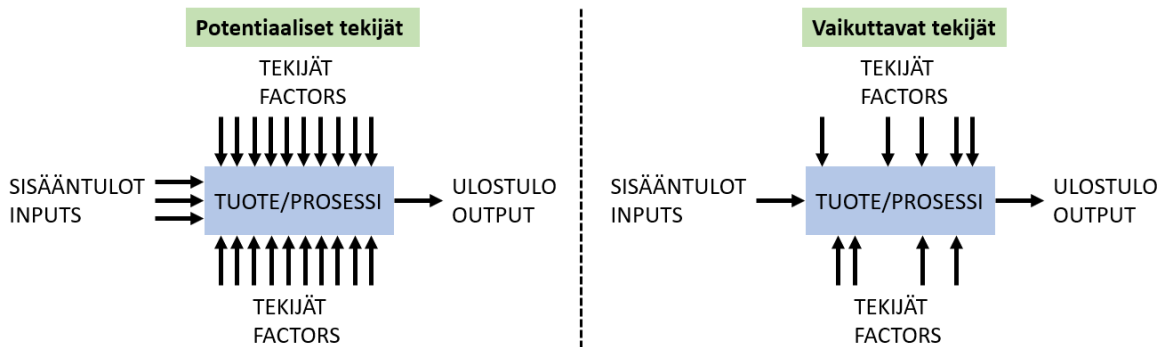
Jokainen edellä mainittu koetyyppi sisältää omia erityispiirteitä. Teollisen kokeen erityispiirteitä ovat seuraavat:

- Kokeessa pystyttävä erottelemaan vaikuttavat ja ei-vaikuttavat tekijät
- Käsiteltävä suuria määriä tekijöitä (>50) ja suurta määrää vasteita (>10)
- Tulosten on oltava ymmärrettäviä
- Tulosten on oltava sellaisia, että ne voidaan kertoa organisaatiossa
- Koe ja analyysi eivät saa viedä liian paljon aikaa
- Analyysien pitää pystyä poimimaan tuloksista oleellinen tieto (Karjalainen 1992, s. 9.)

Teollisessa kokeessa kokeen suunnittelu, suorittaminen ja analysointi vaikuttavat myös itse lopputulokseen. Mikäli tavoitteena on pienentää materiaalihukkaa, tutkitaan vain niitä asioita, joiden uskotaan vaikuttavan siihen, eikä tutkita niitä tekijöitä tai muuttujia, jotka lisäävät prosessin tehokkuutta. (Karjalainen 1992, s. 9-10.)

Koesuunnittelu tyyppejä on monia erilaisia. Kokeet jaetaan tyypillisesti yksimuuttujakokoisiin (OFAT), haravointikokeisiin (screening), karakterisointikokeisiin (characterization) ja optimointikokeisiin (optimizing). Haravointikokeet ovat moninkertaisesti tehokkaampi vaihtoehto perinteisille yksitekijäkerralla muuttamistekniikalle. Tehokkuus tässä tarkoittaa sitä, että kokeita voidaan suorittaa suuri määrä pienellä määrällä testiajoja. Haravointikokeilla saadaan selvitettyä suhteellisen nopeasti ja usein suhteellisen edullisesti se, mitkä tekijät vaikuttavat ulostuloon eniten. Kun prosessiin halutaan hakea vielä optimaalista toimintakohtaa, tällöin tarvitaan vielä monimutkaisempia optimointikokeita. (Karjalainen 2007.)

Perinteinen teollisuuskoe voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen, identifioi potentiaaliset tekijät, erottele ei-vaikuttavat tekijät pois ja tutki vaikuttavia tekijöitä. Identifioimalla potentiaaliset tekijät tarkoitetaan sitä, että ideoidaan kaikki tekijät, joita muuttamalla voidaan vaikuttaa ulostuloon. Tämän jälkeen erotellaan ne tekijät, jotka vaikuttavat ja ne, jotka eivät vaikuta ulostuloon (Kuva 15). Kolmantena vaiheena tutkitaan vaikuttavia tekijöitä ja niiden tasoja sekä haetaan tekijöille optimiarvot. (Karjalainen 1992, s. 19-20.)



Kuva 15. Potentiaaliset tekijät ja vaikuttavat tekijät (Karjalainen 1992, s. 19).

Koesuunnittelumenetelmiä tai luokkia on kehitetty vuosien saatossa monia erilaisia. Näitä menetelmiä ovat mm. Taguchi, Blackett-Burman ja Definitive Screening Designs (DSD). Taguchin screening menetelmä yleistyi länsimaissa ja Suomessa jo 1980-luvulla. Erotteleva-/Haravointikoe (screening) on yksi tehokkaimmista tavoista rationaalisesti erotella tekijöitä, jotka vaikuttavat prosessin tai tuotteen ulostuloon. Koesuunnittelusta käytetään monia eri nimiä ja lyhenteitä, kuten testiympyrä, koeympyrä, Demingin ympyrä, PDCA, PDSA, laatuympyrä, DOE, Design of Experiments, Taguchi jne. Näille kaikille nimille on kuitenkin yhteistä ”tieteellinen metodi” eli empirismi. Päätely tai olettaminen ilman koetta/testiä ei vie huippulaatuun. (Karjalainen 2007.)

DSD, joka voidaan suomentaa vaikkapa ”Ratkaisevat erottelevat suunnitelmat”, on uusin koesuunnitelma luokka. Tohtori Bradley Jones ja professori Chris Nachtsheim esittelivät vuonna 2011 uuden kolmitasoisten suunnitelmien luokan (DSD). Tämä alkuperäinen suunnitelma ei ollut kuitenkaan ortogonaalinen päätekijöiden osalta. Jones ja Nachtsheim viimeistelivät vuosina 2013 ja 2015 koesuunnitelman valmiiksi. DSD on käytettävissä Minitabin 18 versiossa. Minitab on ohjelmisto, joka on kehitetty tietojen tilastollista analysointia varten. Blackett-Burmanin suunnitelma sisältää tekijät vain kahdella tasolla, kun taas DSD:ssä suunnitelmat ovat kolmella tasolla. Tämä tuo suunnitelmien välillä sen eron, että käytettäessä Blackett-Burmanin suunnitelmaa, vaaditaan usein vielä optimointilisäkokeet. Toisaalta, DSD suunnitelma edellyttää useampia testiajoja enemmän kuin Blackett-Burman suunnitelmalla. Minitabin Assistantilla Blackett-Burmanin suunnitelma on helposti käytettävissä ja se ohjeistaa toteuttamaan kahden tai kolmen kokeen perättäiset sarjat. (Karjalainen 2007.)

4 JAUHEMAALAAMON NYKYTILA

Tässä luvussa käsitellään Vilakoneen jauhemaalaaamon nykytilaa. Nykytilan ymmärtäminen ja selkeän kokonaiskuvan hahmottaminen maalausprosessista on erityisen tärkeää, jotta voidaan lähteä kehittämään parannustoimenpiteitä. Tämä tutkimus toteutettiin Lean Six Sigma -työkalujen avulla. Toteutuksessa käytetään DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmää, joka tuo Lean Six Sigma-projektiin järjestelmällisen tavan ratkaista ongelmia. DMAIC-menetelmän kolme ensimmäistä vaihetta on kuvattu tässä luvussa.

4.1 Ongelman kuvaus (Define)

DMAIC-menetelmän ensimmäinen vaihe onkin määrittellä ongelman kuvaus. Tämän projektin ongelma määritettiin jo alkuvaiheessa, kun lähdettiin miettimään tutkimuksen aihetta, jolla voidaan parantaa Vilakoneen asiakastoimitusvarmuutta. Wille ympäristöhoitokoneiden kokoonpanon valmistus alkaa maalausprosessista (Kuva 16). Ongelmana on useasti ollut, että kokoonpano ei ole voinut aloittaa omaa työtään suunniteltuna ajankohtana, koska maalattuja runkoja ei ole ollut saatavilla tai runkoja on maalattu väärässä järjestyksessä. Tämä on taas aiheuttanut toimitusvarmuuden heikentymistä.



Kuva 16. Wille ympäristöhoitokoneen valmistusprosessi.

Toinen ongelma maalatuissa komponenteissa on ollut tekninen laatu. Kokoonpano tai mahdollisesti lopputarkastus on havainnut välillä laatuvirheitä, jotka ovat aiheuttaneet viivästyksiä koneiden toimituksiin. Maalattujen pintojen korjaaminen kokoonpanovaiheessa tai jopa valmiissa koneessa lisää myös aina laatukustannuksia. Nämä ongelmat ovat pääosin jakautuneet kahteen eri kategoriaan, tarttuvuus- ja visuaalisiinvirheisiin.

Projektitiimin kasauksessa pyrittiin löytämään mahdollisimman laaja katsontakanta. On erittäin tärkeää tämän kaltaisissa projekteissa, että ei lähdetä tutkimaan ja toteuttamaan mitään toimenpiteitä yhden henkilön voimin. Tämän takia tutkimuksen projektitiimiin

valittiin mukaan tuotannosuunnittelija, maalaamon työnjohtaja, laatukoordinoija sekä maalaamon teknisen puolen tunteva kunnossapitoasentaja.

4.2 Maalausprosessi

Vilakoneella maalataan Wille-monitoimikoneiden teräsrakenteita sekä siihen liittyviä lisälaitteita jauhemaalilla. Maalaamossa maalataan myös märkämaalilla sylintereitä ja muita osia, joita ei voida syystä tai toisesta maalata jauhemaalilla. Märkämaalaus on kuitenkin rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Vuonna 2017 Vilakone Oy tutki eri jauhemaaliyhdistelmien korroosionkestoja ja päätyi valitsemaan maalausjärjestelmän jauhemaaleiksi Teknoksen Infralit EP/PE 8086-05 ZINC (pohja) ja Teknoksen Infralit PE 8350-15 (pinta). Tällä maaliyhdistelmällä saavutettiin standardin ISO 12944 rasiusluokan C5-M (M) mukaiset vaatimukset.

Vilakoneen maalausprosessi koostuu viidestä päävaiheesta, jotka ovat rasvanpoistopesu, raekuulapuhallus, konversiopinnoitus, pohjamaalaus ja pintamaalaus. Päävaiheet pitävät sisällään muita pienempiä työvaiheita, joita käsitellään myöhemmin. Nykyaikaisessa maalauslinjassa kappaleet voidaan esikäsitellä ja maalata samalla ripustuskerralla. Vilakoneen maalausprosessissa tämä ei kuitenkaan toteudu, vaan kappaleita on ripustettava moneen kertaan eri vaiheiden aikana. Ensimmäiseksi maalattaville teräspinnoille suoritetaan rasvanpoistopesu maalinvalmistajan ohjeiden mukaisesti. Pesu suoritetaan käyttämällä liuotin-, pesuainetta ja painepesuria. Pesun tarkoituksena on poistaa mahdollinen rasva teräsrakenteen pinnoilta, ennen raekuulapuhallusta. Rasvanpoistopesu on todella tärkeä työvaihe, jotta raekuulapuhallus ei työnnä teräksen pinnoille jäänyttä rasvaa syvälle teräksen huokosiin. Tällöin vaarana on rasvan nouseminen pintaan maalin uunitusvaiheessa aiheuttaen ongelmia maalin tarttuvuuden kanssa.

Raesuihkupuhdistus suoritetaan standardin ISO 8501-1 mukaisesti ja teräksen suihkupuhdistus aste on vähintään Sa 2 ½. Ennen raesuihkupuhallusta mahdolliset ruostekerrokset poistetaan. Käytännössä tämä tapahtuu jo hitsaamon puolella. Kaikille kappaleille ei voida kuitenkaan suorittaa raesuihkupuhdistusta, koska kappaleet ovat liian ohuita materiaalin paksuuden osalta ja näin ollen ne eivät pysy muodossa raekuulien voimasta. Raekuulapuhdistus jätetään tällöin suorittamatta.

Raesuihkupuhdistuksen jälkeen kappaleille suoritetaan konversiopinnoitus kammiopesukoneella. Pienemmät kappaleet laitetaan pienempään kammiopesukoneeseen ja suuremmat rungot isompaan kammiopesukoneeseen. Konversiopinnoituksen ensimmäisenä vaiheena on suorittaa kappaleille rasvanpoistopesu. Tämän jälkeen kappaleille suoritetaan konversiopinnoitus, jonka tarkoituksena on luoda vahva zirkonumpohjainen tartuntakerros maalipinnalle.

Konversiopinnoituksen jälkeen maalattaviin kappaleisiin asennetaan mahdolliset maalausuojat ja ne ripustetaan maalauslinjalle. Tästä kappaleet jatkavat matkaa kohti pohjamaalaukammiota. Pohjamaalaukammiossa kappaleiden pintaan levitetään staattisella ruiskulla jauheen muodossa olevaa maalia. Kemiallisesti kovettuvan pohjajauhemaalain sideaineena käytetään epoksipolyesteria. Maali pitää sisällään myös sinkkiä, joka parantaa entisestään maalin korroosiokestoja. Pohjamaalauksen jälkeen kappaleet matkaavat kohti polttouunia, jossa jauhe sulaa ja polymeroituu maalikalvoksi. Pohjamaali jätetään kuitenkin tässä kohtaa hieman ”raa’aksi”, jotta varmistetaan pintamaalin hyvä tarttuvuus.

Maalivalmistajan ohjeiden mukaisesti pintamaalaus voidaan suorittaa kappaleille, kun ne ovat jäähtyneet alle 70 °C. Mikäli kappale on lämpimämpi kuin 70 °C, sulaa pintamaali maalattavan kappaleen pintaan jo heti levitysvaiheessa ja aiheuttaa epätasaisen pinnan. Kun pintamaalijauhe on levitetty kappaleisiin, siirtyvät ne polttouuniin. Tässä kohtaa kappaleen pintaan muodostuu lopullinen maalikalvo. Kappaleet jäähtyvät vielä jonkin aikaa ennen kuin ne saavuttavat riittävän pintakovuuden.

4.3 Mittaus (Measure)

Lean Six Sigman mittausvaiheessa on tarkoituksena tunnistaa nykyinen toimintatapa ja mitata nykytilanne. Toimenpiteiden vaikutusta joko parempaan tai huonompaan suuntaan on vaikea nähdä, mikäli alkutilannetta ei tiedetä tarkalleen. Tässä osiossa kuvataan, mitä tietoa on kerätty ja miten.

4.3.1 Maalaamon ohjaus

Arvovirtakuvauksella kuvattiin Vilakoneen jauhemaalauksen prosessivaiheet, yhteydet, varastojen määrät ja prosessien ajat yhdelle lomakkeelle. Arvovirtakuvaus kertoo tilanteen

aina yhden päivän osalta. Kuvaus toteutettiin Minitab Companion -ohjelmistolla. Minitab Companion sisältää kattavan valikoiman Lean Six Sigma kehitysprojekteissa käytettäviä työkaluja. Arvovirtakuvauksen tarkoituksena on tunnistaa prosessin nykytaso, jotta osataan kohdistaa toimenpiteet oikeisiin kohtiin. Yleisesti voidaan myös olettaa, että mikäli prosessia ei ole kuvattu, niin emme todellisuudessa tiedä mitä siinä tapahtuu. Jos emme tiedä, mitä prosessissa tapahtuu, niin emme voi myöskään kehittää sitä. Nykytilan kuvaus toteutettiin 6.2.2020 projektiryhmän toimesta ja se on esitetty liitteessä I.

Vilakoneen Wille ympäristönhoitokoneet ja suurin osa siihen kuuluvista lisälaitteista valmistetaan tilauksesta (Make-to-Order, MTO). Runkovalmistus valmistaa kuitenkin rungot puolivalmiina varastoon (Make-to-Stock, MTS). ERP-järjestelmän MRP-ohjaus ohjaa runkovalmistuksen tuotantotilauksia perustuen asiakastilauksiin ja myyntiennusteisiin. Lisälaitteiden runkovalmistuksen viimeisenä vaiheena on usein maalaus, koska runkojen värit ovat vakiot. Wille ympäristönhoitokoneiden valmistus alkaa kuitenkin maalauksesta, koska asiakas voi halutessaan valita minkä tahansa värin RAL-värikartastosta.

Arvovirtakuvauksesta havaittiin selkeästi se, että keskeneräistä työtä ei rajoitettu missään prosessin vaiheessa. Maalausprosessin alkuvaiheessa oli yli 50 erilaista komponenttia, jotka jonottivat maalausprosessin ensimmäiseen vaiheeseen. Tämän takia käytävät ”pursuavat” runkovalmistuksesta tulevista komponenteista (Kuva 17). Osa käytävillä olevista rungoista on ollut siellä jo useita kuukausia. Maalaamon henkilöstö tai työnjohto ei osannut kertoa, miksi näitä runkoja on valmistettu niin paljon ja onko ERP-järjestelmä ylipäänsä ohjannut niiden valmistusta. Willen kokoonpano oli kuitenkin myöhässä alkuperäisestä suunnitelmasta tällä hetkellä n. 15 päivää. Koska ERP-järjestelmä ei tiedä kokoonpanon tilaa todellisuudessa, työntää se tuotantotilauksia runkovalmistukseen kuitenkin suunnitelman mukaisesti. Selvää on kuitenkin se, että kun käytäville alkaa runkoja kerääntymään, ei FIFO-ajattelu ainakaan toteudu. Yleinen kommentti myös maalaamohenkilöstöltä oli se, että aina puuttuu jotain komponentteja, joka aiheuttaa sen, että he eivät pääse maalaamaan koko tuotantotilauksen komponentteja kerralla.

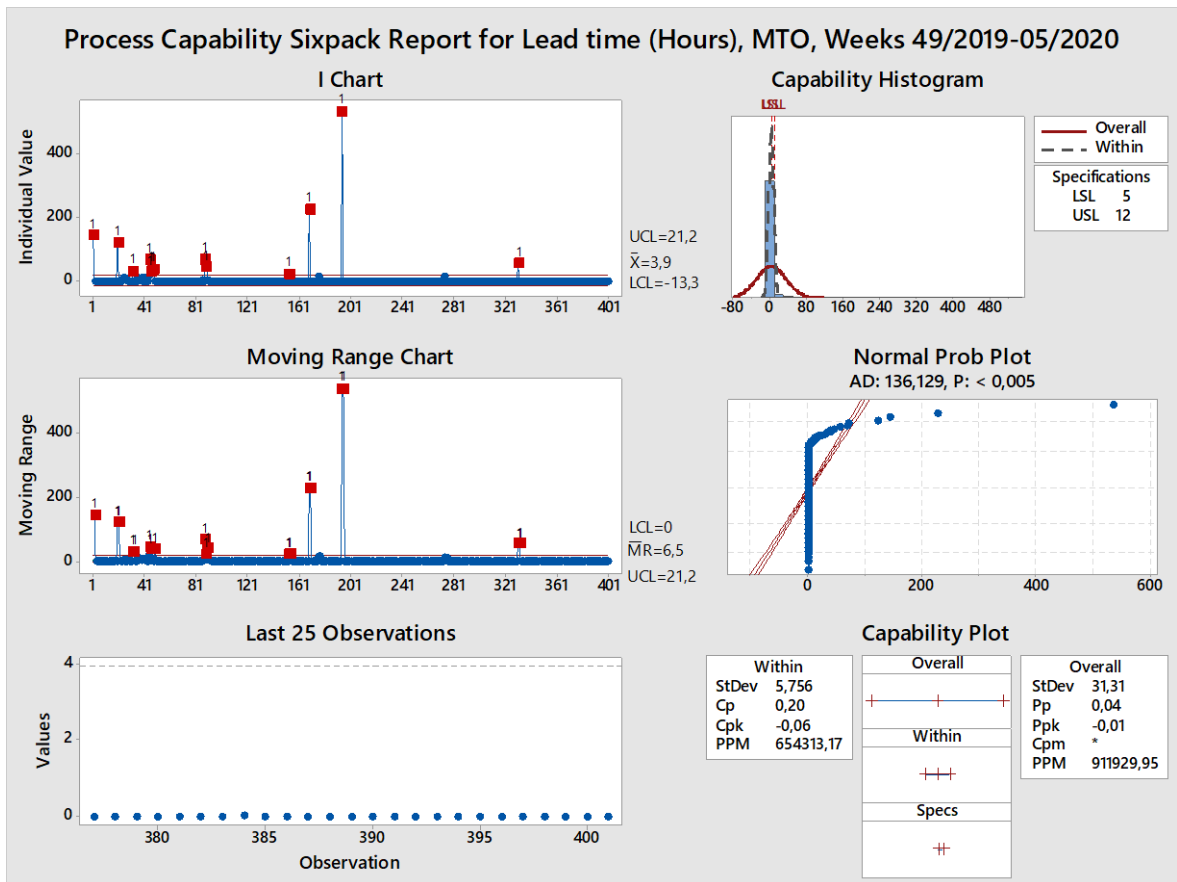


Kuva 17. Käytävillä paljon runkoja.

ERP-järjestelmästä saatiin kerättyä tuotantodataa, josta tutkittiin maalaamon läpimenoaikoja, läpimenoa ja toimitusvarmuutta. Tieto rajattiin viikoille 49/2019-05/2020. Kuvan 18 histogrammissa nähdään, että maalattujen MTO tuotteiden läpimenoajassa on paljon vaihtelua. Suurin ”piikki” osuu kuitenkin 0 tunnin kohdalle ja tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että maalaustyö on aloitettu ja lopetettu käytännössä samaan aikaan ERP-järjestelmässä. Myös I- ja mR-kaaviot kuvaavat hyvin vaihtelua ja paljonko datassa on ns. erityisyyttä. Laaduntuottokykyä merkitään C_p tai C_{pk} -indeksillä. Minitabilla tuotettu suorituskykyanalyysissä (Kuva 18) nämä indeksit ovat kuitenkin merkitty P_p ja P_{pk} -indekseillä. Minitabin P_p ja P_{pk} -indeksit huomioivat koko datan variaation (kokonaisstandardipoikkeama), kun taas C_p tai C_{pk} -indeksit huomioivat vain alaryhmien keskiarvovariaation (Minitab Blog Editor 2016). Lähtötilanne laaduntuottokyvyllä P_p on siis 0,04, joka on erittäin huono. Laaduntuottokykyanalyysiin on asetettu alemmaksi speksirajaksi 5 h ja ylemmäksi speksirajaksi 12 h. Nämä rajat tulevat siitä, kun maalattavien kappaleiden teoreettinen läpimenoaika on n. 8 h. Kuvan 18 ”Normal Probability Plot”-kuvaajasta nähdään myös, että data ei ole normaalijakautunutta, koska sen p-arvo on alle 0,05. Myös maalaamon läpimenoajan vaihtelukerroin voidaan laskea, kun tiedetään keskiarvo ja standardipoikkeama. Tässä tapauksessa vaihtelukerroin on

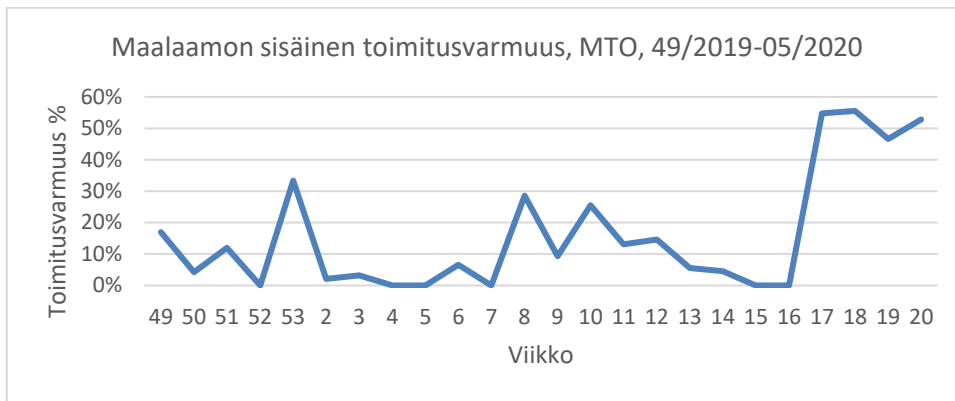
$$COV_{LT} = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{31,31}{3,9} = 8,028$$

COV-vaihtelukerroin voidaan esittää vielä prosentteina kertomalla luku sadalla. Näin ollen saadaan vaihtelukerroinprosentiksi 803 % viikoille 49/2019-05/2020.



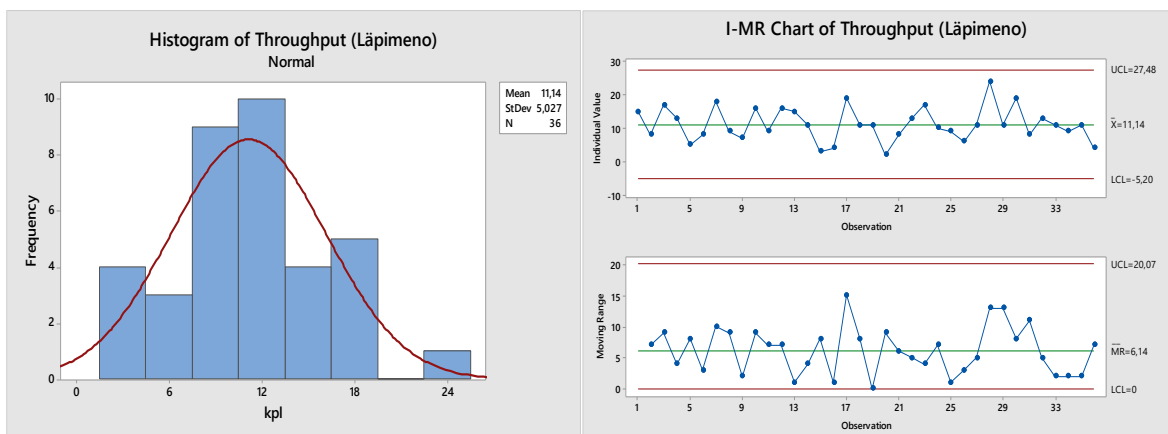
Kuva 18. Prosessin kyvykkyysraportti, läpimenoaika viikoilla 49/2019-05/2020.

Tutkimuksen toinen tärkeä mittari on maalaamon toimitusvarmuus. Tuotantosuunnitelmassa SAP ajoittaa reitillä olevien operaatioiden alkamis- ja loppumisajat. Toimitusvarmuudella tarkoitetaan sitä, että miten hyvin maalaamo on tuotantosuunnitelmaan nähden kyennyt toimittamaan kyseisten viikkojen aikana maalattut komponentit seuraavaan operaation eli kokoonpanon aloitukseen. Mikäli kokoonpanon aloitus olisi esimerkiksi maanantaina klo 9.00 ja maalaamo toimittaa maalatun rungon tämän ajan jälkeen, on kyseisen maalatun rungon toimitusvarmuus 0 %. Mittarissa lasketaan kaikki ajoissa toimitetut rungot hyväksytyksi eli vaikka maalattu runko toimitettaisiin kuukauden verran ajoissa, on toimitusvarmuus tällöinkin 100 %. Kuvan 19 olevasta kaaviosta nähdään, että maalaamon toimitusvarmuus MTO-tuotteiden osalta on ollut erittäin heikko viikkojen 49/2019–5/2020 aikana.



Kuva 19. Maalaamon sisäinen toimitusvarmuus viikoilla 49/2019-05/2020.

Kolmas tuotannon ohjauksen kannalta olennainen mittari on läpimeno (TH). Siinä mitataan, montako kappaletta maalaamosta on valmistunut päivittäin. Tässä tilastossa on huomioitu vain MTO-tuotantotilaukset. Willejen asiakaskysyntä on pääosin 2 kpl päivässä. Koska yksi Wille pitää sisällään pääosin 6 kpl maalattavia pääkomponentteja, niin runkoja pitäisi maalata päivittäin 12 kpl sekä muuta pienempää tavaraa. Kuvassa 20 olevassa histogrammissa nähdään laajaa vaihtelua päivittäisten maalattujen komponenttien määrässä.



Kuva 20. Läpimenon (TH) histogrammi ja I-mR kaavio viikoilla 49/2019-05/2020.

Jonain päivänä oli tehty alle 6 runkoa ja jonain päivänä 24 runkoa. Keskiarvo on kuitenkin 11,14 kpl per päivä ja standardipoikkeama 5,027. Standardipoikkeama kuvaa tässä tapauksessa sitä, että odotettu päiväkohtainen valmistumismäärä vaihtelee keskimäärin 5 kappaletta keskiarvosta. Maalaamon läpimenon vaihtelukerroin voidaan laskea, kun tiedetään keskiarvo ja standardipoikkeama. Tässä tapauksessa vaihtelukerroin on

$$COV_{TH} = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{5,027}{11,14} \approx 0,45$$

Kertomalla vaihtelukerroin sadalla, saadaan vaihtelukerroinprosentiksi 45 %.

4.3.2 Maalauslaatu

Mittausosiossa lähdettiin kuvaamaan Vilakoneen maalausprosessia Quality Knowhow Karjalaisen prosessin räjäytyslomakkeet -Excel tiedostoon. Kyseinen tiedosto pitää sisällään Lean Six Sigma -projektissa tarvittavat työkalut. Tässä tutkimustyössä käytimme prosessikuvaus, XY-matriisi ja FMEA-työkaluja. Prosessikuvauksen tarkoituksena on selventää koko projektitiimille, miten maalausprosessi käytännössä toimii. Vilakoneen maalausprosessissa on 10 vaihetta. Nämä vaiheet on esitetty kuvassa 21.

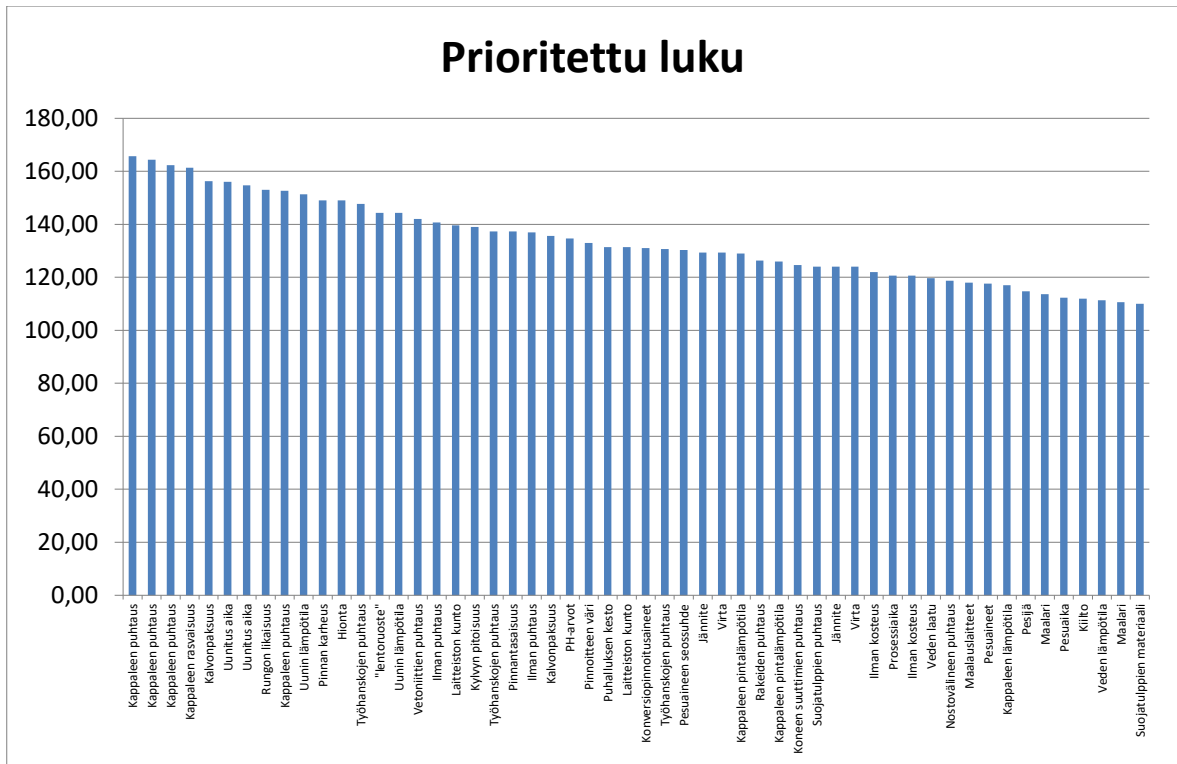


Kuva 21. Vilakoneen maalausprosessi.

Kun projektitiimi oli saanut maalausprosessin kuvattua, lähdettiin ideoimaan aivoriihen avulla mahdollisia muuttujia, jotka vaikuttavat maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaaliseen laatuun. Aivoriihessä on tarkoituksena ideoida mahdollisimman paljon erilaisia ideoita. Kritiikki on ehdottomasti kielletty ja tarkoituksena on rohkaista ryhmän jäseniä avoimeen ajatteluun. Käytimme n. 30 minuuttia aikaa ideoimiseen. Jokainen henkilö mietti omassa rauhassa muuttujia ja kirjasi ne post-it lapuille. Tämän jälkeen post-it laput liitettiin prosessin eri vaiheisiin. Jokaiselle muuttujalle määritettiin vielä muuttujatyyppejä, joka kertoo, onko muuttuja kohinaa (N), ohjattava (C), standardi menettelytapa (S) tai kriittinen tekijä (x). Prosessikuvaus muuttujineen on liitteenä II.

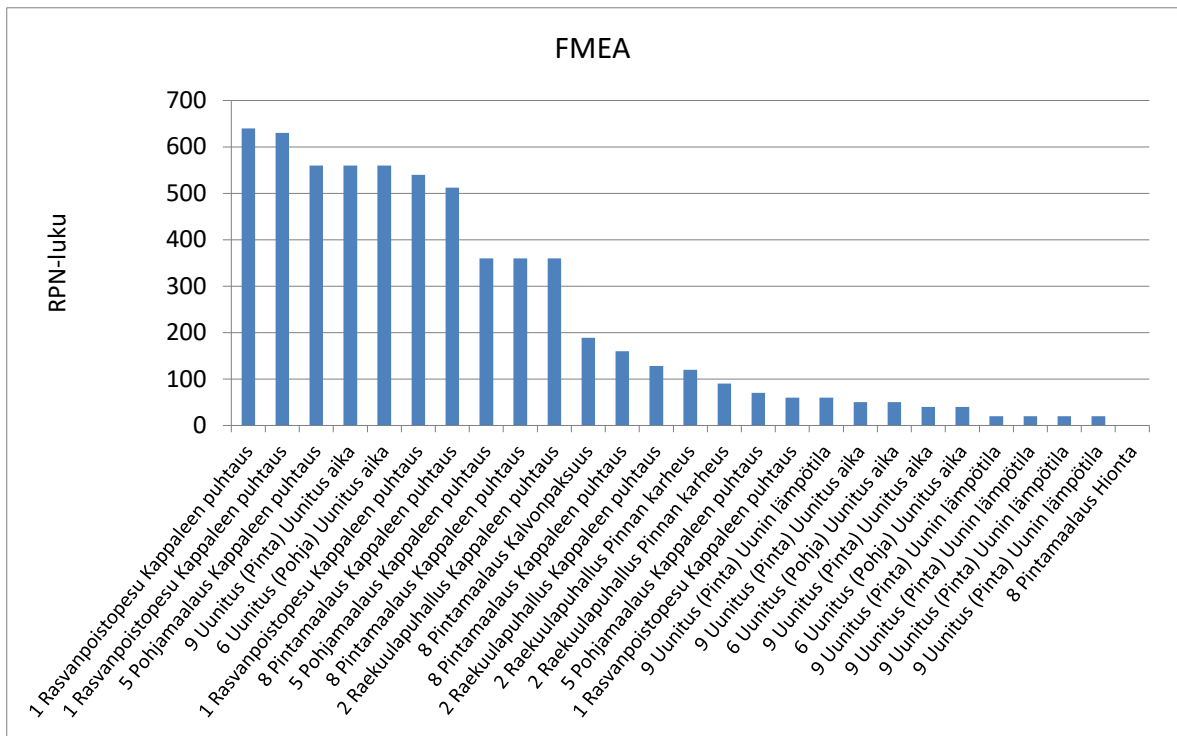
Muuttujia saimme ideoitu kaiken kaikkiaan 98 kpl. Vähentääksemme muuttujien määrää, tarvitsee niitä luokitella merkittäviin ja ei-merkittäviin tekijöihin. Toteutimme priorisoinnin XY-matriisin avulla. Siinä ulostulo Y:lle annetaan arvo 1-10 sen mukaan, miten halutaan painottaa niiden tärkeyttä. Tässä tutkimuksessa annoimme tarttuvuudelle arvon numero 10

ja visuaaliselle laadulle numeron 8. Tämän jälkeen jokainen projektitiimin henkilö arvioi jokaisen muuttujan, miten ne omasta mielestä vaikuttivat ulostuloihin. Näistä arvioista muodostettiin keskiarvo, joka syötettiin XY-matriisiin. Kuvassa 22 on esitetty XY-matriisin 54 tärkeintä muuttujaa. Muuttujien prosessivaiheet on jätetty kaaviosta selkeyden vuoksi pois ja ne ovat nähtävillä XY-matriisissa liitteessä III.



Kuva 22. XY-matriisin priorisoidut muuttujat.

XY-matriisissa eniten pisteitä saivat muuttujat ”kappaleen puhtaus” eri prosessivaiheissa sekä ”kappaleen rasvaisuus”, ”kalvonpaksuus” ja ”polttouunitusaika”. Kappaleiden puhtaus-muuttujat olivat odotetusti XY-matriisin kärkipaikoilla, koska yleisesti voidaan olettaa, että pyrittäessä hyvään maalipintaan, tulee kappale olla puhdas epäpuhtauksista. Noin 20 muuttujaa otettiin jatkokäsittelyyn FMEA lomakkeelle. FMEA:lla analysoitiin muuttujien eri vikatiloja ja ne pisteytettiin arvioimalla vikatilain RPN-luku (Risk Priority Number). RPN luvun määrittämiseksi kerrotaan virheen vakavuuden, esiintymisen ja löydettävyyden arvot keskenään. FMEA tulokset on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. FMEA kuvaaja.

FMEA-riskianalyysin ja XY-matriisin perusteella valitsimme 13 muuttujaa, jotka mielestämme vaikuttavat maalipinnan tarttuvuuteen tai visuaaliseen pinnanlaatuun. Testattavat muuttujat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Testattavat muuttujat tasoineen prosessin mukaisessa testausjärjestyksessä.

Nro	Muuttuja	Taso 1	Taso 2	Huomioitavaa
1	Roiskesuojaspray	Ei	Kyllä	
2	Rungon likaisuus rasvapoistopesu	Ei pesua	Pesu	Kappale joko pestään tai ei pestä
3	Raekuulapuhallus	Ei	Kyllä	
4	Sormenjälki	Ei	Kyllä	Kappaletta kosketaan paljain käsin
5	Kylvyn pitoisuus (PH)	3,8	6	
6	Puhtaat työhanskat	Ei	Kyllä	Kappaletta kosketetaan likaisilla hanskoilla (Ei)
7	Kunnollinen maadoitus	Ei	Kyllä	Maadoitetaan puhtaalla koukulla ja "maalatulla" koukulla
8	Pohja Kalvonpaksuus	40	100	
9	Pohja, pintalämpötila	80	120	
10	Jännite	50	70	
11	Virta	10	20	
12	Pinta Kalvonpaksuus	160	>300	
13	Pinta, pintalämpötila	140	180	Pidettävä uunissa 20 minuuttia

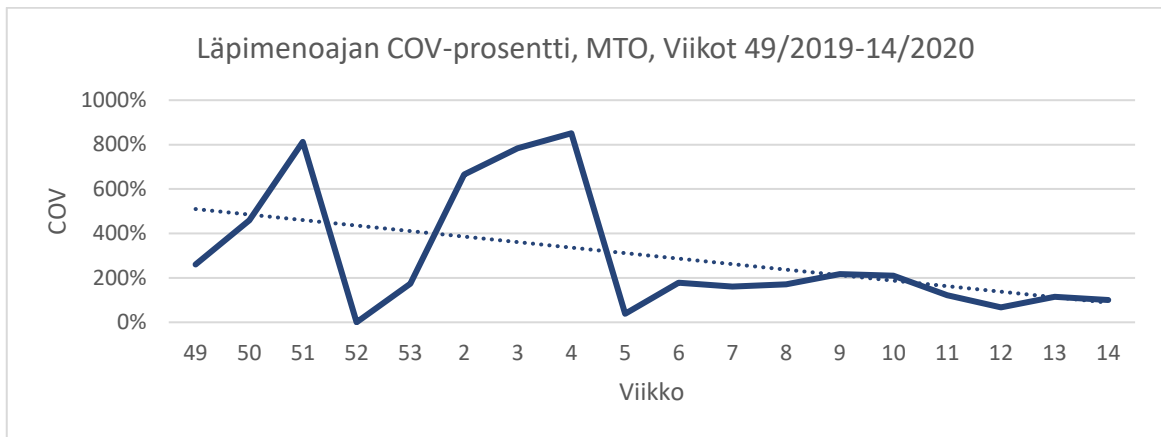
4.4 Analyysi (Analyze)

Lean Six Sigman analyysivaiheessa on tarkoituksena kerätä ja analysoida prosessista ja ongelmasta kerättyä tietoa ja dataa. Ajatuksena on, että identifioidaan ulostulon, prosessin ja syötteiden välisiä suhteita sekä päätellään ongelman perimmäiset juurisyyt. Tässä osiossa kuvataan, miten kerättyä tietoa on analysoitu ja mitkä ovat analysointien tulokset.

4.4.1 Maalaamon ohjaus

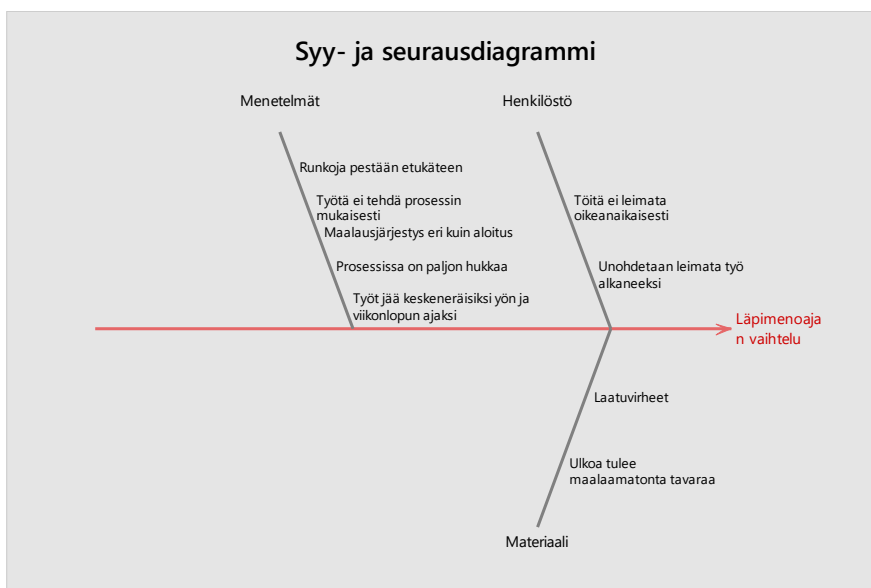
Tässä vaiheessa lähdettiin tutkimaan mittausvaiheessa toteutettua arvovirtakuvausta tarkemmin. Kuten jo mittausvaiheessa mainittiin, niin maalausprosessissa oli monessa eri vaiheessa kontrolloimattomia varastoja. Kontrolloimaton varasto tarkoittaa sitä, että sen varastonkoko voi olla jotain nollan ja äärettömän väliltä jonkun yksittäisen materiaalin osalta. Tämä aiheuttaa usein sellaisen tilanteen, että maalaamossa on osapuutteita tai sitten materiaalia voi olla liikaakin. Kokoonpanon puolella oli myös kontrolloimaton varasto, joka aiheutti osapuutteita siellä. Tämä johtuu osittain siitä, että maalaamalla ei ollut selkeää näkyvyyttä kokoonpanon tarpeisiin. Arvovirtakartoituksessa havaitut kehityskohteet on esitetty liitteessä IV ja maalaamoprosessin tulevaisuuden tila liitteessä V.

Edellisessä luvussa (4.3.1) tarkasteltiin maalausprosessin läpimenoajan lähtötilannetta. MTO-tuotteiden läpimenoajan COV-vaihtelukerroinprosentti oli 803 %, joka kuvaa standardipoikkeaman ja keskiarvon suhdetta. Ongelmaksi todettiin hyvin yksinkertaisella näkemyksellä erittäin suuri vaihtelu. Prosessin tehostaminen nyt ja jatkossa on erittäin haastavaa, mikäli vaihtelua ei saada pienennettyä. Tämän takia lähdimme tutkimaan mikä sai aikaan läpimenoajan vaihtelun. Tutkinnassa haastateltiin maalaamon henkilökuntaa sekä muita tuotannon ohjauksesta vastaavia henkilöitä. Samalla seurattiin maalaamon toimintaa ja kirjattiin erilaisia epäkohtia ylös. COV-prosenttia seurattiin viikkotasolla ja viikon 14 lopulla se oli 100 %. Viikkojen 49/2019-14/2020 aikana COV-prosentti vaihteli kuitenkin erittäin paljon, mutta sen trendiviiva oli kuitenkin laskeva (Kuva 24).



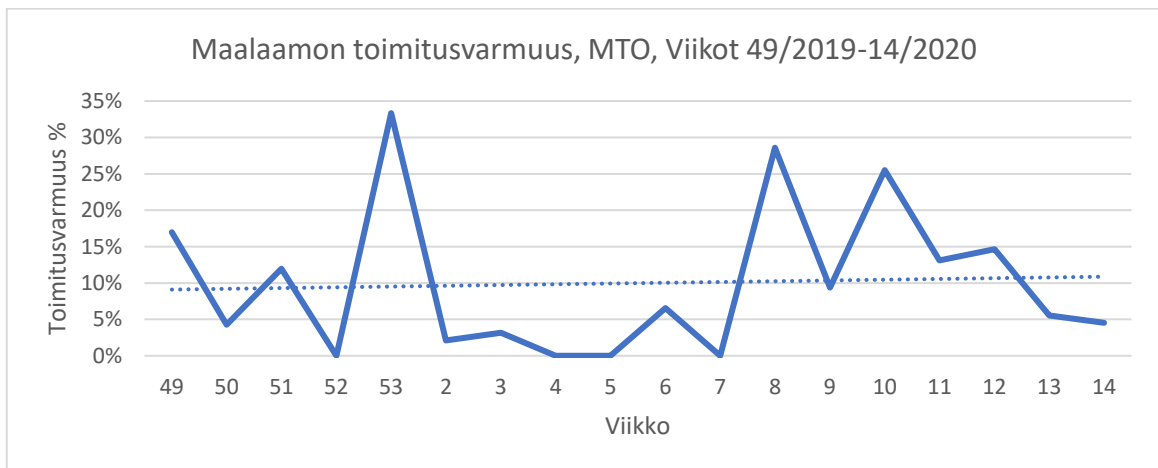
Kuva 24. Läpimenoajan COV-prosentti.

Syitä läpimenoajan vaihteluun kirjattiin syy- ja seurausdiagrammin (Kuva 25). Suurimmat vaihtelun aiheuttajat ja läpimenoajan vääristäjät olivat leimauskäytännöt. Tuotantotilauksia ei leimattu oikeanaikaisesti alkaneeksi ja loppuneeksi ERP-järjestelmään tai sitten niitä unohdettiin leimata. Totuttu tapa oli se, että kun maalaus oli suoritettu, kuitattiin tuotantotilaus alkaneeksi ja valmistuneeksi samalla. Tällöin läpimenoajaksi tuli järjestelmään n. 0 tuntia. Tästä ei kuitenkaan voida syyttää maalaamon työntekijöitä, vaan tämä on työnjohdollisesti hyväksyttävää eikä siihen olla puututtu. Komponentteja ei myöskään tehty prosessin mukaisessa järjestyksessä, vaan niitä voitiin pestä (maalausprosessin ensimmäinen vaihe) useita valmiiksi ennen kuin ne siirtyivät maalausprosessissa seuraavaan vaiheeseen. Tämä aiheutti myös vaihtelua läpimenoaikaan.



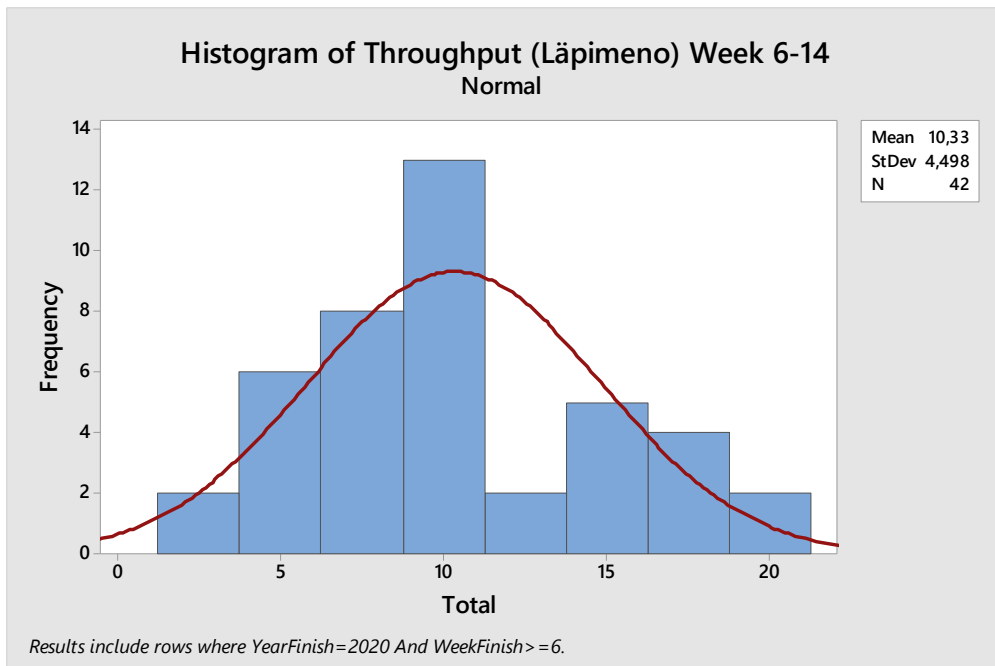
Kuva 25. Merkittävimmät syyt läpimenoajan vaihteluun.

Maalaamon toimitusvarmuutta sisäiselle asiakkaalle (kokoonpano) seurattiin lähtötilanteesta viikkoon 14. Siinä havaittiin myös hyvin pientä paranemista, jos katsoo trendiviivaa (Kuva 26). Toimitusvarmuuden heikentymiseen löydettiin myös muutamia syitä. Merkittävimmät syyt olivat, että maalaamon läpimenoajat olivat liian pitkiä ja maalaamossa maalattiin väärässä järjestyksessä runkoja, jolloin oikeat rungot myöhästyivät. Tähän on varmaan monia eri selityksiä, mutta yleisimmät ovat varmaan ne, että maalaamolla ei ollut oikeita runkoja saatavilla tai henkilöt valitsivat väärän rungon maalaukseen. Myös ERP:in reitityksellä havaittiin ajastuksissa virheitä. Kokoonpanon ensimmäinen vaihe ajastettiin alkamaan 2-3 tunnin kuluessa siitä, kun maalauksen aloitus oli ajoitettu. Maalaamon laskennallinen läpimenoaika on kuitenkin 7-8 tuntia normaalisti eli vaikka maalaamo olisi aloittanut työn suunnitellusti, olisi se myöhästynyt sisäiselle asiakkaalle luvatussa toimituksesta.



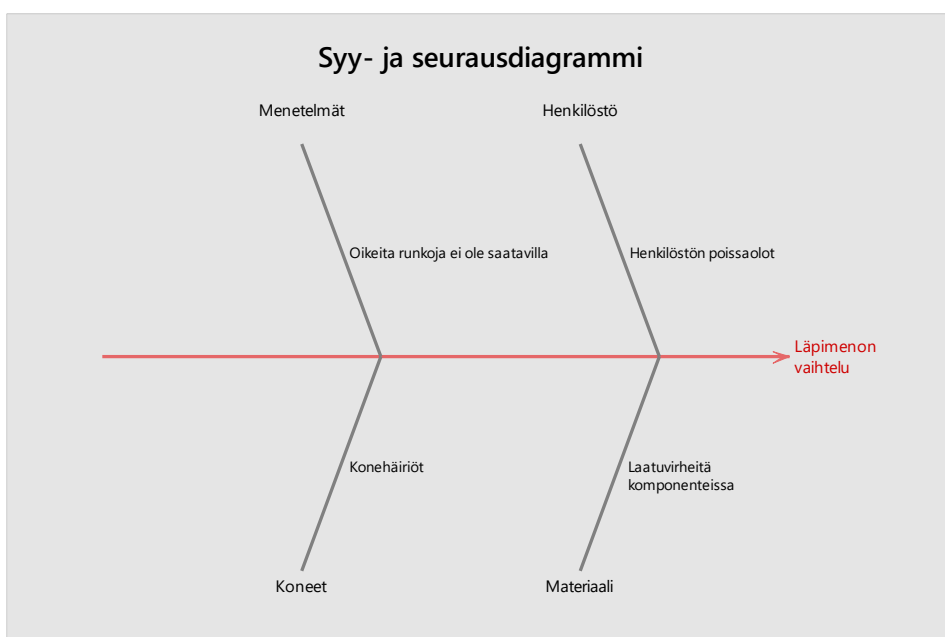
Kuva 26. Maalaamon toimitusvarmuus.

Läpimenoajan COV-prosentti oli viikkojen 49/2019-5/2020 aikana 45 %. Tarkasteltaessa läpimenoa viikkojen 6-14 aikana, voidaan standardipoikkeaman ja keskiarvon (Kuva 27) perusteella laskea sen olevan 43,5 %, joka on kutakuinkin sama kuin aiemmalla vertailujaksolla.



Kuva 27. Läpimeno viikot 6-14.

Yleisimmät syyt läpimenon vaihtelulle olivat, että oikeita runkoja ei ole saatavilla tai henkilöstön poissaolot vaikeuttivat töiden tekemistä. Myös maalaamon radan kanssa oli ollut silloin tällöin ongelmia, mikä oli aiheuttanut seisokkeja maalaamossa. Tämä on ollut kuitenkin verrattain vähäistä maalaamon investoidun radan parannuksen jälkeen. Merkittävimmät syyt läpimenon vaihtelulle on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Merkittävimmät syyt läpimenon vaihteluun.

4.4.2 Maalauslaatu

Maalauslaadun analyysivaiheessa tutkittiin Blackett-Burmanin -menetelmällä muuttujia, jotka oli mittausvaiheessa projektitiimin kanssa ideoitu. Blackett-Burmanin -menetelmä valittiin sen takia, koska 15 tekijän testaukseen riitti vain 20 testiajoa, kun taas Definitive Screening Design (DSD) -kokeen testiajojen määrä olisi ollut 34 kpl. DOE-tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kokeellisesti miten eri muuttujat vaikuttavat maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaaliseen laatuun. Tutkimuksessa käytettiin Minitab 18 ohjelmiston DOE Assistantia, jolla Blackett-Burmanin DOE kokeen tekeminen on tehty erittäin helpoksi. Testausmatriisi on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. DOE-kokeen testausmatriisi.

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	KylvynPitois	PohjaKalvo	PohjaLämpö	Jännite	Virta	PintaKalvo	PintaLämpö	Roiskespray	RasvanPesu	Raekuulap	Sormenjälki	PuhtHanskat	Maadoitus	Response
1	1	1	1	6	40	120	70	10	160	140	Ei	Pesu	Ei	Kyllä	Ei		Hyvä
20	2	1	1	3,6	40	80	50	10	160	140	Ei	Ei pesua	Ei	Ei	Ei		Huono
19	3	1	1	3,6	80	120	50	10	160	140	Kyllä	Ei pesua	Kyllä	Ei	Kyllä		Hyvä
12	4	1	1	6	40	120	50	20	300	180	Kyllä	Ei pesua	Ei	Kyllä	Kyllä		Huono
4	5	1	1	3,6	40	120	70	10	300	180	Ei	Ei pesua	Ei	Ei	Kyllä		Huono
3	6	1	1	3,6	80	120	50	20	300	140	Ei	Ei pesua	Ei	Kyllä	Ei		Hyvä
13	7	1	1	3,6	80	80	70	10	300	180	Kyllä	Pesu	Ei	Ei	Kyllä		Hyvä
10	8	1	1	6	40	120	70	20	300	140	Ei	Pesu	Kyllä	Ei	Kyllä		Hyvä
18	9	1	1	6	80	80	50	10	160	180	Ei	Pesu	Ei	Kyllä	Kyllä		Hyvä
8	10	1	1	6	80	120	70	10	160	180	Kyllä	Ei pesua	Kyllä	Kyllä	Ei		Huono
11	11	1	1	3,6	80	80	70	20	300	180	Ei	Ei pesua	Kyllä	Kyllä	Ei		Hyvä
9	12	1	1	3,6	80	120	70	20	160	140	Kyllä	Pesu	Ei	Kyllä	Kyllä		Huono
15	13	1	1	3,6	40	80	70	10	300	140	Kyllä	Pesu	Kyllä	Kyllä	Ei		Huono
2	14	1	1	6	80	80	70	20	160	140	Ei	Ei pesua	Kyllä	Ei	Kyllä		Huono
16	15	1	1	3,6	40	80	50	20	160	180	Ei	Pesu	Kyllä	Kyllä	Kyllä		Huono
6	16	1	1	6	80	80	50	20	300	140	Kyllä	Pesu	Ei	Ei	Ei		Huono
7	17	1	1	6	80	120	50	10	300	180	Ei	Pesu	Kyllä	Ei	Ei		Huono
14	18	1	1	3,6	40	120	50	20	160	180	Kyllä	Pesu	Kyllä	Ei	Ei		Hyvä
5	19	1	1	6	40	80	70	20	160	180	Kyllä	Ei pesua	Ei	Ei	Ei		Hyvä
17	20	1	1	6	40	80	50	10	300	140	Kyllä	Ei pesua	Kyllä	Kyllä	Kyllä		Hyvä

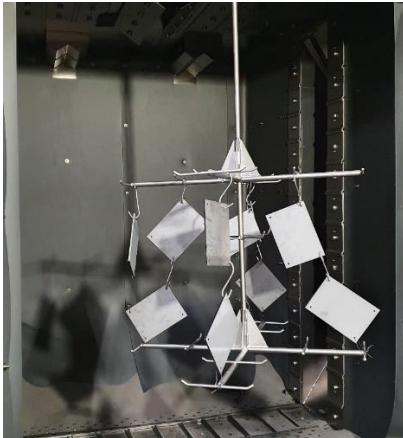
Normaalisti DOE-kokeet suoritetaan testausmatriisin mukaisessa järjestyksessä. Tässä tapauksessa päätettiin kuitenkin helpottaa testien tekemistä ja kokeet suoritettiin maalausprosessin mukaisessa järjestyksessä. Koekappaleina käytettiin 300 x 210 x 8 mm teräslevyjä, jotka olivat täysin puhdistamattomia. Kokeen ensimmäisessä vaiheessa koekappaleiden 3, 4, 7, 10, 12, 13, 16, 18, 19 ja 20 päälle suihkutettiin tasainen kerros CRC Anti-Spatter -hitsausroiskesuojasprayta. Aine annettiin vaikuttaa levyjen pinnalla n. 15 minuuttia. Tämän hitsausroiskesuojasprayn avulla vähennetään hitsausroiskeiden tarttumista teräsrakenteen pintaan. Ainetta suihkutetaan ennen hitsausta kappaleen pintaan. Tässä kokeessa ainetta kuitenkin suihkutettiin koekappaleeseen, eikä hitsauksen aiheuttamaa lämpöä esiintynyt lainkaan. Normaalisti voidaan olettaa, että hitsausroiskesuojaspray mahdollisesti haihtuu kappaleen pinnasta kappaleen lämmitessä.

Maalausprosessin seuraavassa vaiheessa suoritettiin koekappaleille 1, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17 ja 18 rasvanpoistopesu. Siinä koekappaleiden päälle ruiskutettiin ensiksi liuotinainetta, jonka tehtävänä on irrottaa rasva kappaleen pinnalta. Liuotinaineen annettiin vaikuttaa n. 5 minuuttia, jonka jälkeen koekappaleiden päälle ruiskutettiin AC16+ pesuainetta. Molemmat aineet ruiskutettiin koekappaleen molemmin puolin. Kun pesuaine oli vaikuttanut n. 5 minuuttia, huuhdeltiin koekappaleet painepesurilla. Koekappaleiden kääntämisessä käytettiin puhtaita työhanskoja. Pesun jälkeen, koekappaleet puhallettiin paineilmalla kuivaksi. Koekappaleen 17 pintaan jäi paineilmasta jotain epäpuhtautta (Kuva 29).



Kuva 29. Koekappaleen 17 pintaan jäi paineilmasta epäpuhtautta.

Rasvanpoistopesun jälkeen koekappaleet 3, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18 ja 20 laitettiin raekuulapuhallukseen (Kuva 30). Kappaleet kiinnitettiin rautalankojen avulla kehikkoon kiinni, jotta ne eivät lähtisi pyörimään ympäriinsä kesken puhalluksen. Raekuulapuhalluksen tarkoituksena on karhentaa maalattavan kappaleen pintaa, jotta maalin tarttuvuus on parempi. Koekappaleita puhallettiin yhteensä 4 minuuttia, 2 minuuttia toiseen ja 2 minuuttia toiseen suuntaan pyrittäen.



Kuva 30. Koekappaleet menossa raekuulapuhallukseen.

Seuraavaksi koekappaleiden 1, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15 ja 20 keskelle paineltiin sormenjälkiä. Sormenjälkien painelu aloitettiin ensiksi pestyihin ja raekuulapuhallettuihin koekappaleisiin ja vasta viimeisenä sormenjäljet painettiin koekappaleisiin, joita ei ollut pesty lainkaan.

Sormenjälkien jälkeen suoritettiin koekappaleille konversiopinnoitus. Koekappaleet 2, 3, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 15 ja 18 käsiteltiin pesuvedellä, jonka PH-pitoisuus oli 3,6 ja koekappaleet 1, 4, 8, 9, 10, 14, 16, 17, 19 ja 20 käsiteltiin pesuvedellä, jonka PH-pitoisuus oli 6 (todellinen 5,9). Pesun aikana havaittiin myös, että koneen pesusuuttimet olivat osittain tukossa. Tällä ei kuitenkaan todettu olevan oleellista vaikutusta näiden koekappaleiden konversiopinnoituksessa. Molemmat pesut suoritettiin samoilla tukkeutuneilla suuttimilla. Konversiopinnoituksen jälkeen, oli selvästi havaittavissa PH 3,6 koekappaleilla visuaalisesti parempi pinta kuin PH 6 koekappaleilla (Kuva 31). PH 6 koekappaleissa oli selvästi havaittavissa ”lentoruostetta” ja muita värjäytymiä.



Kuva 31. Koekappaleet konversiopinnoituksen jälkeen.

Konversiopinnoituksen jälkeen koekappaleet nostettiin maalaamon radalle roikkumaan. Nostamisen yhteydessä koekappaleita 1, 2, 6, 10, 11, 13, 16, 17, 18 ja 19 käsiteltiin likaisilla hanskoilla (Kuva 32). Koekappaleiden keskiosaa kosketeltiin likaisilla hanskoilla. Koekappaleet 1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 18, 19 ja 20 ripustettiin maalausradalle ”huonosti” maadoittavilla ripustuskoukuilla ja vastaavasti koekappaleet 2, 4, 5, 10, 12, 13, 14, 15, 16 ja 17 ripustettiin uusilla ripustuskoukuilla. ”Huonosti” maadoittavissa ripustuskoukuissa edellinen maalipinta toimii sähköisenä eristeenä.



Kuva 32. Likaiset hanskat ja huonosti maadoittava ripustuskoukku, joita käytettiin testauksessa.

Pohjamaalausta varten koekappaleet ripustettiin maalauslinjalla kahteen eri vaunuun. Ensimmäiseen vaunuun ripustettiin koekappaleet, joissa pohjamaalin poltto suoritettiin 90 °C uunissa. Tavoitteena oli saavuttaa 80 °C pintalämpötila kappaleilla. Koekappaleet järjestettiin vielä vaunussa niin, että viiteen ensimmäiseen kappaleeseen maalattiin 40 µm kuivakalvonpaksuus ja viiteen jälkimmäiseen 80 µm kuivakalvonpaksuus. Seuraavaan vaunuun asetettiin koekappaleet, joiden poltto suoritettiin 130 °C lämpötilassa. Näiden kappaleiden tavoitepintalämpötila oli 120 °C. Ennen kuin varsinaisia koekappaleita laitettiin polttouuniin, suoritettiin testiajot koekappaleella, johon oli kiinnitetty Elcometer 215 - lämpötilamittari. Tällä haettiin koekappaleille sopiva uunitusaika. Molemmat vaunut olivat uunissa 35 minuuttia.

Pintamaalauksen osalta kappaleet järjestettiin vaunuihin vastaavasti kuin pohjamaalauksen osaltakin. Ensimmäiseen vaunuun laitettiin kaikki koekappaleet, joiden tavoite pintalämpötila uunituksen aikana oli 140 °C (uunin lämpötila 150 °C). Vaunun viisi ensimmäistä koekappaletta olivat koekappaleita, joihin maalattiin kokonaiskalvonpaksuudeksi n. 160 µm ja viisi jälkimmäistä olivat koekappaleita, joihin maalattiin kokonaiskalvonpaksuudeksi n. 300 µm. Toiseen vaunuun ripustettiin kaikki koekappaleet, joiden tavoitepintalämpötila uunituksen aikana oli n. 180 °C (uunin lämpötila 190 °C). Vaunun viisi ensimmäistä koekappaletta olivat koekappaleita, joihin maalattiin kokonaiskalvonpaksuudeksi n. 160 µm ja viisi jälkimmäistä olivat koekappaleita, joihin maalattiin kokonaiskalvonpaksuudeksi n. 300 µm. Molemmat vaunut olivat polttouunissa 55 minuuttia. Koekappaleiden pintamaalaus suoritettiin vielä säätämällä jauhemaalilaitteiston jännite ja virta-arvoja. DOE-kokeessa jännitearvojen tasot olivat 50 ja 70 kV ja virta-arvojen tasot olivat 10 ja 20 µA. Taulukossa 4 on nähtävissä koekappaleiden tavoite ja toteutuneet kuivakalvonpaksuudet.

Taulukko 4. Koekappaleiden tavoite ja toteutuneet kuivakalvonpaksuudet sekä kiiltoaste.

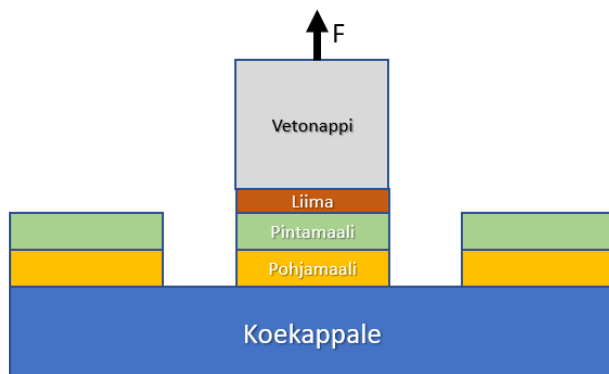
Kappaleen Nro	µm, Tavoite Pohjakalvonpaksuus	µm, Toteutunut Pohjakalvonpaksuus	µm, Tavoite Pintakalvonpaksuus	µm, Toteutunut Pintakalvonpaksuus	ISO 2813 60° Kiilto
1	40	44,7	160	149,3	85,4
2	40	72,7	160	115,8	83,9
3	80	46,7	160	154,3	76,7
4	40	32,0	300	194,0	83,7
5	40	50,7	300	250,3	83,7
6	80	62,0	300	202,7	79,0
7	80	78,3	300	259,3	84,2
8	40	29,7	300	212,7	86,0
9	80	75,3	160	131,0	82,5
10	80	52,3	160	169,0	82,2
11	80	76,3	300	268,7	83,4
12	80	44,7	160	131,7	83,6
13	40	76,0	300	261,3	71,5
14	80	79,7	160	196,3	71,5
15	40	69,7	160	105,7	81,5
16	80	74,7	300	202,7	82,6
17	80	49,0	300	209,3	82,5
18	40	32,3	160	114,0	83,8
19	40	40,3	160	134,3	83,7
20	40	69,7	300	212,3	75,4

Koekappaleiden maalipinnan tarttuvuuden arviointi suoritettiin Elcometer 506 -hydraulisella adheesiotesterillä (Kuva 33). Vetonappulana käytettiin 20 mm nappia ja se liimattiin maalipintaan kiinni Loctite 454 -pikaliimalla, joka annettiin kuivua 1 vuorokauden. Koekappaleen pinta puhdistettiin hyvin ennen liimausta. Liimatun vetonappulan ympäriltä leikattiin maalipinta alustaan saakka rikki, jotta vetokokeessa testaus kohdistuu vain 20 mm vetonappulan alle.



Kuva 33. Elcometer 506 -adheesiotesteri (YTM Industrial 2020).

Jokaiselle koelevylle tehtiin kaksi nappivetokoetta kuvan 34 mukaisella järjestelyllä. Standardi ISO 4624 määrittää mm., miten nappivetokoe tulee suorittaa ja miten murtumatyytit tulee raportoida. Elcometer 506 -adheesiotesteristä näkee suoraan murtovoiman megapascalina, MPa (maksimi voima jaettuna napin pinta-ala).



Murtumatyyppi	Seloste
A/B	Adheesiomurtuma alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välillä
B	Koheesiomurtuma ensimmäisessä pinnoitekerroksessa
B/C	Adheesiomurtuma ensimmäisen ja toisen pinnoitekerroksen välillä
C	Koheesiomurtuma toisessa pinnoitekerroksessa
-/Y	Adheesiomurtuma liiman ja pintakerroksen välillä
Y	Liiman koheesiomurtuma
Y/Z	Adheesiomurtuma liiman ja vetokappaleen välillä.

Kuva 34. Nappivetokoe ja kokeen murtumistyytit.

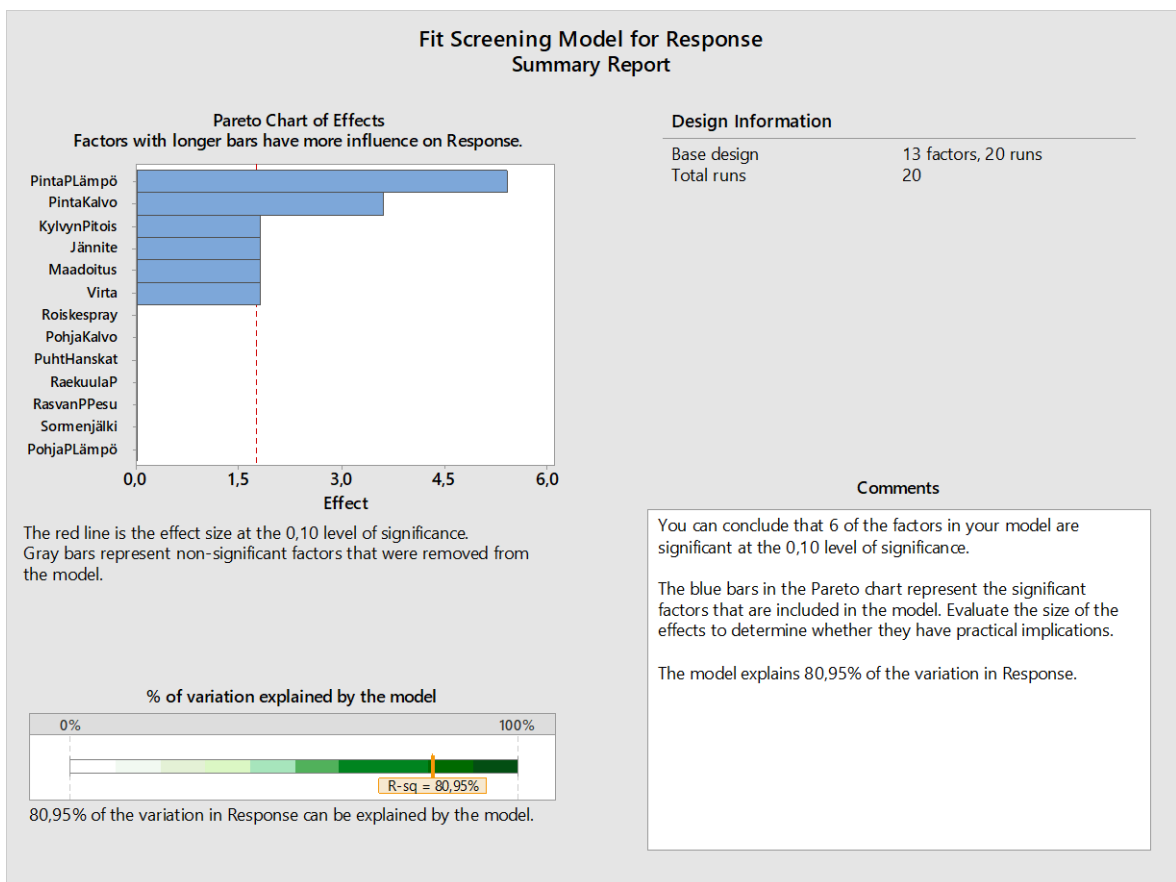
Standardissa ISO 12944-6 on määritetty, että pinnoitteen kiinnittävyyden pettämistä alustasta ei sallita, elleivät vetoarvot ole vähintään 5 MPa. Taulukossa 5 on kuvattu vetokokeiden tulokset ja murtumatyypit. Vetokokeen tuloksista voidaankin todeta, että ne ylittivät kaikki kirkkaasti standardin ISO 12944-6 määrittäykset.

Taulukko 5. Adheesiotestauksen tulokset.

Kappaleen Nro	Vetotulos 1 (MPa)	Vetotulos 1 Murtumatyyppi	Vetotulos 2 (MPa)	Vetotulos 2 Murtumatyyppi	Vetotulos KA (MPa)	Response
1	18,30	C	15,84	C	17,07	10
2	16,01	C	18,20	C	17,11	10
3	22,01	B/C	23,22	B/C	22,62	10
4	20,41	Y	24,97	Y	22,69	1
5	25,00	Ei murtumaa	22,00	Y/Z	23,50	1
6	24,69	Y	19,36	Y/Z	22,03	1
7	20,31	Y	11,81	Y/Z	16,06	1
8	25,00	Ei murtumaa	23,20	Y	24,10	1
9	25,00	Y	25,00	Ei murtumaa	25,00	1
10	24,47	Y	25,00	Ei murtumaa	24,74	1
11	25,00	Ei murtumaa	24,01	Y	24,51	1
12	11,36	A/B	11,85	A/B	11,61	10
13	24,89	A/B	20,33	Y/Z	22,61	10
14	25,00	B/C	21,43	C	23,22	10
15	13,28	Y	24,89	Y/Z	19,09	1
16	25,00	Ei murtumaa	25,00	Ei murtumaa	25,00	1
17	25,00	Y	21,69	Y	23,35	1
18	22,77	Y	22,04	Y	22,41	1
19	18,24	Y	24,18	Y	21,21	1
20	25,00	Ei murtumaa	22,91	Y	23,96	1

Taulukossa 5 määritettiin numeroilla 1-10 DOE-kokeen vastetulokset (Response). Numero 1 tarkoittaa tässä tapauksessa parasta tulosta, jossa murtuminen on tapahtunut liimassa tai liiman ja pintamaalin välillä tai murtumista ei ole tapahtunut lainkaan. Numero 10 tarkoittaa sitä, että maalipintaan on tullut murtuma, joko pohjamaaliin tai pintamaaliin. Vastetulokset syötettiin Minitabin ortogonaalimatriisiin ja suoritettiin Minitabin assistantin avulla sovitus seulontamalliin (Screening Model). Tällä työkalulla saatiin yhteenvetoraportti, jossa on esitetty muuttujien vaikutus Pareto kaaviossa ja päätekijöiden vaikutusraportti, jossa

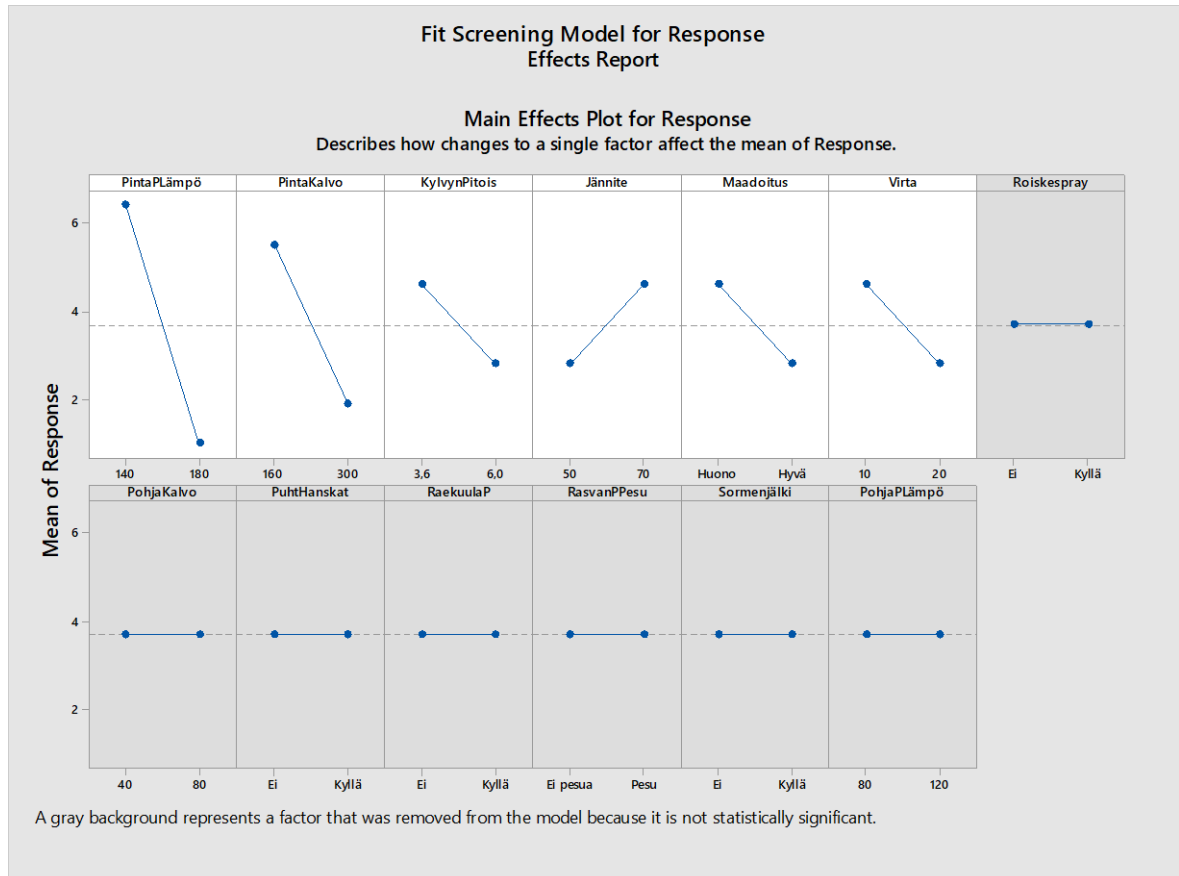
muuttujat on analysoitu kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Näiden tulosten perusteella maalipinnan tarttuvuuteen vaikuttavat eniten pintamaalauksen polttouunituksen pintalämpötila, pintakalvonpaksuus, konversiopinnoituksen PH-pitoisuus, pintamaalauksen jännite, kappaleen maadoitus sekä pintamaalauksen virta. Nämä kuusi tekijää selittävät 80,95 % vasteen vaihtelun. Maalipinnan tarttuvuuden yhteenvetoraportti on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Maalipinnan tarttuvuuden yhteenvetoraportti.

Kun muuttujia tarkastellaan maalipinnan tarttuvuuden päätekijöiden vaikutusraportissa (Kuva 36), voidaan nähdä, että pintamaalauksen pinnan lämpötila polttouunituksessa on huomattavasti parempi silloin, kun maalipinnan lämpötila oli 180 °C. Raportissa on esitetty Main Effects Plot for Response. Pintamaalin kalvonpaksuus oli tutkimuksen mukaan parempi, kun kalvonpaksuus oli 300 µm. Tämä varmaan pitää paikkansa, koska kaikki, joihin piti maalata yli 300 µm kalvonpaksuus, olivat todellisuudessa n. 200 µm ja normaaliprosessissa kalvonpaksuusvaatimus on 160 µm. Konversiopinnoituksen kylvyn PH-arvo oli parempi, kun se oli noin 6. Tämä osoittaa hyvin sen, että PH-arvojen jatkuva

tarkkailu on erittäin tärkeää. Testissä oli parempi, kun se oli tasolla 1 (50 kV) ja virta, kun se oli tasolla 2 (20 mA). Myös maadoituksen merkittävyys nousi esiin tutkimuksessa eli kun maadoitus oli huono, oli sillä myös huonontava vaikutus kokeen lopputulokseen.



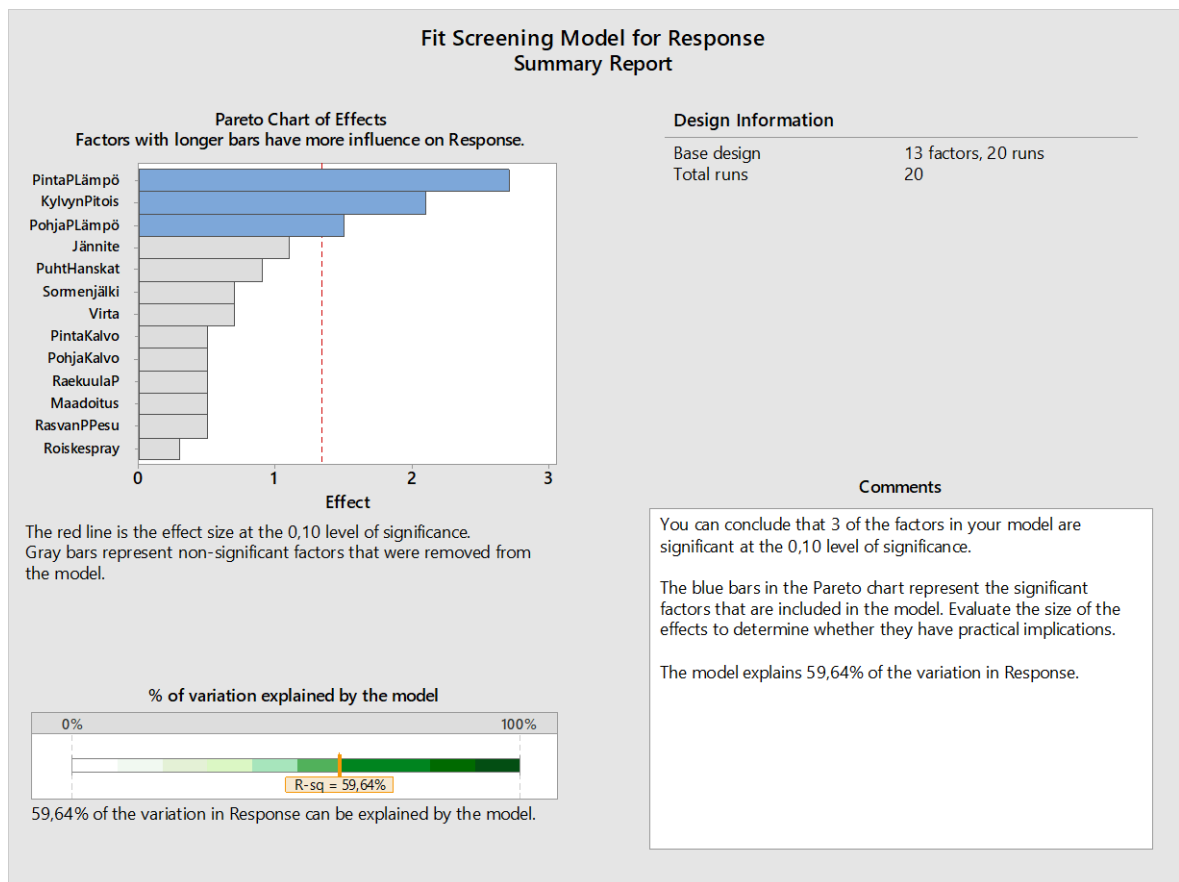
Kuva 36. Maalipinnan tarttuvuuden päätekijöiden vaikutusraportti.

Maalipinnan visuaalisuutta arvioitiin kolmelta eri näkökannalta. Ensimmäinen oli pinnan tasaisuus eli tarkasteltiin, oliko maalipinnassa ns. appelsiinipinta. Toinen arvioitava kohde oli maalipinnan kiilto ja kolmas oli maalipinnan reikäisyys. Jokaiselle koekappaleen maalipinnalle annettiin arvosana 1-10, jossa 1 edusti parasta tulosta ja 10 edusti huonointa. Näiden kolmen arvosteltavan kohteen perusteella pisteytettiin visuaalisen DOE-kokeen vastetulokset (Response). Tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Maalipinnan visuaalinen arviointi.

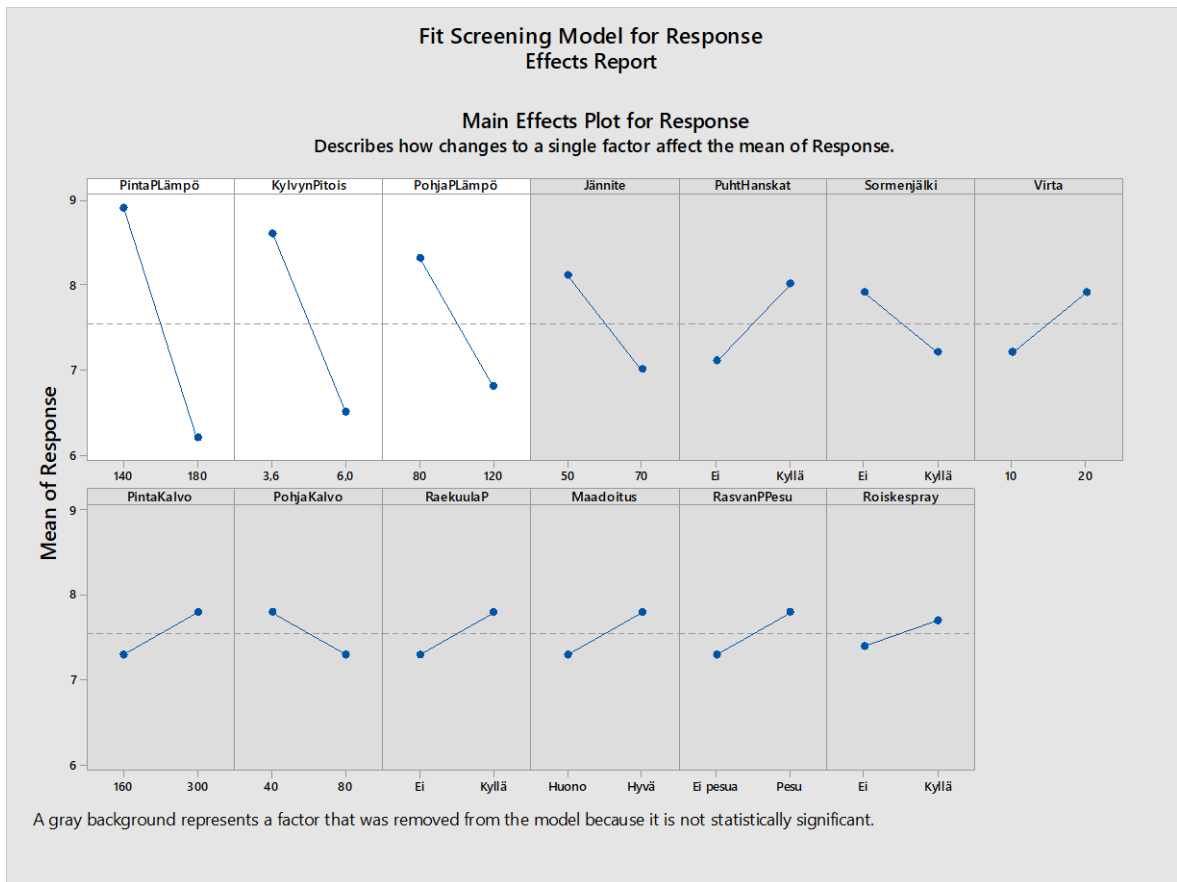
Kappaleen Nro	Appelsiinipinta	Kiilto	Reikäsyys	Response
1	7	1	2	7
2	1	1	9	9
3	6	10	1	10
4	1	1	6	6
5	5	1	5	5
6	2	10	2	10
7	5	1	10	10
8	8	1	1	7
9	3	1	4	4
10	2	1	1	1
11	6	1	9	6
12	8	10	4	8
13	10	10	5	10
14	1	10	7	10
15	1	1	10	10
16	1	10	8	8
17	1	1	6	6
18	3	1	8	8
19	1	1	6	6
20	1	10	8	10

Nämä vastetulokset (Response) syötettiin Minitabiin ja suoritettiin Minitabin assistanssin avulla sovitus seulontamalliin. Visuaalisuuden osalta merkittävimiksi tekijöiksi nousivat pintamaalauksen jälkeen suoritettavan polttouunituksen lämpötila, konversiopinnoituksen kylvyn PH-pitoisuus ja pohjamaalauksen uunituksen pintalämpötila (Kuva 37). Nämä kolme muuttujaa selittävät 59,64 % vasteen vaihtelua.



Kuva 37. Maalipinnan visuaalisuuden yhteenvedoraportti.

Kuvassa 38 esitettävän Main Effects Plotista nähdään, että myös visuaalisuuden kannalta tärkein muuttuja on pintamaalauksen uunituksen pintalämpötila ja vielä samaan suuntaan kuin tarttuvuuden kanssa eli kun pintalämpötila on 180 °C, niin maalipinnan visuaalinen pinnanlaatu on parempaa. Myös konversiopinnoituksen kylvyn PH-pitoisuus on parempi, kun sen arvo on 6. Kolmantena muuttujana oli pohjamaalauksen uunituslämpötila ja siinä olisi parempi suorittaa se korkeammassa lämpötilassa (120 °C) kuin matalammassa (80 °C).



Kuva 38. Maalipinnan visuaalisuuden päätekijöiden vaikutusraportti.

Yhteenvedona voidaan todeta, että varsinkin pintamaalauksen uunituslämpötilalla (kappaleen pintalämpötila) on tärkeä vaikutus sekä maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaaliseen laatuun. Myös konversiopinnoituksen PH-arvo oli molemmissa kokeissa tärkeä muuttuja. Kokonaisuutena tarttuvuustestien tulokset olivat hyvät. Kaikkien vetotestien tulokset olivat yli 11 MPa ja suurin osa tuloksista oli jopa yli 20 MPa. Kuten aiemmin jo mainittiin, standardi ISO 12944-6 edellyttää vähintään 5 MPa vetoarvot alustan ja pohjamaalin adheesiomurtumalle. Tämän suhteen kaikki vetotulokset läpäisivät testit.

5 JAUHEMAALAAMON KEHITYSTOIMENPITEET

Tässä luvussa esitetään Vilakoneen jauhemaalaaamon kehitys- ja ohjaustoimenpiteet sekä tutkimuksen keskeiset tulokset. Luvussa kuvatut asiat on toteutettu DMAIC-menetelmän kahden viimeisen vaiheen työkaluilla. Toimenpiteet perustuvat edellisessä luvussa kuvattuun nykytilaan.

5.1 Jauhemaalaaamon parannus (Improve)

Lean Six Sigman parannusvaiheessa on tarkoituksena ideoida ja toteuttaa toimenpiteet, joilla analyysivaiheessa havaitut syyt poistetaan tai korjataan. Toimenpiteiden avulla on tarkoitus saada aikaan pysyviä muutoksia prosessissa. Tässä osiossa kuvataan, mitä toimenpiteitä on toteutettu.


5.1.1 Maalaamon ohjaus

Maalaamon ohjauksen suurin ongelma on vaihtelu. Vaihtelua esiintyy niin läpimenoajassa, toimitusvarmuudessa kuin läpimenoissa. Läpimenoajan vaihtelun aiheuttavat syyt on esitetty kuvassa 25. Suurin yksittäinen syy läpimenoajan vaihtelulle oli työntekijöiden leimaukset. Työtä leimattiin ERP-järjestelmään aloitetuksi ja lopetetuksi samaan aikaan, vaikka näin ei todellisuudessa tapahtunutkaan. Tämä väärästi pahoin ERP:stä saatavaa informaatiota aiheuttaen vaihtelua mittaroinnin näkökulmasta. Korjaavana toimenpiteenä ERP-järjestelmään luotiin raportti, jolla työnjohto pystyi seuraamaan leimauksia päivittäin ja puuttumaan välittömästi ongelmakohtiin. Ongelmasta puhuttiin avoimesti myös työntekijöiden kanssa ja kerrottiin heille, miten tärkeää on leimata työt oikea aikaisesti järjestelmään.

Toisena korjaavana toimenpiteenä toteutettiin Kanban-korttiohjaus maalaamon ja kokoonpanolinjojen väliin. Kanban-korttiohjauksen tarkoituksena on selkeyttää maalausjärjestystä ja estää liiallisen WIP:in muodostumista kokoonpanon ja maalaamon väliin. Kokoonpanoon luotiin puskuripaikat jokaiselle kolmelle linjalle ja niiden koko määräytyi päiväkohtaisesta asiakastarpeesta. Maalattuja pääkomponentteja on Willessä on 6 kappaletta. Kanban-kortti määritettiin laitettavaksi eturunkoon ja kun eturunko otetaan käyttöön kokoonpanossa, viedään kortti maalaamoon, joka käynnistää tuotantojärjestyksen

mukaisesti seuraavan Willen komponenttien maalauksen. Alkuvaiheessa kortin toimittaa maalaamoon kokoonpanon työnjohtaja. Maalauksen ohjaus yhdellä kortilla per Wille oli helpoin tapa toteuttaa Kanban-ohjaus näin alkuvaiheessa. Todellisuudessa esimerkiksi konepeitto tarvitaan Willen valmistuksen viimeisissä vaiheissa, jolloin maalaus voitaisiin suorittaa muita runkoja myöhemmin. Tätä voidaan pohtia myöhemmin jatkokehityksenä. Perinteisesti ERP-järjestelmä ohjaa toimintoja puhtaasti työntöohjaukseen perustuen. Tutkimme kuitenkin tässä kohdassa mahdollisuutta ohjata ERP:llä tuotantoa imuohjausmenetelmällä. SAP-järjestelmässä on mahdollista toteuttaa Kanban-ohjaus sähköisesti. Aikataulun ja tuotannon kiireiden vuoksi asiaa ei keritty tarkemmin perehtyä. Asia jätettiin kuitenkin SAP-toimittajamme pohdittavaksi.

Kolmantena luotiin Kanban-taulu maalaamoon, johon merkittiin tilauskanta, päivän tehtävät, työn alla olevat tehtävät, valmistuneet tehtävät ja ongelmat (Kuva 39). Taulu toimii maalaamohenkilökunnan päivittäisenä työkaluna ja auttaa visualisoimaan töiden tilannetta paremmin. Taulun käyttöön sisältyi myös uusi toimintamalli, jossa kyseisen päivän aikana tulleet Kanban-kortit siirsivät seuraavat tuotantotilaukset tilauskantaan, jonka jälkeen iltavuoro suunnitteli seuraavan päivän tehtävät taululle. Aamuvuoro taas aloitti päivän ns. puhtaalta pöydältä, eli maalausprosessiin alettiin ”syöttämään” komponentteja suunnitellun järjestyksen mukaisesti. Ideana tässä on se, että saman päivän aikana aloitetut työt saadaan valmistumaan saman päivän aikana, jolloin läpimenoaika lyhenee huomattavasti.

TILAUSKANTA ORDER BACKLOG	PÄIVÄN TEHTÄVÄT TASKS OF TODAY	TYÖN ALLA WORKING	VALMISTUNEET TEHTÄVÄT FINISHED TASKS
			<div data-bbox="1107 1854 1209 1899" style="text-align: center;">ONGELMAT ISSUES</div> <div data-bbox="1214 1980 1321 2002" style="text-align: right;"></div>

Kuva 39. Kanban-taulu maalaamoon.

Oikeiden runkojen saatavuus runkovalmistuksesta ja maalaushenkilöstön poissaolot aiheuttivat läpimeneen vaihtelua. Korjaavana toimenpiteenä otettiin käyttöön CONWIP-kortit runkovalmistuksessa. ERP-järjestelmä ohjaa edelleen tuotantoa työntöohjauksella, mutta korttien tehtävänä on ohjata visuaalisesti runkojen valmistusta imuohjaustekniikalla. CONWIP-korttien määrä perustuu runkovalmistuksessa valmistettujen yksittäisten runkojen läpimenoaikaan. Esimerkiksi, jos rungon valmistusläpimenoaika on 5 päivää, niin tällöin kyseiselle rungolle luotiin kortteja 5 kappaletta, kun asiakastarve on 1 kpl/päivä. Koska tutkimus oli rajattu vain maalaamon toimintoihin, ei runkovalmistuksen läpimenoaikoihin otettu kantaa sen enempää. Runkovalmistuksen läpimenoajoissa oli kuitenkin todella paljon odotusta sekä muuta hukkaa, joten CONWIP-korttien määrään ei laskettu varsinaista suojauskuria, vaan läpimenoaikojen odotetaan lyhenevän, kun CONWIP-korteilla rajoitetaan keskeneräistyötä. Poissaolojen hallintaan tuotannon työnjohdolla tulisi olla jonkinlainen suunnitelma tulevaisuudessa.

Toimitusvarmuuden osalta havaittiin, että ERP-järjestelmässä oli ajastukset väärin Willen reitillä. Reitillä tarkoitetaan ERP-järjestelmään mallinnettua valmistumisjärjestystä. Ajoituksia korjattiin niin, että ne vastasivat paremmin todellisuutta. Tällöin ERP-järjestelmä ajoittaa valmistuksen alkamaan riittävän ajoissa ennen seuraavaa vaihetta. Muuten toimitusvarmuuden paranemiseen uskotaan vaikuttavan edellä mainitut korjaavat toimenpiteet.

Maalaamossa suoritettiin myös ensimmäinen 5S-askel, kun järjestimme siivouspäivän, jossa siivottiin alueelta kaikki tarpeeton tavara pois. Vuosien aikana on kulkeutunut jokaiseen nurkkaan kaikenlaista ”romua”. Siivouspäivän aikana saimme ylimääräiset tavarat pois ja seuraava askel onkin luoda jäljelle jääneille tavaroille selkeät ja visuaalisesti merkityt paikat.

5.1.2 Maalauslaatu

Suoritetulla koesuunnittelulla (DOE) havaittiin, että merkittävimmät tekijät, jotka vaikuttivat maalipinnan tarttuvuuteen, olivat pintamaalauksen polttouunituksen pintalämpötila, pintakalvonpaksuus, konversiopinnoituksen PH-pitoisuus, pintamaalauksen jännite, kappaleen maadoitus sekä pintamaalauksen virta. Maalipinnan visuaaliseen laatuun vaikuttivat eniten pintamaalauksen polttouunituksen pintalämpötila, konversiopinnoituksen PH-pitoisuus ja pohjamaalauksen pinnan lämpötila. Varsinaisia korjaavia toimenpiteitä

prosessiin ei tehty näiden testien perusteella lainkaan, vaan tarkoituksena oli enemmänkin tutkia tekijöiden vaikuttavuutta ja saada sitä kautta tarkempaa tietoa ja varmistusta nykyisille parametreille. Suurin osa DOE-testin tasoista valittiin nykyisten parametrien ääriladoilta.

Esimerkiksi pintamaaliuunin lämpötila on nykyisellään jo 220 °C ja maalatut kappaleet ovat siellä niin kauan, että kappaleen lämpötila on saavuttanut vähintään 160 °C lämpötilan 20 minuutin ajan. Uunitusaika lyhenee, jos lämpötilaa nostetaan. Arvot perustuvat maalinvalmistajan ohjearvoihin. Konversiopinnoituksen PH-pitoisuuden nominaaliarvo on tällä hetkellä 5. Tutkimus kuitenkin osoitti, että sillä on erittäin suuri vaikutus sekä maalipinnan tarttuvuuteen ja pinnanlaatuun. Tämän asian tärkeydestä viestittiin maalaamonhenkilökunnalle ja PH-pitoisuuksien sekä muiden arvojen tarkastusta ja kontrollia lisättiin. Maalaamonhenkilökunnan vastuulla on suorittaa päivittäiset pitoisuuksien tarkastukset ja tehdä tarpeelliset korjaavat toimenpiteet. Työnjohto suorittaa säännöllisin väliajoin tarkastuskäyntejä.

Maadoituksen laatu oli myös yleisesti tiedossa, että sillä on jonkinlainen vaikutus tarttuvuuteen. Normaalina toimenpiteenä on jo tällä hetkellä käytössä se, että maalaamon henkilökunta varmistaa maadoituskoukkujen tartuntakohdasta metallin esiintyvyyden.

Maalipinnan visuaalisuuteen vaikutti myös pohjamaalin pintalämpötila. Pohjamaalin polttouunin lämpötila on nykyisin 200 °C. Tällä hetkellä kappale saatetaan pohjamaaliuunissa n. 140 °C lämpötilaan hetkellisesti. Tätä lämpötilaa tulisi tutkia jatkossa lisää, koska maalinvalmistajan mukaan riittävä pintalämpötila olisi 100 °C. Mikäli nykyistä lämpötilaa kyettäisiin laskemaan tulevaisuudessa, säästettäisiin kappaleen lämmittämiseen tarvittava energiamäärä sekä nopeutettaisiin kappaleen jäähtymistä seuraavaan vaiheeseen.

Maalaustestit yllättivät positiivisesti tartuntakokeen osalta. Käytännössä kaikki testit läpäisivät standardin ISO 12944-6 vaatimukset. Tämä on hyvä asia sen suhteen, että maalipinnan tarttuvuus ei heikkene välittömästi, mikäli prosessissa tapahtuu virheitä.

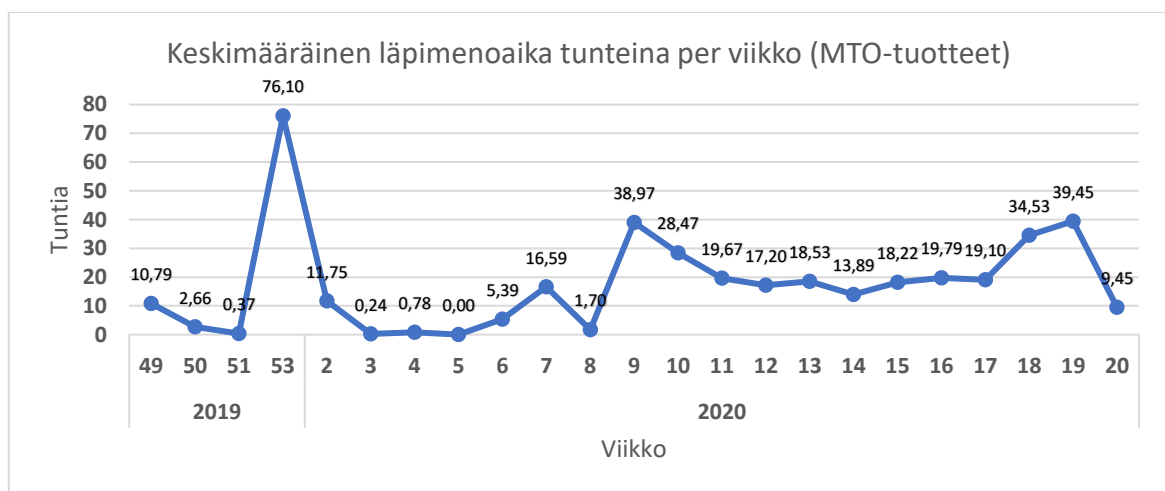
5.2 Tutkimuksen keskeiset tulokset ja jauhemaalaamon ohjaus (Control)

Lean Six Sigman ohjausvaiheessa on tarkoituksena suunnitella tarvittavat ohjaustoimet, joilla varmistetaan parannukset ja niiden säilyminen muutosten jälkeenkin. Monitoroimalla

prosessien suoritusarvoja, voidaan varmistaa suorituskyvyn säilyminen ja paraneminen. Tässä osiossa käydään läpi tutkimuksen aikana saavutetut keskeiset tulokset ja kuvataan, miten maalaamon parannusvaiheessa kehitettyjä korjaavia toimenpiteitä ohjataan tai suositellaan ohjattavaksi prosessin lopputuloksen varmistamiseksi.

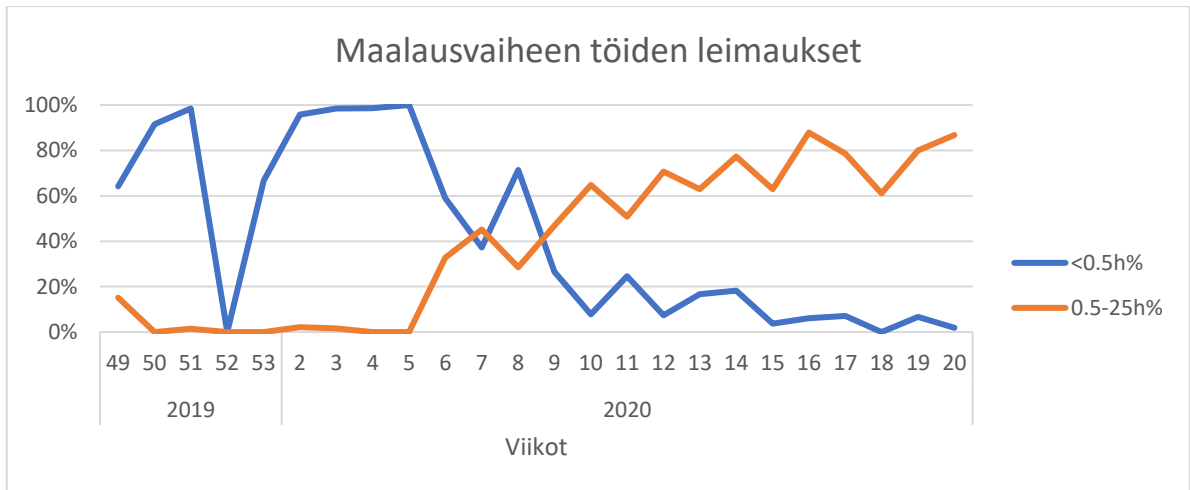
5.2.1 Maalaamon ohjaus

Läpimenoajan paranemisesta ei voida suoranaisesti mitata vielä tässä vaiheessa. Tämä johtuu siitä, että töiden leimauskäytännöissä oli pitkälti virheellisyyttä, eli käytännössä työt aloitettiin ja lopetettiin samaan aikaan, jolloin työvaiheen läpimenoajaksi tuli 0 minuuttia. Tämä taas aiheutti vääristymää läpimenoajan keskiarvoon. Tarkasteltaessa kuvan 40 kuvaajaa, nähdään, että viikosta 9 eteenpäin maalausvaiheen töitä aloitettiin kirjaamaan oikeaoppisesti. Toki vielä tällöinkin mukana oli virheellisiä leimauksia. Toinen mikä aiheutti vääristymää läpimenoaikaan, oli iltavuoron lopuksi jälkipoltolle jätetyt tuotteet. Jälkipoltolla tarkoitetaan sitä, että maalatut kappaleet jätetään uuniin tai uunitusjonoon päivän päätteeksi, josta ne siirtyvät automaattisesti säädetyn uunitusajan jälkeen pois uunista jäähtymään. Uunin lämmitys sammutetaan automaattisesti, kun viimeinen kappale on tullut uunista ulos. Kappaleet otetaan radalta alas seuraavana päivänä tai mahdollisesti viikonlopun jälkeen seuraavana arkipäivänä ja ne kuitataan valmiiksi vasta silloin. Tämä aiheuttaa läpimenoaika-mittariin myös vääristymää.



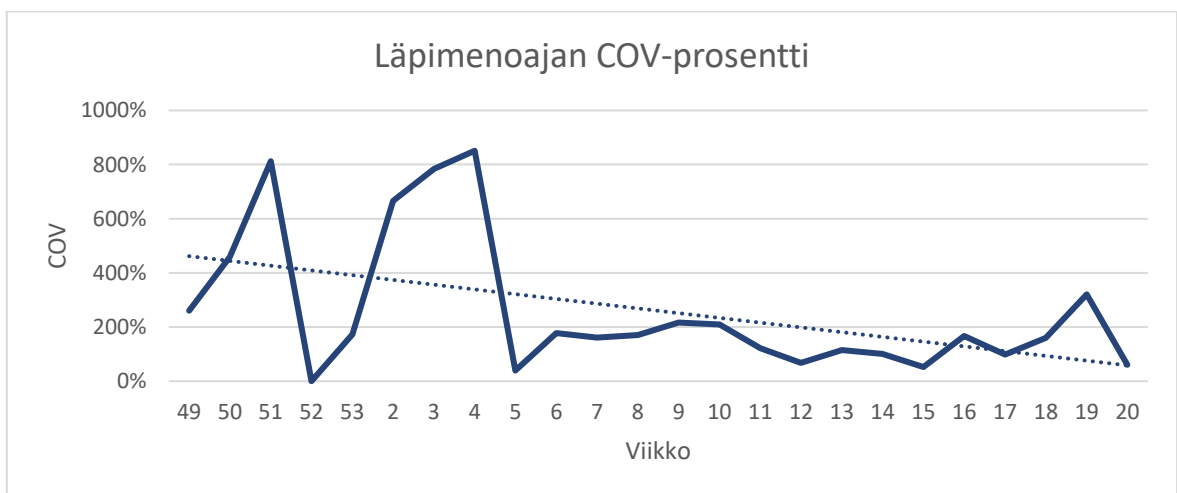
Kuva 40. Keskimääräinen läpimenoaika tunteina per viikko, 49/2019-20/2020.

Kuvassa 41 esitetty kuvaaja kertoo, miten hyvin maalausvaiheen töiden leimaukset kehittyivät tutkimuksen aikana. Sininen graafi esittää alle puolen tunnin leimausten osuutta kokonaisleimausten määrästä. Oranssi graafi kertoo 0,5-25 tunnin väliin osuvien leimausten osuuden kokonaisleimausten määrästä. Viikolla 20 alle puolen tunnin leimauksia oli vain 1,89 %, kun vastaavasti 0,5-25 tunnin leimauksia oli 86,79 %.



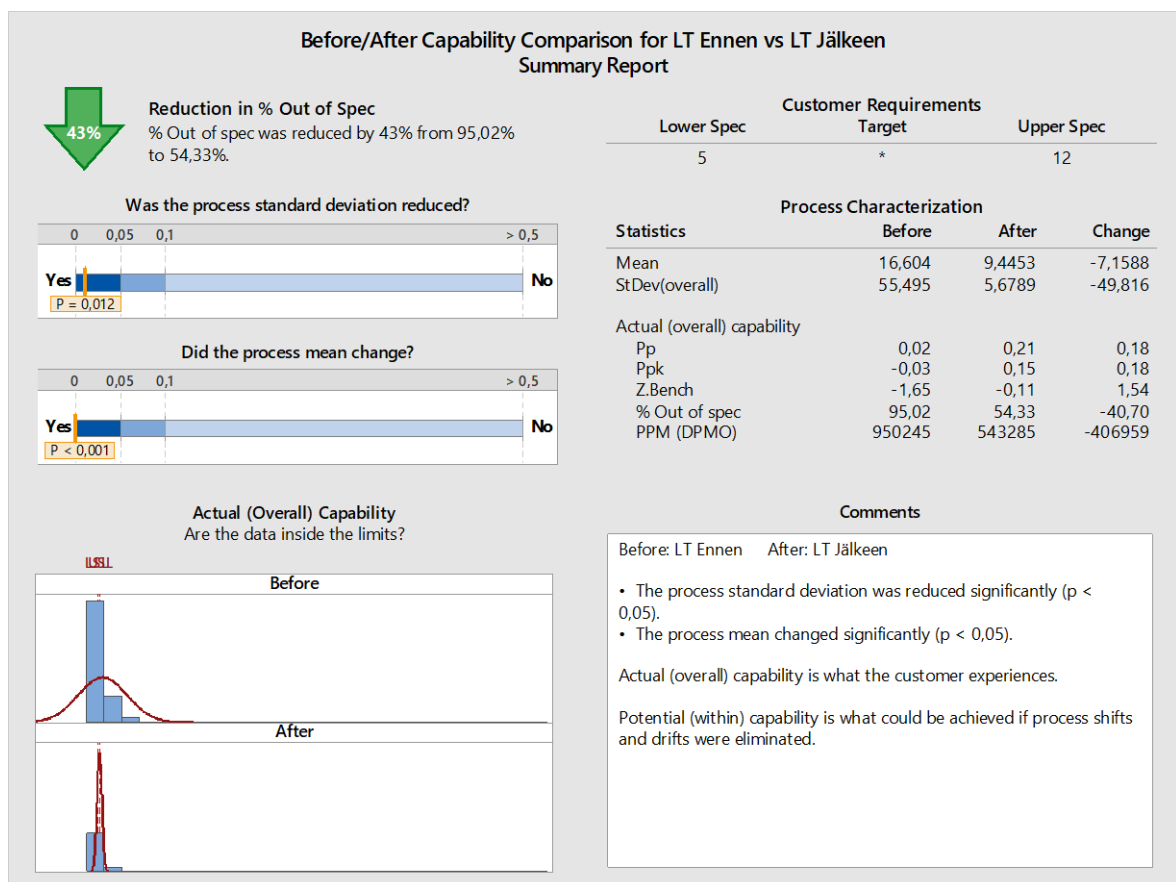
Kuva 41. Maalausvaiheen töiden leimaukset.

Läpimenoajan vaihtelukerrointa (COV, kts yhtälö 4) saatiin pienennettyä tehdyillä toimenpiteillä 803 prosentista (viikot 49/2019-5/2020) 60 prosenttiin (viikko 20). Tulos on varsin hyvä. Koko tutkimuksen aikainen läpimenoajan vaihtelukerroin viikkotasolla on esitetty kuvassa 42.



Kuva 42. Läpimenoajan COV-prosentti viikkotasolla, 49/2019-20/2020.

Kokonaisuudessaan arvioitaessa läpimenoajan parantumista suorituskykyanalyysilla, voidaan todeta, että suorituskyky parani lähtötilanteesta (viikot 49/2019-19/2020) 0,18 yksikköä (Kuva 43). Standardipoikkeama väheni 49,8 ja keskiarvo 7,2 tuntia. Viikot 49/2019-19/2020 otettiin tässä mittauksessa sen takia lähtötilanteeksi, koska varsinaiset muutokset näkyivät vasta viikon 20 tuloksessa. Täytyy kuitenkin huomioida, että viikon 20 tulos on vain yhden viikon mittainen eikä se anna välttämättä täydellistä kokonaiskuvaa prosessista.

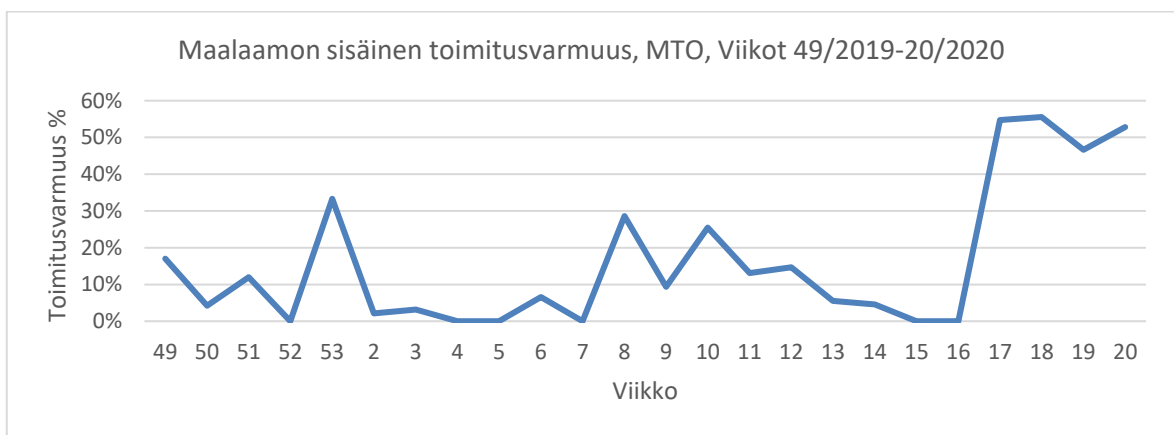


Kuva 43. Prosessin suorituskyky (LT) ennen ja jälkeen.

Läpimenoajan vaihteluun vaikutti myös positiivisesti se, että töitä alettiin tekemään entistä systemaattisemmin. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että kappaleet siirtyivät noin 30-45 minuutin välein prosessissa eteenpäin ns. linjatyönä.

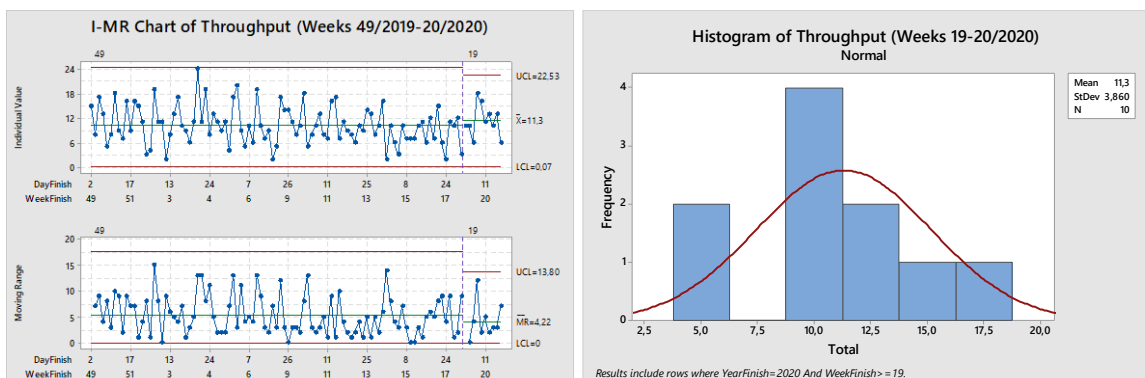
Maalaamon sisäinen toimitusvarmuus MTO-tuotteiden osalta parani viikon 16 jälkeen lähtötilanteesta moninkertaisesti (Kuva 44). Yksi syy tähän oli se, että tuotannosuunnittelija muutti ERP-järjestelmän reitityksiä niin, että maalaukselle varmistettiin riittävä ajoitus

järjestelmämielessä. Toinen syy oli se, että tuotannosuunnittelija siirsi kaikkien tuotantotilausten aloitusaikaa, koska tuotanto oli perässä. Molempien muutosten ajoitus osui viikolle 16. Tämän takia ei voida sanoa, että maalaamon sisäinen toimitusvarmuus olisi parantunut tehdyistä muutoksista. Yksi selkeä parannuskohde kuitenkin on, että kokoonpanon puskuripaikat pitää kyetä ajamaan täyteen, jotta maalaamo saadaan toimimaan, niin kuin oli alun perin suunniteltu. Tämä asia pitää kuitenkin korjata tulevaisuudessa.



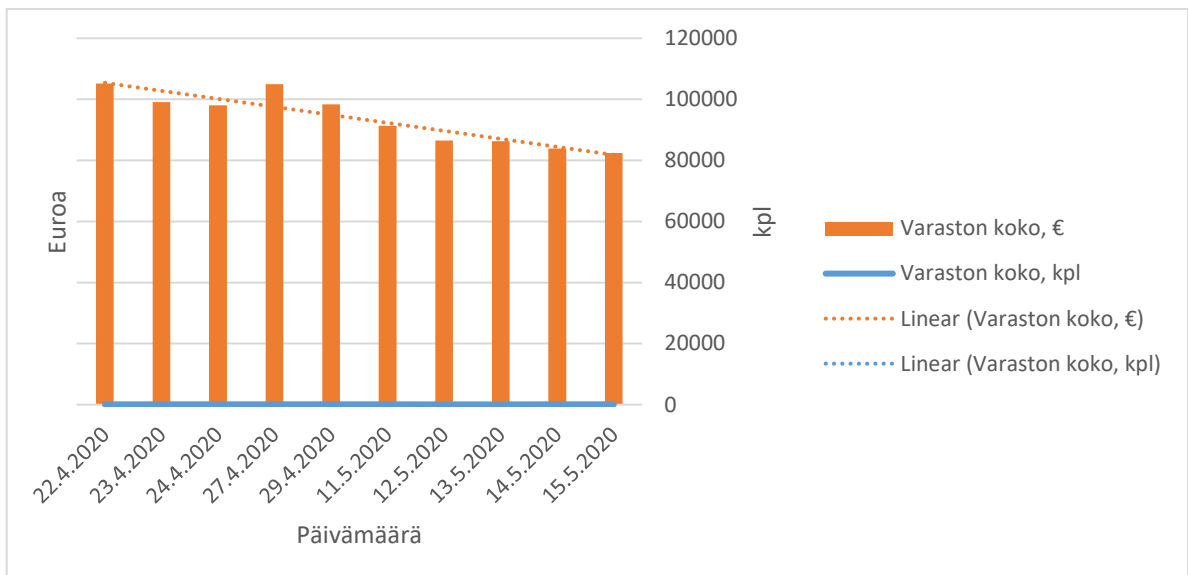
Kuva 44. Maalaamon sisäinen toimitusvarmuus, MTO, Viikot 49/2019-20/2020.

Maalaamon läpimenon keskiarvo alkutilanteessa oli 11,4 kpl per päivä ja standardipoikkeama 5,027. Näistä laskettu COV-prosentti oli 45 %. Tehtyjen muutosten ansiosta keskiarvo (11,3 kpl/päivä) pysyi suurin piirtein samana viikkojen 19 ja 20 aikana, mutta standardipoikkeama tippui 3,860 (Kuva 45). Näistä laskettuna COV-prosentiksi tuli 34 %. Päiväkohtaista vaihtelukerroinprosenttia saatiin pienennettyä 45 prosentista 34 prosenttiin.



Kuva 45. Maalaamon läpimenon (TH) I-mR-kaavio ja histogrammi (Viikot 19-20/2020).

Jauhemaalaaamon ohjauksen kannalta olennaisimmat muutokset olivat Kanban/CONWIP - ohjaus runkovalmistuksen ja maalaamon välissä. Kanban/CONWIP-korttien käyttö rajoittaa WIP:ä, jolloin keskeneräinen työ on käytännössä vakio. Kanban/CONWIP-korttien käyttöönotto maalaamon kannalta onnistui suhteellisen hyvin. Välivarastossa on kuitenkin vielä paljon komponentteja, jotka eivät ole korttiohjauksen piirissä. Nämä kortittomat rungot pitää maalata ennen kortillisia runkoja, jotta saadaan WIP laskemaan entisestään. Runkovalmistuksen osalta muutos vaatii kehitystoimenpiteitä jatkossa. Kuvassa 46 on esitetty runkovalmistuksen ja maalaamon välisen välivaraston koko, joka laski 22.4.2020-15.5.2020 välisenä aikana 21,6 %.



Kuva 46. Runkovalmistuksen ja maalaamon välinen välivarasto.

Maalaamon ohjauksen kontrollointiin suositellaan jatkossa systemaattista seuranta läpimenoaikojen, läpimenon ja toimitusvarmuuden osalta. On erittäin tärkeää seurata työnjohdossa maalaamon kannalta olennaisia suorituskykymittareita, jotta voidaan ohjata ja varmistaa prosessin oikea suunta. Maalaamon siisteyden osalta on hyvä jatkaa 5S-kehitysaskelaita eteenpäin. Työn tekeminen siistissä ympäristössä lisää työn viihtyvyyttä, parantaa työturvallisuutta ja tehostaa toimintaa. Yleisesti voidaan todeta, että maalaamon 2-vuoron kapasiteetti riittää teoriassa kolmen Willen pääkomponenttien maalaukseen. Tällöin ei ehditä maalaamaan mitään muita komponentteja, mutta asia on hyvä pitää mielessä suunniteltaessa kapasiteetin nostoa tulevaisuudessa.

5.2.2 Maalauslaatu

Maalauslaadun osalta löydettiin koesuunnittelulla keskeiset muuttujat, jotka vaikuttivat maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaaliseen pinnanlaatuun. Nämä muuttujat olivat pintamaalin pintalämpötila, konversiopinnoituspesukoneen PH-pitoisuus ja pohjamaalin pintalämpötila. Näiden muuttujien osalta ei tehty kuitenkaan varsinaisia muutoksia prosessiin, koska niiden parametrit olivat jo nykyisellään lähellä testattujen tasojen parempia tasoja. On kuitenkin huomattava, että jauhemaalauksen polttoajoilla on merkittävä vaikutus maalipinnan tarttuvuuteen ja pinnan visuaaliseen laatuun. Tämän takia maalauslaadun kontrolloimiseksi suositellaan, että maalatuille kappaleille suoritetaan kiiltomittaus, jotta varmistetaan mahdolliset ongelmat maalauksen polttoajoissa. Mikäli maalattu kappale on ns. alipoltettu, jää maalipinnan kiilto tällöin normaalia alhaisemmaksi. Myös konversiopinnoituspesukoneen systemaattinen pesu ja veden pitoisuuksien tarkistaminen on PH-pitoisuuksien kannalta välttämätöntä. Tähän suositellaan työnjohdon toimesta tapahtuvaa säännöllistä auditointia.

Jatkossa on myös hyvä tutkia nykyisiä muuttujia entistä tarkemmin ja selvittää muun muassa, onko pohjamaalin pintalämpötilaa mahdollista laskea 100 °C ja saavuttaa tällöin nopeampaa jäähtymistä sekä pienempää energiankulutusta. Myös konversiopinnoituspesukoneen parametrien optimointi koesuunnittelun avulla on yksi kehityskohde, jota kannattaa yrityksessä pohtia.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimustyön päätarkoituksena oli tutkia millä menetelmillä voidaan parantaa kohdeyrityksen jauhemaalaaamon maalausprosessia niin, että se tuottaa tasalaatuista pintakäsittelyä tuotantosuunnitelman vaatimassa järjestyksessä. Tutkimuksen alussa selvisi varsin nopeasti, että maalausprosessissa ei käytetä varsinaisia suorituskykymittareita lainkaan. Tämä aiheutti sen, että suorituskykymittareita piti kehittää välittömästi, jotta saatiin selvitettyä maalaamon nykytila. Mittareissa pystyttiin käyttämään kuitenkin ERP-järjestelmästä saatua informaatiota, mutta varsinkin tuotantotilausten virheelliset kirjaukset aiheuttivat suuria vääristymiä niihin. Virheellisillä kirjauksilla tarkoitetaan tuotantotilausten aloitusta ja lopetusta samaan aikaan, jolloin läpimenoajaksi tulee 0 tuntia tai minuuttia. Nämä virheelliset leimaukset olivat yleisesti hyväksyty toimintatapa. Suorituskykymittareiden käytössä ja niiden hyödyntämisessä yrityksen kehittämiseen on kohdeyrityksessä vielä paljon parannettavaa. Suorituskykymittarit ovat tärkeitä johdettaessa henkilöstöä ja prosesseja yrityksen strategian mukaisesti.

Kohdeyrityksen tuotantotilausten ohjaus oli toteutettu puhtaasti työntöohjauksena. Maalausprosessi toimii Wille ympäristöhoitokoneiden ensimmäisenä työvaiheena ja käynnistää näin ollen Willen tuotantotilauksen. Willen ja suurin osa siihen kuuluvista lisälaitteista valmistetaan MTO-tyyppisenä tuotantotilauksena. Runkovalmistus valmistaa kuitenkin maalattavat rungot puolivalmiina varastoon MTS-tilauksina. Kaikkia näitä tilauksia ohjaa ERP-järjestelmän MRP-ohjaus, joka aikatauluttaa tuotantotilaukset asetettujen parametrien mukaisesti eli työntää ne tuotantoon. Kirjallisuuden mukaan, tämän kaltaiseen tuotantoympäristöön sopivampi ohjaustapa on käyttää molempia sekä työntö- että imuohjausta. ERP-järjestelmällä suunnitellaan ja luodaan aikataulu työntöohjauksella, mutta itse valmistusta ohjataan imuohjauksella. Tutkimuksen parannusvaiheessa luotiin Kanban/CONWIP-korttiohjaukset sekä runkovalmistuksen ja maalaamon väliin, että maalaamon ja kokoonpanon väliin. Valitettavasti korttiohjauksen täydestä toiminnasta ei saatu tämän tutkimuksen aikana täyttä hyötyä irti, koska esimerkiksi kokoonpanon puskuripaikkoja ei saatu ajettua täyteen ja runkovalmistuksesta valmistuneiden runkojen WIP ei ehtinyt laskea halutulle tasolle. Keskeneräisen työn määrä saatiin laskettua ja varaston rahallinen arvo putosi tutkimuksen viimeisten viikkojen aikana 21,6 %.

Maalauksen työjärjestelyissä havaittiin paljon epäselvyyksiä ja hukkaa. Aina ei ollut selvää, että kuka työn tekemistä johti ja ohjasi. Kokoonpanon työnjohtajat kävivät vuorollaan ”huutamassa” tarpeitaan maalaamoon ja maalaushenkilöstö koitti parhaansa mukaan täyttää heidän toiveitaan. Ilman ammattitaitoista maalaushenkilöstöä koko prosessi olisi voinut olla vieläkin sekaisempi. Kanban-kortit kokoonpanossa kuitenkin selkeyttivät maalauksen ohjauksen paremmaksi. Korttien lisäksi maalaamoon asennettiin valkotaulu, jota ryhdyttiin käyttämään Kanban-työkaluna. Taulun avulla saatiin maalaamon työjono visuaaliseksi ja koko henkilöstön oli helpompi seurata missä vaiheessa minkäkin tuotantotilauksen runko etenee. Maalausprosessin kehittämisessä käytiin läpi myös itse tekeminen. Esimerkkien avulla havainnollistettiin systemaattinen toimintatapa, jossa rungot etenevät vaihe vaiheelta eteenpäin jonona. Töitä ei tehdä valmiiksi eri vaiheisiin odottamaan, vaan ne tehdään tarpeeseen. Tämänkaltaisen systemaattisen vain tarpeeseen tehtävä työtapa oli täysin uusi asia sekä työnjohdolle, että maalaamon henkilöstölle. Aiemmin maalaamon alueella oli paljon keskeneräisiä töitä. Kaikkien näiden muutosten ansiosta viikon 20 keskimääräinen läpimenoaika oli 9,45 tuntia. Tämä tulos on erittäin hyvä tässä tilanteessa, vaikka kaikki muutokset eivät ole täysin toiminnassa.

Maalauslaadun osalta tutkittiin mitkä tekijät vaikuttavat eniten maalipinnan tarttuvuuteen ja visuaaliseen pinnanlaatuun. Projektiryhmäideoi lähes 100 kpl erinäköisiä muuttujia, jotka vaikuttivat ryhmän mielestä joko maalipinnan tarttuvuuteen tai visuaaliseen pinnanlaatuun. Näistä muuttujista suodatettiin erilaisten työkalujen avulla pois 85 muuttujaa ja jätettiin jäljelle 13 muuttujaa, joita testattiin Blackett-Burmanin DOE-kokeella. Koe suoritettiin kahdella eri tasolla ja 20 eri koekappaleelle. Jokaiseen koekappaleeseen toteutettiin testausmatriisin mukaisesti muuttujien muutokset kahden tason välillä. DOE-koe onnistui teknisesti todella hyvin ja löysimme projektiryhmän kanssa vastaukset tutkimuskysymykseen. Maalipinnan tarttuvuuteen vaikutti eniten pintamaalauksen polttouunituksen pintalämpötila, pintakalvonpaksuus, konversiopinnoituksen PH-pitoisuus, pintamaalauksen jännite, kappaleen maadoitus sekä pintamaalauksen virta. Maalipinnan visuaaliseen laatuun vaikuttivat eniten pintamaalauksen polttouunituksen pintalämpötila, konversiopinnoituksen PH-pitoisuus ja pohjamaalauksen pinnan lämpötila. Pintamaalauksen polttouunituksen lämpötilalla oli myös suora yhteys maalipinnan kiiltoasteeseen. Mikäli pintamaalin kappalelämpötila ei nouse riittävän korkeaksi, jää maalipinnan kiilto normaalia matalammaksi. Kiiltomittaus on jatkossakin erittäin tärkeää

suorittaa, jotta voidaan havaita ongelmat maalatun kappaleen uunituksessa. Kiilto mittauksella voidaan havaita myös maalivalmistajan mahdolliset virheet jauhemaaleissa.

ERP-järjestelmän käyttö ainoana ohjausmenetelmänä maalaamon tehokkaaseen ohjaukseen ei ole käytännössä mahdollista tämän kaltaisessa toimintaympäristössä, jossa vaihtelua on erityisen paljon ja ERP-järjestelmällä ei ole näkymää valmistuksen tilaan. Tehokkain menetelmä ERP-järjestelmän käytössä, on luoda tuotantotilaukset työntöohjauksena ja toteuttaa itse valmistus imuohjauksena. Tutkimuksen aikana kysyttiin myös SAP-toimittajalta mahdollisuutta ohjata kohdeyrityksen SAP-järjestelmällä Kanban-kortteja. Vastauksena oli, että Kanban-korttiohjaus voidaan toteuttaa SAP-järjestelmällä. On kuitenkin järkevää lähteä visuaaliseen Kanban/CONWIP-korttiohjaukseen aluksi, jotta ihmiset oppivat koko imuohjausideologian. Jatkossa kannattaa miettiä mitä hyötyjä saavutetaan, jos korttiohjaus implementoidaan SAP-järjestelmään.

Suosituksat jatkotoimenpiteiksi ja tutkimusideoiksi

Tämän tutkimuksen pohjalta Vilakone Oy:n jauhemaalaamossa on erinomaiset mahdollisuudet jatkokehittää toimintaansa entistä tehokkaammaksi ja ketterämmäksi. Maalaamon sekä muun tuotannon tehokas kehittäminen edellyttää kuitenkin jatkossa suorituskykymittareiden implementointia, tavoitteiden asettamista ja niiden jatkuvaa seuranta. Maalaamon osalta suorituskykymittarit ovat nyt tämän tutkimuksen osalta käyttökunnossa ja niiden seuranta tulisi jatkossa vastuuttaa tuotannon esimiehille. Jatkotoimenpiteinä suositellaan myös, että runkovalmistuksen ja kokoonpanon puskurit ajetaan täyteen ja omaksutaan systemaattinen työtapo maalaamossa. Uuden tehokkaamman työtavan omaksuminen vaatii kuitenkin jatkuvaa esimiesten tukea ja maalaamon oikeaa resurssimäärää.

Tutkimuksen aikana havaittiin myös, että esimerkiksi Willen takanostimet maalataan useamman kappaleen erissä kokoonpanon hyllyyn (MTS). Maalaus on takanostimien reitityksen viimeinen vaihe. Takanostimissa on useita eri kiinnitysmalleja, joten maalaamoon tulee useasti näitä eriä maalattavaksi. Suosituksena on, että tutkittaisiin mahdollisuutta muuttaa takanostimien sekä muiden vastaavien komponenttien reititystä niin,

että kappaleet valmistettaisiin runkovalmistuksesta maalaamon hyllyyn ja maalaus lisättäisiin Willen reitille. Näin maalaamo pystyisi maalaamaan takanostimet kokoonpanon oikea-aikaiseen tarpeeseen.

Maalauslaadun tutkimuksessa havaittiin, että konversiopinnoituspesukoneen PH-arvot olivat yksi kriittisimmistä tekijöistä, jotka vaikuttivat sekä maalipinnan tarttuvuuteen ja pinnanlaatuun. Yhtenä tärkeänä lisätutkimuskohteena olisikin tutkia tarkemmin pesukoneen optimaalisia arvoja ja miettiä mahdollisuutta käyttää automaatiota mittausten tekemiseen.

LÄHTEET

Agustiady, T. & Adedeji B, B. 2012. Sustainability: Utilizing Lean Six Sigma Techniques. Taylor & Francis Group, Baton Rouge. [Viitattu 2.5.2020]. Saatavissa: ProQuest Ebook Central. 243 s.

Arcidiacono, G., Calabrese, C. & Yang, K. 2012. Leading processes to lead companies: Lean Six Sigma. Springer: Verlag Italia. 334 s.

Chiarini, A. 2013. Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office. Bologna: Springer-Verlag. 166 s.

Dale, B., Wiele, T. & Iwaarden, J. 2013. Managing Quality. 5. painos. John Wiley & Sons Ltd. 642 s.

Haverila, M., Uusi-Raula, E., Kouri, I. & Miettinen, I. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere: Tammer-Paino Oy. 509 s.

Hopp, W, J. & Spearman, M, L. 2001. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management. 2nd Edition. New York: Irwin/McGraw-Hill. 698 s.

ISO 13053-1. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 1: DMAIC-menetelmä. Geneve: International Organization for Standardization. s. 70.

John, A., Meran, R., Roenpage, O. & Staudter, C. 2008. Six Sigma+Lean Toolset. Springer: Verlag Berlin Heidelberg. 315 s.

Karjalainen, E. 1992. Teollinen koesuunnittelu. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto. 162 s.

Karjalainen, E. 2017. Lean Six Sigma Green Belt. Opetusmateriaali. Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Karjalainen, T. 2007. Koesuunnittelu - Tehokas prosessin sekä datankeräys- ja analysointimenetelmä [www-artikkeli]. [Viitattu 19.4.2020]. Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/koesuunnittelu-tehokas-prosessin-sekae-datankeraeys-ja-analysoin/>

Kouri, I. 2010. Lean Taskukirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry. 36 s.

Lähteenmäki, M. & Leiviskä, K. 1998. Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät. Oulu: Oulun Yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/267373665_Tilastollinen_prosessinohjaus_perusteet_ja_menetelmat

Martin, K. & Osterling, M. 2014. Value Stream Mapping - How to Visualize Work and Align Leadership for Organizational Transformation. US: McGraw-Hill. 195 s.

Minitab Blog Editor. 2016. Process Capability Statistics: Cpk vs. Ppk [Verkkodokumentti]. Julkaistu 12.8.2016. [Viitattu 18.4.2020]. Saatavissa: <https://blog.minitab.com/blog/process-capability-statistics-cpk-vs-ppk>

Piirainen, A. 2014. Vaihdelu. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy. s.187.

Wille 465. 2020. [www-tuotedokumentti]. [Viitattu 9.2.2020]. Saatavissa: <https://www.willemachines.com/fi/koneet/465>

YTM-Industrial Oy. 2020. Adheesiotesterit [www-tuotedokumentti]. [Viitattu 18.4.2020]. Saatavissa: <https://www.ytm.fi/tuotteet/mittaus-testaus-ja-tyoturvallisuus/mittaus-ja-testauslaitteet/adheesiotesterit/#1122-tuote-esitteet-elcometer>

Maalaamon prosessikuvaus

Prosessikuvaus:		Jauhemaalaimon kehitys										Päivitys 22.3.2020								
x = sisätilaveit	1 Rasvanpoistopesu	->y1	2 Reakulapuhallus	->y2	3 Konversioinnointu	->y3	4 Maalasuojat	->y4	5 Pohjamaalaus	->y5	6 Uunitus (Pohja)	->y6	7 Iähditys (Pohja)	->y7	8 Pintamaalaus	->y8	9 Uunitus (Pinta)	->y9	10 Iähditys (Pinta)	y = Raaka-aste
Maalari	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	y5	x1 = muuttajat	
Pesijä	C. Pesuaine	Kappaleen puhkaus	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	C. Puhalluksen kesto	
Puhallaja	C. Vedin lämpötila	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	N. Rakoiden puhkaus	
Maalattava kpl	C. Vedin määrä	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	C. Rakoiden koko	
Jauhemaalari	C. Pesijä	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	C. Kappaleen asento	
Vesi	C. Pesuainetta	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	
Reaktio	C. Pesuainetta	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	
Konversioinnointu	N. Bujon lämpötila	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	C. Työvälineiden puhkaus	
Suojat	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	C. Nostolinne	
Reakulapuhallus																				
Nestekasa																				
Mäläyslaitteet																				
Maalaamon rata																				

Muuttajatyypit
 N = Noise
 C = Ohjattava
 SOP = Standardi
 menetetytapa
 k = kritinen teijä

XY-matriisi

XY matriisi		Jauhealaamon kehitys					Ulkolait (N%)		Painotettu luk.	
Päivitetty 12.3.2020							1	2		
Prosessi vaihe	Muuttujan nimi	Tyyppi (y/X/x)	Luokka (S/C/N/K et R)	Vastimuks et	Rank (1-10)	10	8	Prioritettu luk.		
48	5 Pohjamaalaus	Kappaleen puhtaus	x	C		9,5	8,8	165,67		
74	8 Pintamaalaus	Kappaleen puhtaus	x	C		9,5	8,7	164,33		
29	2 Raekuulapuhallus	Kappaleen puhtaus	y2			9,8	8,0	162,33		
22	1 Rasvanpoistopesu	Kappaleen rasvaisuus	y1			9,3	8,5	161,33		
82	8 Pintamaalaus	Kalvonpaksuus	y8			8,2	9,3	156,33		
86	9 Uunitus (Pinta)	Uunitus aika	x	x		9,3	7,8	156,00		
55	6 Uunitus (Pohja)	Uunitus aika	x	x		10,0	6,8	154,67		
20	1 Rasvanpoistopesu	Rungon likaisuus	x	N		9,2	7,7	153,00		
21	1 Rasvanpoistopesu	Kappaleen puhtaus	y1			9,0	7,8	152,67		
85	9 Uunitus (Pinta)	Uunin lämpötila	x	x		9,0	7,7	151,33		
28	2 Raekuulapuhallus	Pinnan karheus	y2			9,2	7,2	149,00		
81	8 Pintamaalaus	Hionta	x	x		7,8	8,8	149,00		
40	4 Maalauosuojat	Työhanskojen puhtaus	x	C		8,5	7,8	147,67		
38	3 Konversiopinnointi	"lentoruoste"	y3			8,8	7,0	144,33		
54	6 Uunitus (Pohja)	Uunin lämpötila	x	x		8,8	7,0	144,33		
80	8 Pintamaalaus	Vetoniittien puhtaus	x	x		8,3	7,3	142,00		
75	8 Pintamaalaus	Ilman puhtaus	x	N		7,7	8,0	140,67		
45	5 Pohjamaalaus	Laitteiston kunto	x	C		7,8	7,7	139,67		
32	3 Konversiopinnointi	Kyllyn pitoisuus	x	C		8,8	6,3	139,00		
35	3 Konversiopinnointi	Työhanskojen puhtaus	x	C		8,0	7,2	137,33		
84	8 Pintamaalaus	Pinnantasaisuus	y8			6,0	9,7	137,33		
49	5 Pohjamaalaus	Ilman puhtaus	x	N		7,2	8,2	137,00		
53	5 Pohjamaalaus	Kalvonpaksuus	y5			7,2	8,0	135,67		
30	3 Konversiopinnointi	PH-arvot	x	C		8,0	6,8	134,67		
39	3 Konversiopinnointi	Pinnon väri	y3			7,2	7,7	133,00		
23	2 Raekuulapuhallus	Puhalluksen kesto	x	C		8,3	6,0	131,33		
72	8 Pintamaalaus	Laitteiston kunto	x	C		7,0	7,7	131,33		
8	INPUT	Konversiopinnointusaine	x			8,2	6,2	131,00		
27	2 Raekuulapuhallus	Työhanskojen puhtaus	x	C		7,3	7,2	130,67		
14	1 Rasvanpoistopesu	Pesuaineen seossuhde	x	C		7,8	6,5	130,33		
43	5 Pohjamaalaus	Jännite	x	C		6,7	7,8	129,33		
44	5 Pohjamaalaus	Virta	x	C		6,7	7,8	129,33		
61	6 Uunitus (Pohja)	Kappaleen pintalämpötila	y6			7,8	6,3	129,00		
24	2 Raekuulapuhallus	Rakeiden puhtaus	x	N		7,8	6,0	126,33		
91	9 Uunitus (Pinta)	Kappaleen pintalämpötila	y9			7,7	6,2	126,00		
3	3 Konversiopinnointi	Koneen suuttimien puhtaus	x	C		7,7	6,0	124,67		
42	4 Maalauosuojat	Suojatuppien puhtaus	x	C		6,7	7,2	124,00		
69	8 Pintamaalaus	Jännite	x	C		6,0	8,0	124,00		
70	8 Pintamaalaus	Virta	x	C		6,0	8,0	124,00		
50	5 Pohjamaalaus	Ilman kosteus	x	N		7,0	6,5	122,00		
33	3 Konversiopinnointi	Prosessiaika	x	S		7,0	6,3	120,67		
76	8 Pintamaalaus	Ilman kosteus	x	N		7,0	6,3	120,67		
31	3 Konversiopinnointi	Veden laatu	x	N		7,2	6,0	119,67		
37	3 Konversiopinnointi	Nostovalineen puhtaus	x	C		7,3	5,7	118,67		
15	INPUT	Maaliala-aiheet	x			5,7	7,7	118,00		
1	INPUT	Pesuaineet	x			6,8	6,2	117,67		
79	8 Pintamaalaus	Kappaleen lämpötila	x	C		7,2	5,7	117,00		
2	INPUT	Pesijä	x			7,3	5,2	114,67		
73	8 Pintamaalaus	Maalari	x	C		4,8	8,2	113,67		
18	1 Rasvanpoistopesu	Pesuainet	x	C		6,8	5,5	112,33		
83	8 Pintamaalaus	Kiilto	y8			4,8	8,0	112,00		
15	1 Rasvanpoistopesu	Veden lämpötila	x	C		7,0	5,2	111,33		
47	5 Pohjamaalaus	Maalari	x	C		5,3	7,2	110,67		
4	4 Maalauosuojat	Suojatuppien materiaali	x	S		5,7	6,7	110,00		
1	INPUT	Maalari	x			3,8	8,3	105,00		
16	1 Rasvanpoistopesu	Veden määrä	x	C		6,3	5,0	103,33		
25	2 Raekuulapuhallus	Rakeiden koko	x	C		6,2	5,0	101,67		
77	8 Pintamaalaus	Ilman lämpötila	x	N		5,5	5,7	100,33		
5	INPUT	Jauhemaal	x			5,7	5,3	99,33		
52	5 Pohjamaalaus	Kappaleen lämpötila	x	N		6,0	4,8	98,67		
10	INPUT	Raekuulapuhallusrakenteet	x			6,0	4,7	97,33		
45	5 Pohjamaalaus	Jauheen erä	x	N		5,5	5,2	96,33		
19	1 Rasvanpoistopesu	Pesuaine	x	C		5,8	4,7	95,67		
9	INPUT	Puhallattajat	x			5,7	4,8	95,33		
34	3 Konversiopinnointi	Kappaleiden sijoitus	x	C		5,7	4,8	95,33		
6	INPUT	Vesi	x			5,2	4,5	87,67		
51	5 Pohjamaalaus	Ilman lämpötila	x	N		5,2	4,3	86,33		
58	6 Uunitus (Pohja)	Kappaleen massa	x	C		5,8	3,3	85,00		
59	6 Uunitus (Pohja)	Kappaleen muoto	x	N		5,2	4,2	85,00		
17	1 Rasvanpoistopesu	Pesijä	x	C		5,2	4,0	83,67		
26	2 Raekuulapuhallus	Kappaleen asento	x	C		4,7	4,5	82,67		
4	INPUT	Maalattava kpl	x			4,0	5,2	81,33		
71	8 Pintamaalaus	Jauheen erä	x	N		4,7	4,3	81,33		
90	9 Uunitus (Pinta)	Kappaleen muoto	x	N		4,7	4,3	81,33		
9	INPUT	Suojatupat	x			3,7	2,7	78,00		
56	6 Uunitus (Pohja)	Uunin käyttöaste	x	C		5,0	3,3	76,67		
87	9 Uunitus (Pinta)	Uunin käyttöaste	x	C		4,3	4,2	76,67		
60	6 Uunitus (Pohja)	Kappaleen pinta-ala	x	C		4,8	3,3	75,00		
66	7 Jäähdytys (Pohja)	Jäähdytysaika	x	C		4,2	4,2	75,00		
89	9 Uunitus (Pinta)	Kappaleen massa	x	C		5,2	2,8	74,33		
13	INPUT	Maalaamon rata	x			3,2	5,3	74,33		
91	9 Uunitus (Pinta)	Kappaleen pinta-ala	x	C		4,2	4,0	73,67		
7	Jäähdytys (Pohja)	Kappaleen pintalämpötila	y7			4,2	3,8	72,33		
65	7 Jäähdytys (Pohja)	Uunin lämpötila	x	N		5,0	2,7	71,33		
63	7 Jäähdytys (Pohja)	Kappaleen muoto	x	N		4,8	2,8	71,00		
64	7 Jäähdytys (Pohja)	Kappaleen massa	x	C		4,2	3,7	71,00		
57	6 Uunitus (Pohja)	Kappaleen asento	x	C		4,0	3,8	70,67		
97	10 Jäähdytys (Pinta)	Jäähdytysaika	x	C		3,8	3,7	67,67		
11	INPUT	Nestekaasu	x			5,0	2,2	67,33		
65	7 Jäähdytys (Pohja)	Kappaleen pinta-ala	x	C		3,7	3,5	64,67		
78	8 Pintamaalaus	Maalin väri	x	N		3,0	4,3	64,67		
96	10 Jäähdytys (Pinta)	Kappaleen massa	x	C		3,8	3,2	63,67		
96	10 Jäähdytys (Pinta)	Kappaleen pinta-ala	x	C		3,8	3,2	63,67		
9	INPUT	Kappaleen asento	x	C		3,2	3,0	55,67		
89	9 Uunitus (Pinta)	Kappaleen asento	x	C		3,3	2,7	54,67		
93	10 Jäähdytys (Pinta)	Ilman lämpötila	x	N		3,2	2,8	54,33		
98	10 Jäähdytys (Pinta)	Kappaleen asento	x	C		3,0	2,5	50,00		
94	10 Jäähdytys (Pinta)	Kappaleen muoto	x	N		2,8	2,5	48,33		

Arvovirtakuvaus Kaizen Burst (VSM)

