

Juho Valkola

KIINTOKALUSTETUOTANNON SIMULOINTI

Tapahtumapohjaisen diskreetin simuloinnin hyödyntäminen Lean ja Six sigma DMAIC -perusteisessa kehitystutkimuksessa

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

ABSTRACT

| | | |
|--|------------------------------|---------------------------------------|
| Centria-ammattikorkeakoulu | Aika Joulukuu 2017 | Tekijä/tekijät Juho Valkola |
| Koulutusohjelma Tuotantotalous | | |
| Työn nimi KIINTOKALUSTETUOTANNON SIMULOINTI. Tapahtumapohjaisen diskreetin simuloinnin hyödyntäminen Lean ja Six sigma DMAIC -perusteisessa kehitystutkimuksessa. | | |
| Työn ohjaaja Sakari Pieskä, Tapio Malinen | | Sivumäärä 94 + 11 |
| Työelämäohjaaja Tommi Hietala | | |
| <p>Toimeksiantoyrityksen kalustetuotantoprosessin vaihe, jossa valmiit kaapit lastataan rekkaan, ei ollut täysin hallinnassa ja se oli prosessin pullonkaula. Lastaustyövaiheeseen kuuluva aika vaihteli paljon. Tämä johti siihen, että sitä edeltävän työvaiheen oli aika-ajoin keskeytettävä kaappien valmistaminen. Vasta kun lastausvaihe saa kaikki lastausta odottavat kaapit eteenpäin, sitä edeltävä työvaihe voi jatkaa kaappien valmistamista. Pullonkaula lastaustyövaiheessa hidastutti näin koko tuotantoa. Ratkaisuksi ongelmaan oli esitetty välivarastoinnin käyttöönottamista lastaustyövaiheen ja sitä edeltävän työvaiheen väliin. Välivarasto puskuroisi lastausvaiheen ajoittaisia tuotannon hidastuksia, jolloin sitä edeltävän työvaiheen ei tarvitsisi keskeyttää kaappien valmistusta.</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantona oli selvittää kokeellisin menetelmin, miten esitetty välivarasto pitäisi mitoittaa, jotta siitä saatavat hyödyt suhteessa sen vaatimiin investointeihin olisivat mahdollisimman suuret. Välivaraston mitoittamiseksi täytyi selvittää, kuinka paljon kaappeja puskuriin optimaalisesti tulisi mahtua. Kustannusten minimoimiseksi kokeet tätä selvitystä varten oli tehtävä simulaation avulla. Toissijaisesti oli pohdittava parannuksia lastaustyövaiheeseen, jotta lastaukseen kuluva aikaa voisi vähentää ja siten myös puskurin kokoa pienentää.</p> <p>Opinnäytetyöprojektin pohjana käytettiin Six Sigma-toimintamallin kehittämismenetelmää, missä sekä määrällisen että laadullisen tutkimuksen periaatteet yhtyvät. Simuloinnin vaatimukset kuitenkin korostivat määrällisen tutkimuksen menetelmiä, joten asioiden kuten mittaamisen ja tilastotieteiden rooli tässä työssä oli suuri. Työn tulos muodostui näillä tutkimusmenetelmillä hankitun tiedon ohjelmoinnista simulaatioon ja simulaatiota sekä sen tuloksia analysoimalla.</p> <p>Opinnäytetyö toi toimeksiantajalle lisätietoa tutkitusta prosessista. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan olleet tarpeeksi luotettavia, sillä projektin suorituksessa ei huomioitu kokeellisen mallin verifiomis- ja validoimisvaatimuksia tarpeeksi tarkasti. Tutkimus päättyi siihen, että prosessista olisi kerättävä lisää tietoa ja että eri työvaiheiden vuorovaikutuksia tulisi huomioida paremmin. Sitten kokeen perustana olevat oletukset olisi tarkistettava ja suoritettava kokeet uudelleen hyödyntäen kerättyä lisätietoa.</p> | | |

| |
|--|
| Asiasanat Projektisuunnittelu, Prosessidata, Teoreettinen todennäköisyysjakauma, Tilastollinen testaus, Vaihtelun hallinta |
|--|

ABSTRACT

| | | |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| Centria University of Applied Sciences | Date December 2017 | Author Juho Valkola |
| Degree programme Industrial Management | | |
| Name of thesis SIMULATION OF FURNITURE PRODUCTION. Utilizing discrete-event system simulation in Lean and Six Sigma based improvement study. | | |
| Instructor Sakari Pieskä, Tapio Malinen | | Pages 94 + 11 |
| Supervisor Tommi Hietala | | |
| <p>The furniture production processing step under research in this thesis, where ready-made cabinets are loaded to trucks, is not entirely under control and is a bottleneck in the production process. The time it takes to load the trucks vary a lot. This leads to a problem where the previous processing step has to stop manufacturing more cabinets. This upstream process can only restart production when all the cabinets in the loading area are sent forward. Thus the bottleneck slows down the entire production line. A proposed solution for this problem is to deploy a work in process inventory in between the loading process and the processing step before it. The inventory would buffer the occasional delays in the loading process so that the processing step before it would not have to stop production anymore.</p> <p>The assignment for this thesis was to experimentally find out what the proposed inventory's size should be so that the gains from it in relation to the investments it requires would be as high as possible. This means that the optimum number of cabinets to be stored in the inventory must be determined. In order to minimize costs, the experiment had to be done using a simulation. A secondary objective for this thesis was to develop ways for improving the loading process. Improving the process lessens the time required for loading and in that way reduces the size of the to-be work-in-process inventory.</p> <p>This project was based on Six Sigma improvement methodology, where principles from both quantitative and qualitative research are combined. However, the requirements for performing a simulation study emphasized qualitative methods, so things like measurements and statistics had a major role in this thesis. The information obtained by means of all these research methodologies was programmed into a simulation. Conclusions for this research formed through analyzing the simulation and its results.</p> <p>This thesis gave the client company more insight into the studied process. The results of the research were not reliable enough to use though, because the verification and validation requirements of the experimental model were not considered precisely enough. The end result was that more information should be gathered from the process and also pay more attention to the interaction of different processing steps. Then the assumptions on which the experimentation were based on should be checked and experiments redone utilizing the new information.</p> | | |

| |
|---|
| <p>Key words Controlling variability, Hypothesis testing, Process data, Project planning, Theoretical probability distribution</p> |
|---|

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

| | |
|------------|---|
| Data | Potentiaalista tietoa, usein merkkejä tai symboleja, jota prosessoimalla voi johtaa todellista tietoa datan lähteisiin liittyen. |
| DMAIC | Define, Measure, Analyze, Improve, Control on Six Sigma -toimintamallin ongelmanratkaisu- ja/tai parannusmenetelmä, joka on suomeksi Suunnittele, Mittaa, Analysoi, Kehitä, Ohjaa. |
| Imuohjaus | Imuohjauksessa selkeästi rajoitetaan tuotantoprosessin keskeneräisten tuotteiden ja/tai varastoitavien tuotteiden määrää, kun taas työntöohjauksessa ei. Imuohjauksessa uusia tuotteita valmistetaan/hankitaan vain, kun tuotteiden määrä laskee alle määritetyn rajan. |
| Jaksoaika | Aika, mikä tuotteella, tiedolla tai jollain vastaavalla asialla kuluu siitä lähtien, kun se saapuu johonkin prosessiin tai prosessin vaiheeseen siihen asti, kun se poistuu prosessista tai prosessin vaiheesta. |
| Prosessi | Aktiviteetti tai joukko aktiviteetteja, jotka muuntavat syötteitään luodakseen arvoa prosessinsidosryhmille. Toisin sanoen, prosessi lisää arvoa syötteisiinsä. Prosessi on siis arvon luomisen toiminto. |
| Syöttöarvo | Valmistusprosessiin tai sen osaan menevän aineen, tavaran tai tiedon määrä, tahti tai tyyppi. Voi olla mikä tahansa valmistusprosessin toimintaan vaikuttava asia, joka tulee valmistusprosessin ulkopuolelta. Syöte on tässä tapauksessa sama asia kuin syöttöarvo. |

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 OPINNÄYTETYÖN SUBSTANSSIPOHJA | 3 |
| 2.1 Sigmataso | 4 |
| 2.2 Six Sigma -organisaatio | 6 |
| 2.3 Six Sigma -ongelmanratkaisumalli..... | 7 |
| 2.4 Simulaatio | 8 |
| 2.5 Miksi simulaatio? | 9 |
| 3 MÄÄRITTELYVAIHE | 11 |
| 3.1 Näkökulmia projektivalintaan | 11 |
| 3.2 Tutkimustyön suunnittelu | 12 |
| 3.2.1 Simulointiprojektin vaiheistus | 13 |
| 3.2.2 Projektisuunnitelma..... | 14 |
| 3.3 Topi-Keittiöt Oy:n tuotantoprosessi (osa tekstistä salattu)..... | 16 |
| 3.4 Projektitavoitevertailua (SALAINEN)..... | 16 |
| 3.5 SIPOC (osa tekstistä salattu)..... | 17 |
| 4 MITTAUSVAIHE..... | 18 |
| 4.1 Prosessin määrittelyn tarkistus | 18 |
| 4.2 SPC ja tilastomatematiikka prosessinhallinnassa..... | 20 |
| 4.2.1 Ohjauskortit..... | 20 |
| 4.2.2 Yleis- ja erityisyyt | 21 |
| 4.2.3 Työssä käytetyt ohjauskortit..... | 22 |
| 4.3 Datankeräyssuunnitelma ja mittarien määrittely | 23 |
| 4.4 Datankeräyslaitteen ja videoinnin toteutus | 24 |
| 4.5 Nykytilan määrittely..... | 27 |
| 4.6 Mittausjärjestelmän analysointi | 30 |
| 4.7 Tietojärjestelmädatan muokkaus | 33 |
| 5 ANALYSOINTIVAIHE | 35 |
| 5.1 Simulointimallin syöttöarvojen mallinnus..... | 36 |
| 5.1.1 Datakohteita kuvaavat jakaumat | 37 |
| 5.1.2 Tuotteiden syntymisen mallintaminen simulaatioon (osa tekstistä salattu)..... | 37 |
| 5.1.3 Vaiheikojen mallintaminen (osa tekstistä salattu) | 42 |
| 5.2 Simulaation ohjelmoinnista..... | 48 |
| 5.2.1 Pientoimituskuorman kaappien jakaminen toimituskohteiksi..... | 48 |
| 5.2.2 Yksittäisen toimituksen viimeisen kaapin tunnistaminen | 51 |
| 5.2.3 Rekan vaihtoajan mallintaminen..... | 54 |
| 5.3 Muovitusuunin pysähdysten syyt | 56 |
| 5.4 Suorituskykytavoitteiden asettaminen ja varmistaminen testeillä..... | 58 |
| 5.5 Datan analysointi; Projektitoimitusten ja pientoimitusten vertaaminen | 61 |
| 6 KEHITTÄMISVAIHE | 68 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1 Ketterä ja jatkuva kehittäminen..... | 68 |
| 6.2 Simulointimallin jatkuva parantaminen..... | 69 |
| 6.3 Simuloinnin käyttö parannuksen optimoinnissa (osa tekstistä salattu)..... | 70 |
| 6.4 Simuloinnin tulokset | 72 |
| 6.5 Tuotantopullonkaulan hallinta | 76 |
| 6.6 Syy ja seuraus (osa tekstistä salattu) | 77 |
| 6.7 Kehitysideoita lastaukseen | 81 |
| 6.8 Six Sigma DMAIC, ohjausvaihe | 83 |

| | |
|--|-----------|
| 7 POHDINTAA | 84 |
| 7.1 Projektisuunnitelman eläminen..... | 84 |
| 7.2 Mitä olisi pitänyt tehdä toisin?..... | 85 |

| | |
|----------------------|-----------|
| LÄHTEET | 88 |
| LIITTEET | |

KUVIOT

| | |
|---|----|
| KUVIO 1. Simulointiprojektin vaiheet (mukaillen Banks ym. 2005, 15; Law & Kelton 2001, 84)..... | 14 |
| KUVIO 2. Simulointikonseptin tietovirta..... | 20 |
| KUVIO 3. Prosessin tuotosdatasta tehty ohjaukorkti, yksittäismittauskortti (SALAINEN) | 22 |
| KUVIO 4. Havaintojen jakautuminen | 29 |
| KUVIO 5. Ohjaukorkti, joka kuvaa tutkittavan prosessin alkutilaa..... | 30 |
| KUVIO 6. Jokaisen arvioijan mittaus tulosten keskiarvo omilla väreillään merkittynä | 31 |
| KUVIO 7. Palkin koko kuvaa mittauserosyyn osuutta | 33 |
| KUVIO 8. Tietojärjestelmän yksiköiden muuttaminen tutkittavan prosessin tuotemääräksi | 33 |
| KUVIO 9. Simulaatiomallin tietovirtaprosessi, 2. versio | 38 |
| KUVIO 10. Kuinka monta projektitoimitusta pientoimitusten välissä on..... | 39 |
| KUVIO 11. Kvantillikuvio: pientoimitusten kokojen sopivuus normaalijakaumaan..... | 40 |
| KUVIO 12. Yksittäisen pientoimituksen kaappimäärä. Luokka-arvot peitetty luottamuksellisista syistä | 40 |
| KUVIO 13. Kvantillikuvio. Kuinka hyvin projektitoimituskoot sopivat normaalijakaumaan..... | 41 |
| KUVIO 14. Kvantillikuvio. Kuinka hyvin projektitoimituskoot sopivat Weibull-jakaumaan..... | 41 |
| KUVIO 15. Yksittäisten projektitoimitusten kaappimäärä..... | 42 |
| KUVIO 16. Prosessin vuorovaikutukset..... | 42 |
| KUVIO 17. Eri kaappityyppien vaiheaikajakaumat kokoonpanolinjastolla. (1.N=558, 2.N=987, 3.N=990, 4.N=1123, 5.N=85) Vaiheaika-arvot peitetty luottamuksellisista syistä. | 43 |
| KUVIO 18. Kokoonpanolinjaston vaiheaikadata kuvattuna histogrammilla ja kumulatiivisella jakaumalla. N=36 000. Vaiheaika-arvot peitetty x-akselilta luottamuksellisista syistä. | 44 |
| KUVIO 19. Simulointimalliin määrittämäni kokoonpanolinjaston vaiheaikoja kuvaava histogrammi ja kumulatiivinen jakauma. N=100 000. Vaiheaika-arvot peitetty x-akselilta luottamuksellisista syistä. . | 45 |
| KUVIO 20. Simulointimallin lastausprosessi (SALATTU) | 46 |
| KUVIO 21. Todellisesta prosessista mitatut rekanvaihtoajat, N=31. | 48 |
| KUVIO 22. Otoksen kumulatiivinen jakauma. Päällä teoreettinen Weibull-kumulatiivinen jakauma .. | 49 |
| KUVIO 23. Otoksen ja teoreettisen Weibull-jakauman histogrammi-todennäköisyysjakauma päälekkäin | 49 |
| KUVIO 24. Pylväsdiagrammi muovitusuunin pysäytyssyösuuksista..... | 58 |
| KUVIO 25. Tilastollisen testin voima arvioidulla parannuksella..... | 60 |

| | |
|--|----|
| KUVIO 26. Toimitustyyppikohtaiset muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumat (PT: N=57, PROJEKTI: N=123)..... | 62 |
| KUVIO 27. Toimitustyyppikohtaiset muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumat (pl. äärimmäiset arvot) | 63 |
| KUVIO 28. Toimitustyyppikohtaiset muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumat histogrammeilla kuvattuna, N=180..... | 64 |
| KUVIO 29. Toimitustyyppikohtaiset pysähdysaikojen jakaumat histogrammeilla kuvattuna, skaalattu | 64 |
| KUVIO 30. Simuloinnin tulokset: muovituksen pysähdysaikojen muutos | 74 |
| KUVIO 31. Simuloinnin tulokset: tuotantomäärien muutos | 75 |

KUVAT

| | |
|--|----|
| KUVA 1. Six Sigman normaalijakaumaperusta, tummennettu alue kuvaa viallisten osuutta. (mukaillen Hopp & Spearman 2008) | 4 |
| KUVA 2. Kuuden sigman prosessia kuvaava normaalijakauma ja viallisten osuus (mukaillen Hopp & Spearman 2008) | 5 |
| KUVA 3. Vasen laita: projektin ositus, keskellä taustalla: jana- eli Gantt-kaavio..... | 16 |
| KUVA 4. SIPOC - tutkimuskohteen rajaus (SALAINEN)..... | 17 |
| KUVA 5. Datankirjauslaitteisto | 25 |
| KUVA 6. Kuvankaappaus simulointimallin 2D-visualisoinnista | 72 |
| KUVA 7. Puskurin käyttäytyminen simulaatiossa | 76 |
| KUVA 8. Yhden vuoron aikaisia viivästyksiä eri tuotannon vaiheissa..... | 80 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| TAULUKKO 1. DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmä (mukaillen, Pyzdek & Keller 2009, 148.) | 8 |
| TAULUKKO 2. Varianssianalyysi mittaustestituloksista (käsitteet: Mellin 2006) | 32 |
| TAULUKKO 3. Kokoonpanolinjaston vaiheikadatan mukaiset kaapptiyyppien osuudet simulaatioon | 42 |
| TAULUKKO 4. Kaappien käsittelyajat, nosto siirtolavalle kokoonpanolinjaston päästä, N=180..... | 46 |
| TAULUKKO 5. Vaiheajat kaappien ahtaamiseen siirtolavalta rekkaan, N=144 | 47 |
| TAULUKKO 6. Muovitusuunin pysähdysien syyt..... | 56 |
| TAULUKKO 7. Arvioitu muutos prosessissa | 60 |
| TAULUKKO 8. Käyttämäni parametrittomat tilastolliset testit (Pyzdek & Keller 2009, s. 390-391[Minitab, Inc. 2000].)..... | 65 |
| TAULUKKO 9. Khii2-testiin syötettävät havaintoarvot | 66 |
| TAULUKKO 10. Khii2-testin odotusarvot | 66 |

1 JOHDANTO

Tutkimusongelmana tässä opinnäytetyössä oli kehittämistehtävä: toimeksiantajan tarve oli saada kokeilun avulla selvitys siitä, minkälainen vaikutus tietyillä tutkimuskohteessa tehtävillä toimintatapamuutoksilla ja investoinneilla olisi heidän tuotantoprosessiinsa. Tutkimuskohteena oleva työvaihe on epätasapainossa muuhun prosessiin verrattuna, mikä johtuneesi siinä esiintyvistä suuresta vaihtelusta. Tämä kehittämistehtävä jakautuu yhteen strukturoituun tutkimuskysymykseen ja kahteen avoimeen kysymykseen, joista ensimmäinen, strukturoitu tutkimuskysymys on ensisijainen:

1. Kuinka paljon puskurointia työvaihe optimaalisesti vaatisi siinä esiintyvän vaihtelun vaimentamiseen, jotta työvaihe ei heikentäisi koko tuotantoprosessin suorituskykyä?
2. Miten kyseinen työvaihe voitaisi tasapainottaa muiden prosessin vaiheiden kanssa?
3. Miten tutkittavassa työvaiheessa esiintyvää vaihtelua voisi pienentää?

Kehitettävänä työvaiheena oli valmiiden tuotteiden lastaus rekkoihin. Opinnäytetyössä tutkittavaa prosessia koskevat lähtötiedot, analyysit ja tarkkoja arvoja sisältävät johtopäätökset on julistettu salassa pidettäviksi.

Tässä kehittämisopinnäytetyössä lähtökohtana oli, että tutkimus olisi suoritettava jonkin erillisen mallin avulla. Tämä oli vaatimuksena, koska suunnitelmissa olevien kehittämismuutostosten kokeilu todellista prosessia muuttamalla olisi vaatinut merkittäviä investointeja ja haitannut prosessin toimintaa. Toimeksiantajan pääasiallisena intressinä tämän lähtökohdan asettamisessa oli siis kehittämisprojektin taloudellisen riskin minimointi. Selkeä tapa muutosten kokeiluun todellisesta prosessista erillisellä mallilla oli simulaation hyödyntäminen.

Opinnäytetyön tavoite oli saada yritykselle hyödyllistä tietoa tutkittavan prosessivaiheen kehittämistä varten. Lisäksi tavoitteena oli luoda todenmukainen simulointimalli tutkimuskohteesta, jolla voi imitoida ja ennustaa muutoksia prosessissa. Alustavat analyysit tutkittavasta prosessivaiheesta johtivat arvioon, jonka mukaan vaiheen tuottavuus voisi etukäteen esitetyin toimenpitein kasvaa 15 prosentilla ja mahdollistaa toimeksiantoyritykselle merkittävän liikevaihdon kasvun.

Tässä opinnäytetyössä kuvataan suoritettu simulointiprojekti, joka toteutettiin Six Sigma -nimiseen laadunhallintajärjestelmään kuuluvaan ongelmanratkaisumenetelmään, nimeltään DMAIC, perustuen. Tästä koko liiketoiminnan kattavasta ongelmanratkaisumenetelmästä käydään kuitenkin tarkemmin läpi

vain osan sen vaiheista ja niissä hyödynnettävistä kehittämistyökaluista. Työstä on rajattu pois projekti-aiheen valinta ja arviointi sekä todellisten parannustoimenpiteiden suorittaminen aikataulullisista ja työnjaollisista syistä johtuen. Kehittämiskohde on myös tarkasti rajattu, joten tässä työssä käsittelem toimeksiantoyrityksen muuta toimintaa vain pinnallisesti. Työhön kuitenkin luonnollisesti sisältyy tutkimukseen perustuvien parannustoimenpiteiden esittäminen kohdeprosessiin sekä parannuksiin liittyvän teorian läpi käynti. Simulointiin liittyen kerron vain tähän työhön liittyviä asioita ja yleistä substanssia.

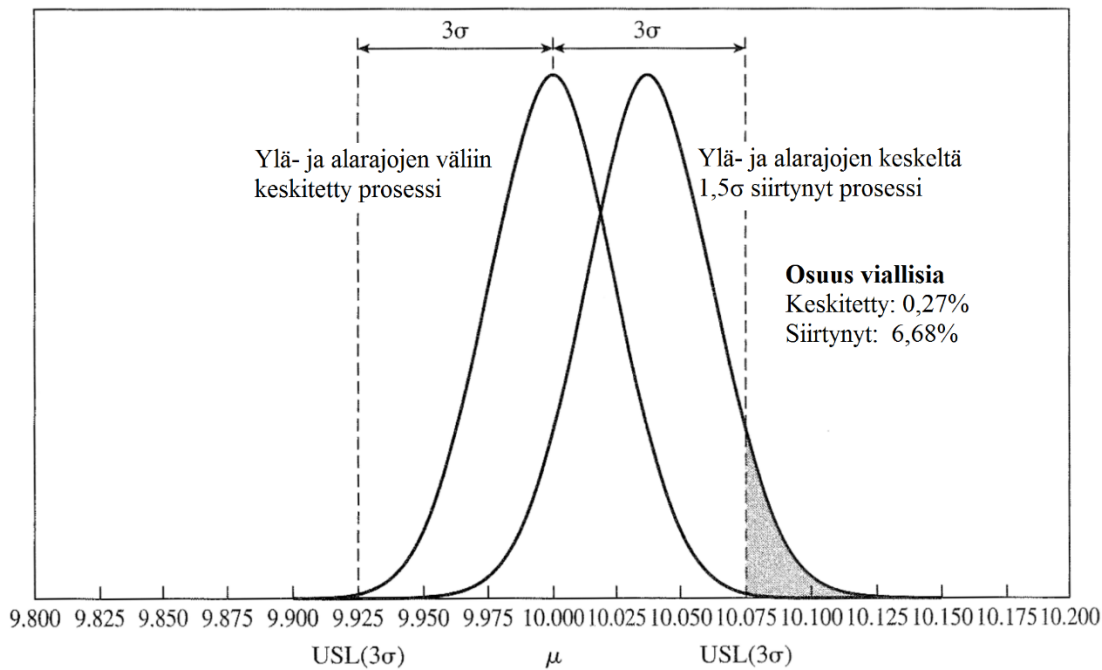
Opinnäytetyö tulee rakenteellisesti pääasiassa koostumaan vuorottelevasti aiheeseen liittyvästä teoriasta ja projektityön käytännön toteutuksesta. Tämän kaltainen rakenne sopii mielestäni hyvin yhteen synkronistisesti, eli samanaikaisesti suoritettuna kehittämistyön ja opinnäytetyön kanssa. Toisin kuin perinteisessä tutkimuksessa, jossa kenttätyö ja opinnäytetyön kirjoittamisvaihe ovat erillisiä, perättäisiä prosesseja, synkronistisessa prosessissa ne tapahtuvat samaan aikaan. Tämä voi mahdollistaa ilmiöön aidosti kiinnostautumisen ja syvällisemmän analyysin. (Kananen 2012, 47-48.). Tässä opinnäytetyössä pääosa kirjoituksen sisällöstä muotoutuikin kenttätyön ohella, mutta kirjoituksen viimeistely venyi pitkälle projektin suorittamisen jälkeen.

Tässä työssä käytetään useita tilastollisia menetelmiä ja hyödynnetään tilastollista prosessin hallintaa ja erilaisten jakaumien analysointia. Perinteinen Six Sigmaan kuuluva sigma-tason/suorituskyvyn laskenta on jätetty työstä pois, koska sen määrittämistä ei nähty tarkoituksenmukaiseksi. Työn tarkoituksiin ei myöskään kuulunut Six Sigma -organisaatorakenteen sisällyttäminen projektin toteutukseen, vaikkakin toimeksiantoyrityksen toimitusjohtaja – toimeksiantoyrityksen opinnäytetyöohjaaja – opinnäytetyöohjaaja – opiskelija – hierarkia ja näiden tasojen välinen vuorovaikutus opinnäytetyöhön liittyen muistuttaakin hieman Six Sigma -organisaatiota. Kehitysprojektin toteutus sen sijaan vahvasti nojaa Six Sigman DMAIC -metodologiaan. Siispä tässä opinnäytetyöprojektissä Six Sigman tilastomatemattinen katsantokanta ja ongelmanratkaisuprosessi on koko työn kattava viitekehys.

2 OPINNÄYTETYÖN SUBSTANSSIPOHJA

Termi ”Six Sigma” on Motorolan keksimä ja tavaramerkkitsemä nimitys yrityksen 1980-luvun laadunhallintamenetelmistä. Vaikka se alun perin oli tilastomatemattinen menetelmä laatuvirheiden vähentämiseen erittäin pieniin määriin (PPM), Six Sigmasta kehittyi kaikenkattava laadunhallintajärjestelmä sisältäen myös ongelmanratkaisukäytännöt ja organisaatorakenteen. Vähitellen Six Sigma levisi useisiin suuryrityksiin. Hiljalleen sitä alettiin pitää kaikenkattavana toimintamallina, joka perustuu läpi koko liiketoiminnan tapahtuvaan vaihtelun vähentämiseen ja data-perusteisten asiakaslähtöisten päätösten tekemiseen. (Hopp & Spearman 2008, 409-410.)

Six Sigman ytimessä on tilastomatemattinen malli, joka liittyy prosesseissa tapahtuvan vaihtelun laatuvirheisiin. Mallin mukaan mistä tahansa seurannassa olevasta prosessista saatujen mittaustulosten oletetaan vaihtelevan satunnaisesti normaalijakauman mukaisesti, jonka keskiarvo on μ (myy) ja hajonta σ (sigma). Jokaiselle prosessista mittattavalle asialle voidaan asettaa rajat, joiden sisällä mittaustulosten tulee olla, jotta itse prosessi tuottaisi halutunlaisia tuotoksia. Prosessin toimintataso riippuu siis sekä prosessista saaduista mittaustuloksista, että niille määritellyistä hyväksyttävistä ylä- ja alarajoista (USL ja LSL). Mitä suurempi väli rajoilla on, sitä pienempi on todennäköisyys, että mittaustulos on rajojen ulkopuolella. Six Sigman mallissa määrällistetään määriteltyjen rajojen välin suuruus prosessista saatujen mittaustulosten $\sigma:n$ (sigman/hajonnan) yksiköissä ja käytetään normaalijakaumaa odotettavissa olevien ei-hyväksyttävien mittaustulosten ennustamisessa/laskemisessa (KUVA 1). (Hopp & Spearman 2008, 410.) Prosessista saatujen hyväksytyjen mittaustulosten osuutta kutsutaan prosessin saannoksi. Saanto siis kertoo sen, että kuinka suuri osa prosessissa tehtävästä työstä johtaa hyväksyttäviin tuotoksiin. (Pyzdek & Keller 2009, 175.)

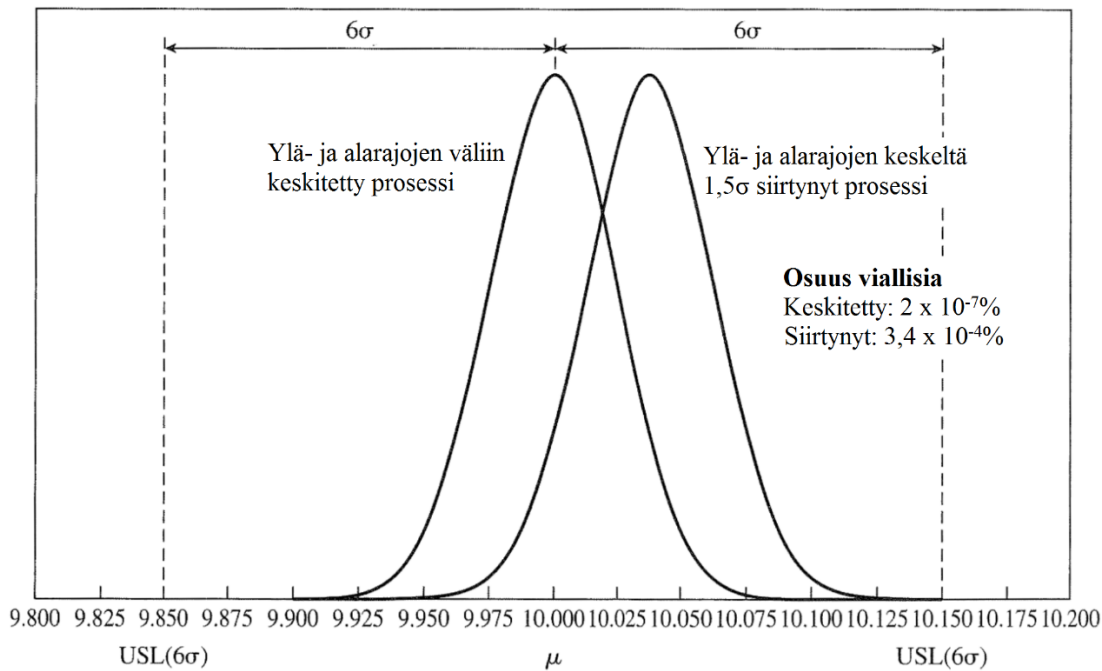


KUVA 1. Six Sigman normaalijakaumaperusta, tummennettu alue kuvaa viallisten osuutta. (mukaillen Hopp & Spearman 2008)

2.1 Sigmataso

Six Sigma -arvioinneissa yrityksen suorituskyvyn mittarina käytetään heidän prosessiensa sigmatasoa. Keskitetyn ”Six Sigma”, eli kuuden hajonnan/sigman -tason prosessin ei-hyväksyttävien mittaustulosten osuus on alle kaksi per kymmenen miljoonaa mahdollisuutta. Kaksi virhettä kymmentä miljoonaa virheen tekemisen mahdollisuutta kohtaan on käytännössä kuitenkin mahdotonta saavuttaa. Six Sigma -laadusta puhuttaessa ei tarkoiteta näin pientä hylättyjen tulosten osuutta, vaan tavoitteena on ylittää 3,4 DPMO:hon (Defects Per Million Opportunities). Syy tähän löytyy siitä, että Six Sigman perustana olevassa mallissa ei oleteta prosessista saatujen mittaustulosten keskiarvon sijaitsevan tarkalleen määritettyjen raja-arvojen keskellä. Sen sijaan mallin perusolettamuksena pidetään 1,5 keskihajonnan verran määritettyjen rajojen keskeltä siirtynyttä mittaustulosten keskiarvoa (KUVA 2). (Hopp & Spearman 2008, 410.) Selityksinä tähän ”epämatemaattiseen” oletukseen löytyy useita. Joidenkin mukaan oletus tehdään ”varmuuden vuoksi”, koska alle 1,5 sigman/hajonnan keskiarvon poikkeamaa raja-arvojen keskeltä ei välttämättä aina huomata (Pyzdek & Keller 2009, 7-8). Toisen selityksen mukaan laskennallista siirtymää käytetään, koska asiakkaiden tuotteen elinkaaren aikana kokema suorituskyky oletetaan olevan paljon alhaisempi kuin sisäiset lyhyen ajan arviot ennustavat (Pyzdek & Keller 2009, 3). Yksinkertainen selitys on se, että summaamalla $1,5\sigma + 4,5\sigma$ saadaan paljon miellyttävämmän kuuloinen muotona hienolla alkusoinnalla (*Six Sigma*), kuin ilman $1,5\sigma$ lisäystä. (Hopp & Spearman 2008, 171). Olipa

syy mikä tahansa, Six Sigman perustana oleva tilastomatematiikka on erittäin hyödyllistä laadun parantamisessa.



KUVA 2. Kuuden sigman prosessia kuvaava normaalijakauma ja viallisten osuus (mukaiillen Hopp & Spearman 2008)

Six Sigma -standardi 3,4 virhettä miljoonaa mahdollisuutta kohti on vastaus kasvaviin asiakasodotuksiin ja modernien tuotteiden ja prosessien monimutkaisuksiin (Pyzdek & Keller 2009, 3). Nykyteknologia, kuten myös nykyiset tuotantoprosessitkin, ovat niin monimutkaisia, että vanhat määritelmät hyväksyttävästä laadusta eivät enää pidä paikkaansa. Moderni liiketoiminta vaatii lähes täydellisiä laatutasoja. (Pyzdek & Keller 2009, 7.) Kokonaissaanto prosessista, joka sisältää useita perättäisiä vaiheita, on aina pienempi kuin pienimmän saannon omaavalla yksittäisellä vaiheella. Jos kolmen sigman laatutaso saadaan jokaisesta yksittäisestä vaiheesta kymmenen vaiheen prosessissa, laatutaso/saanto prosessin lopussa tai ts. koko prosessin näkökulmasta on 400 000 DPMO (40% tuotteista virheellisiä). Kertomalla yksittäisten prosessivaiheiden saannot keskenään saadaan prosessin kokonaissaanto (Pyzdek & Keller 2009, 8 ja 175-176.)

Six Sigmassa käytettävien vikaosuuksien (PPM, eli parts PER million) tulkitsemisen kanssa kannattaa olla varovainen, sillä osamäärä sisältää aina nimittäjän ja osoittajan. Osamäärän tulosta, eli Six Sigman vikaosuuksia, voidaan pienentää joko pienentämällä osoittajaa, mutta myös vaihtoehtoisesti kasvatta-

malla nimittäjää. Ensimmäinen vaihtoehto tarkoittaa vikojen vähentämistä, kun toinen taas vikojen syntymahdollisuuksien kasvattamista. Koska termi ”mahdollisuus” sanassa ”syntymahdollisuus” on niin tulkinnanvarainen, Six Sigman vikaosuuksia voi säätää muuttamalla arviointitapaa, ja siten saada laatu- tason näyttämään paremmalta kuin se todellisuudessa on. Tämän takia Six Sigma on hyvä tapa suhteellisen laatukehityksen mittaamiseen, olettaen että tulkintaa ei välillä muuteta, mutta sitä ei voida käyttää eri systeemien absoluuttisten laatu- tason vertailuun. Vertailuun tarvittaisiin myös tarkka tieto siitä, millä perusteilla vikaosuudet on kussakin tapauksessa laskettu. (Hopp & Spearman 2008, 411; Pyzdek & Keller 2009, 171.)

2.2 Six Sigma -organisaatio

Vaikka koko Six Sigman toimintamalli saa nimensä edellä esitetystä prosessin suorituskyvyn arviointi- menetelmästä, toimintamallin tärkein sisältö on työkaluissa ja menetelmissä, joita tilastollisen kuuden sigman laatu- standardin saavuttamiseen on kehitetty. Organisaatiosta riippuen Six Sigman toteutuksessa voidaan käyttää oikeastaan mitä tahansa laadun seurantaan tai parantamiseen tarkoitettua menetelmää. Six Sigman ohjenuorana on kuitenkin vahva painotus dataan ja sen analysointiin, joten mittaminen, mittarit ja tilastolliset analyysit ovat toimintamallin keskiössä. (Hopp & Spearman 2008, 413.)

Ehkä merkittävin menestystekijä Six Sigma -toimintamallille on organisaatorakenne, jota se hyödyntää laadunhallintamenetelmien tehokkaassa käytäntöönpanossa. Six Sigma -toimintajärjestelmässä määri- tellään viisi organisaatiollista roolia, joissa työskentelevien on jokaisen omalta osaltaan panostettava toimintajärjestelmän käytäntöönpanoon. (Hopp & Spearman 2008, 414.) Nämä roolit käyn lyhyesti läpi seuraavissa kappaleissa.

Yritysjohto, johon sisältyy esimerkiksi toimitusjohtaja tai korkeimmat päälliköt, ei muodollisesti kuulu Six Sigma -tiimirunkoon, mutta he ovat vastuussa suuntaviivoja asettavien näkymysten ja visioiden vies- timisestä sekä Six Sigma organisaation valtuuttamisesta. Mikä tahansa menestyksekkäs toimintamalli vaatii ylimmän johdon vankan tuen. Yritysjohtoon tukemana toimivat Champion -tittelin omaavat hen- kilöt ovat niitä johtoportaan kuulumia, jotka vastaavat Six Sigma -toiminnasta koko organisaation laajuisesti. Heillä on laajat valtuudet ja he toimivat Master Black Belt -tason henkilöiden mentoreina. Master Black Beltit ovat Championien valitsemia Six Sigma -organisaation valmentajia. Toisin kuin yritysjohto ja Championit, Master Black Beltit ovat kokopäiväisesti Six Sigma -tehtävissä. He toimivat Championien neuvonantajina ja ohjaavat Black Beltejä ja Green Belt -tason työntekijöitä. Master Black

Belttien rooli vaatii vankkaa osaamista tilastomatematiikasta, johtamisesta ja hallinnoinnissa. (Hopp & Spearman 2008, 414.)

Black Belt -tittelin saaneet henkilöt toimivat Master Black Belttien alaisuudessa Six Sigma -metodien hyödyntämisessä ollen vastuussa yksittäisistä projekteista. Hekin käyttävät kaiken ajastaan Six Sigmaan. He keskittyvät projektien toteuttamiseen, toisin kuin Championit ja Master Black Beltit, joiden aika menee uusien mahdollisuuksien tunnistamiseen. Green Beltit ovat työntekijöitä, joilla on vastuuta Six Sigma -projektien toteutuksesta muiden tehtäviensä ohella. He ovat yleensä Black Belttien alaisia ja tukevat niitä tavoitteiden saavuttamisessa ja voivat myös hallinnoida yksittäisiä projekteja. Joissakin organisaatioissa roolitusta on vielä jaettu Yellow Belteille, jotka osallistuvat vain ja ainoastaan heidän osastonsa Six Sigma -projektien käytännön toteutukseen. (Hopp & Spearman 2008, 414.)

2.3 Six Sigma -ongelmanratkaisumalli

Perusrunko Six Sigmassa käytettäville kvantitatiivisille työkaluille, joilla laatua viedään kohti 3,4 PPM vikaosuutta, on DMAIC, joka tulee sanoista Define, Measure, Analyze, Improve ja Control. Define tarkoittaa parannettavan prosessin määrittämistä. Measure tarkoittaa nykyisen suorituskyvyn mittaamista. Analyze tarkoittaa, että analysoidaan missä, milloin ja miksi virheitä syntyy. Improve tarkoittaa virheiden poistamista prosessista eli parantamista. Control tarkoittaa prosessin tulevan suorituskyvyn hallitsemista. Vaihtoehtoisesti, jos halutaan luoda uutta sen sijaan että parannettaisiin nykyistä prosessia, käytetään DMADV (Define-Measure-Analyze-Design-Verify) -kaavaa. Sen merkitys on hieman eri: Define tarkoittaa tässä projektin tavoitteiden määrittämistä, Measure tarkoittaa asiakastarpeiden (myös sisäiset asiakkaat) ja vaatimusten mittaamista ja määrittämistä, Analyze tarkoittaa prosessivaihtoehtojen sopivuuksien arviointia, Design tarkoittaa uuden prosessin suunnittelua ja Verify uuden prosessin suorituskyvyn varmistamista/hyväksymistä. Sekä DMAIC ja DMADV ovat sovelluksia perinteisestä tieteellisestä toimintojen kehittämisprosessista. Ne kumpikin ovat toimintakaavoja, joiden mukaisesti laatuongelmia, kuten mitä tahansa muitakin ongelmia, ratkotaan järjestelmällisesti. (Hopp & Spearman 2008, 413.) Edempänä tässä tekstissä paneudutaan tarkemmin kuhunkin näistä kehitysprojektin vaiheista.

TAULUKKO 1. DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmä (mukaillen, Pyzdek & Keller 2009, 148.)

| | |
|---|---|
| D | Määritä kehittämistoiminnan tavoitteet ja kirjaa ne projektisuunnitelmaan. Hanki valtuudet projektin suorittamiseen ja kokoa projektiryhmä. |
| M | Mittaa olemassa oleva systeemiä. Luo tarkoituksenmukaiset ja luotettavat mittarit, jotka auttavat kehityksen seurannassa kohti edellisessä vaiheessa määritettyjä tavoitteita. Määritä prosessin nykytaso käyttäen mittareita. |
| A | Analysoi tutkittavaa prosessia löytääksesi tapoja poistaa välimatka nykytasosta tavoitteeseen. Käytä tilastollisia analyysejä datan ymmärtämisen helpottamiseksi. |
| I | Kehitä prosessia. Ole luova etsiessäsi uusia tapoja tehdä asioita paremmin, nopeammin tai edullisemmin. Projektinhallintamenetelmiä tulee hyödyntää uusien toimintatapojen ja menetelmien käyttöönotossa. Käytä tilastollisia menetelmiä parannuksen määrällistamisessä. |
| C | Ohjaa uutta prosessia. Varmista muutoksen pysyvyys muokkaamalla palkitsemis- ja motivoimisperusteita, käytänteitä, menetelmiä, tuotannon ohjausta, budjetteja, ohjeistuksia ja muita johtamisjärjestelmiä. Erilaisten standardien hyödyntäminen voi auttaa dokumentaation riittävyyden varmistamisessa. Tilastollisten työkalujen avulla prosessin seuranta tehostuu. |

Six Sigma perustuu tieteelliseen menetelmään, josta DMAIC on sovellus hallintosysteemien ja liiketoimintaprosessien suunnitteluun ja kehittämiseen. Tieteellinen menetelmä toimii seuraavanlaisesti:

1. Havainnoi jotain tärkeää osaa markkinoista tai yritystoiminnasta
2. Muodosta alustava selitys, tai hypoteesi, mikä sopii havaintoihin
3. Hypoteesiin perustuen, tee ennusteita
4. Testaa ennusteita tekemällä kokeita tai edelleen tarkempia havaintoja. Kirjaa havainnot. Muokkaa hypoteesia uusien faktojen mukaan. Jos vaihtelua ilmenee, käytä tilastollisia työkaluja erottaaksesi signaalin hälinästä.
5. Toista 3. ja 4. vaiheita kunnes hypoteeseissa ja koetuloksissa tai havainnoissa ei enää ole ristiriitaja.

Näin selvitetään todenmukainen teoria tärkeän vaikutussuhteen selittämiseksi markkinassa tai liiketoiminnassa. Lisäksi, usein käy niin, että selvitetty teoria selittää muitakin ilmiöitä kuin vain sitä mitä alun perin tutkittiin. (Pyzdek & Keller 2009, 5-6.)

2.4 Simulaatio

Simulaatio tarkoittaa todellisen prosessin toiminnan imitoimista etenevässä ajassa. Prosessin käyttäytymistä ja kehittymistä ajan kuluessa voidaan tutkia simulointimallin avulla. Simulointimalli on abstrakti esitys todellisesta prosessista. Malli muodostuu olettamuksista, jotka ilmenevät esim. matemaattisina, loogisina ja rakenteellisina kuvauksina prosessin ominaisuuksista. Simulaatio perustuu näiden olettamuksien pohjalta luodun keinotekoisen tapahtumaketjun suorittamiseen. Suoritusta havainnoidaan ja analysoidaan, minkä avulla voidaan tehdä päätelmiä todellisen prosessin toiminnasta. (Banks, Carson, Nelson & Nicol 2005, 3 ja 68; Law & Kelton 2000, 1-3.)

Kun simulointimalli on luotu ja validoitu, sitä voidaan käyttää selvittämään kirjava joukko ”mitä jos” -kysymyksiä. Mahdollisia muutoksia prosessissa voidaan ensin simuloida suorituskykyvaikutusten enustamiseksi. Simulaatiota voidaan käyttää myös suunnitteluvaiheessa olevien prosessien tutkimiseen, ennen kuin niitä edes todellisuudessa toteutetaan. (Banks ym. 2005, 3; Law & Kelton 2000, 91-92.)

2.5 Miksi simulaatio?

Simulointia voi hyödyntää lukemattomilla tavoilla monenlaisiin ongelmiin. Usein ongelmat ovat niin monimutkaisia, että niitä ei voi ratkaista matemaattisesti, jolloin simulation on ainoa vaihtoehto. Toisaalta on olemassa myös niin monimutkaisia asioita, kuten ihmisen käyttäytyminen, joista ei voi luoda kattavaa simulointimallia. Vaikka simuloinnin käyttökohteet ovat laajat, simuloinnin käytön ei pidä olla itseistarkoitus. Aina kannattaa ensin pohtia, onko ongelma helpommin, tarkemmin, luotettavammin tai taloudellisemmin ratkaistavissa tekemällä kokeita todellisessa prosessissa tai analyttisesti, eli suorittamalla laskutoimituksia suoraan lähtötietoihin perustuen. Simulointiprojektin toteuttaminen voi myös olla kallista ja aikaa vievää, sekä se voi vaatia suuria määriä sellaista tietoa, jota ei ole helposti saatavissa. (Banks ym. 2005, 4-5; Law & Kelton 2000, 92.)

Pienten simulointimallien suorittaminen manuaalisesti luo paljon ymmärrystä tutkittavasta asiasta ja on erinomainen tapa oppimiseen ja erilaisten periaatteiden sisäistämiseen. Tämän takia simulointi on myös käytännöllinen työkalu havainnollistamaan argumentaatioon ja päätelmien testaamiseen. Tälle ajalle yleistä on esimerkiksi yrityksissä järjestettävät lyhyet koulutustilaisuudet, joissa mm. niin kutsuttujen ”lean” -menetelmien vaikutuksia havainnollistetaan erilaisten osallistavien pelien avulla. Pelissä esimerkiksi rakennetaan ryhmätyönä legoautoja ja havainnoidaan, miten auton rakentamisen työvaiheistuksen muuttaminen vaikuttaa legoautotuotannon tuotoksiin. (Banks ym. 2005, 13-15; Hopp & Spearman 2008.)

Tosimaailmassa simulointimallit ovat usein liian laajoja manuaalisesti suoritettavaksi. Usein on tarve toistaa simulaatioita jopa satoja kertoja, ja jokaisen suorituksen pitää mahdollisesti kattaa ajallisesti jopa kuukausia, jotta tulosten luotettavuutta saadaan parannettua ja voidaan vertailla eri vaihtoehtoja. Siispä simulointeihin liittyvät talletettavat ja käsiteltävät tiedon määrät ovat valtavia, joten niiden suorittaminen tehdään yleensä tietokoneen avulla. Tietokoneet mahdollistavat myös simulaatioiden nopeuttamisen ja hidastamisen äärimmäisiin nopeuksiin, jolloin havainnointia voidaan kohdentaa niin kokonaisuuksiin kuin yksityiskohtiinkin. (Banks ym. 2005, 13-15; Law & Kelton 2000, 91-92.)

Ohjelmointiosaajien määrän kasvaminen, simulointitarkoituksiin kehitettyjen ohjelmointikielien hyvä saatavuus, simulointimenetelmien kehittyminen ja tietokoneiden laskentatehon hurja kasvaminen ovat tehneet simuloinnista yhden käytetyimmistä toiminnantutkimisen ja prosessien analysoimisen työkaluista (Law & Kelton 2000, 202-203; Banks ym. 2005, 4). Mielestäni simulaatio-osaaminen ja simulaatioiden hyödyntäminen sopivat lisäksi mainiosti juuri tällä hetkellä meneillään olevaan esineiden internetin (IoT, internet of things) ja digitalisaation murrokseen. Prosessidataa on näiden trendien ansiosta saatavilla enemmän kuin koskaan aikaisemmin, mikä tekee simulaatiosta entistä tehokkaamman ja helpommin hyödynnyttävän kehittämistyökalun.

3 MÄÄRITTELYVAIHE

Tässä luvussa käydään läpi kehittämisprojektin määrittelyvaiheen tehtäviä. Ensin nostetaan esiin joitain yleisiä perusteita kehittämiskohteen valinnalle, mutta tässä työssä projektivalintaa ei painoteta paljoa valmiina annetun tehtävän takia. Projektisuunnittelu on tärkeä osa mitä tahansa projektia, joten siihenkin perehdytään tässä luvussa. Sitten esitellään lyhyesti kehittämistyön viitekehys, sekä ml. toimeksiantajayritys ja heidän toimintansa niiltä osin kuin sillä on välitön yhteys tämän opinnäytetyön tutkimuskohteeseen. Tämän luvun lopussa perehdytään vielä menetelmiin, joita käytettiin projektikohteeseen perehtymiseen ja projektin määrittelyyn. Koska tein opinnäytetyön itsenäisesti, en tällä kertaa pureudu projektiryhmätyöskentelyyn millään lailla, vaikka se onkin tärkeä osa Six Sigma -toimintamallia.

3.1 Näkökulmia projektivalintaan

Six Sigma -toimenpiteet keskittyvät aina kerrallaan niihin muutamiin asioihin, joilla on eniten merkitystä kolmelle avainsidosryhmälle: asiakkaat, omistajat ja työntekijät. Näiden ryhmien vaatimukset selvitetään käyttäen tieteellisiä menetelmiä, kuten kyselyt ja fokusryhmät. Se, että liikkeenjohdon päätökset perustuvat objektiiviseen dataan, on avainkomponentti Six Sigma -toimintatavassa. Dataperusteinen toiminnanhallinta mahdollistaa tavan organisaatiollisten tavoitteiden saavuttamiseen määrällistämällä sidosryhmien halut ja tarpeet suhteessa nykyiseen tasoon ja aloittamalla datan mukaan määriteltäviä toimia kriittisten suorituskykyaukkojen kiinni kuromiseksi. (Pyzdek & Keller 2009, 10 ja 87.) Mikäli tutkimustyötä ei olisi valmiiksi rajattu koskemaan tiettyä prosessivaihetta, ensimmäinen kehittämistutkimuksen vaihe olisi ollut objektiivisen selvityksen tekeminen siitä, kuinka kriittisiä prosessin eri toiminnot niiden sidosryhmille luoman lisäarvon kannalta ovat. Nyt arvon luomisen kannalta kriittinen parannuskohde saatiin valmiiksi määriteltynä: valmiiden tuotteiden rekkaanlastausprosessin vaihtelun vaikutuksia vähentämällä myyntikate, toimitusvarmuus ja tuotantokapasiteetti kasvaisivat merkittävästi (Hietala 2016).

Pyzdekin ja Kellerin (2009, 165) mukaan Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmän määrittelyvaiheen tärkeimmät tavoitteet ovat:

1. Projektin määrittely
 - a. Määrittele laajuus, tavoitteet ja aikataulu projektille
 - b. Tee korkean tason määrittely prosessille ja tunnista sidosryhmät
 - c. Valitse projektiryhmä

d. Hanki projektille tuki ja valtuudet suorittaa tavoitteiden saavuttamisen vaatimat asiat.

2. Kokoa, kouluta ja perehdytä projektiryhmä

Kananen (2012) painottaa määrittelyvaiheen tärkeyttä kirjassaan ”Kehittämistutkimus opinnäytetyönä”:

”Kehittämiskohde rajataan tarkasti. - - Ongelman määrittelyvaiheeseen varataan runsaasti aikaa, sillä määrittelyvaihe vaikuttaa koko ongelman poistamiseen onnistumiseen. Liian nopea eteneminen voi johtaa pintapuolisiin tai väärin ratkaisuihin, jotka tarkoittavat käytännössä hukkaan heitettyä aikaa ja niukkojen resurssien tuhlaamista.” (Kananen 2012, 63-69.)

Jotta kehittämisprojektista voisi siis todella olla hyötyä, kehittämiskohde ja siihen liittyvät tavoitteet on ymmärrettävä täysin. Tämän tärkeyden ymmärsin itse paremmin, kun projektin edetessä huomasin joissain tilanteissa epäileväni, teinkö oikeita asioita. Tässä opinnäytetyössä tutkimusongelma oli kuitenkin osittain rajattu jo valmiiksi: minulle annettiin valmis parannusidea, jota olisi testattava. Tämänlainen toimeksianto tarkoitti työltäni enemmänkin varmistavaa kuin kekseliästä otetta. Vaikka rajaus ja määrittely projektille olikin osittain valmiiksi tehty, oli joka tapauksessa syvennyttävä tutkimuskohteeseen, jotta olisi edellytykset halutunlaisen tutkimuksen tekemiseen. Monelta osin projektin määrittelyvaihe oli sitä, että määrittelin tutkimuskohdetta itselleni, eli toisin sanoen tutustuin kehitettävään prosessiin.

3.2 Tutkimustyön suunnittelu

Suunnitteleamalla tehtäviä etukäteen varmistutaan siitä, että asiat voivat mennä toivotulla tavalla. Mikäli suunnittelua ei tehdä, ei voida varmasti tietää, miten tavoitteet tullaan saavuttamaan. Suunnittelemalla mahdollistetaan myös suorituksen kehittämisen ja oppimisen suunnitelmien seurannan ja valvonnan avulla. Hyvät projektisuunnitelmat, kuten myös kehittyminen, jonka suunnittelemalla mahdollistetaan, ovat merkittävä etu myös suurempien kokonaisuuksien, kuten yritystoiminnan hallinnassa ja suunnittelussa. (Ruuska 2017, 180-182; Berkun 2006, 28.)

Uhraamalla aikaa suunnitteluun voi ehkäistä monia ongelmia, jotka voivat viivastuttaa projektia huomattavasti. Suunnittelun avuksi on olemassa monia työkaluja, joille on annettu hienoja akronyymejä kuten PERT, CPA ja OBS. (Ruuska 2017, 180-182.) Tässä työssä käytettiin apuna tehtävien osittelu ja jana- eli Gantt-kaaviota.

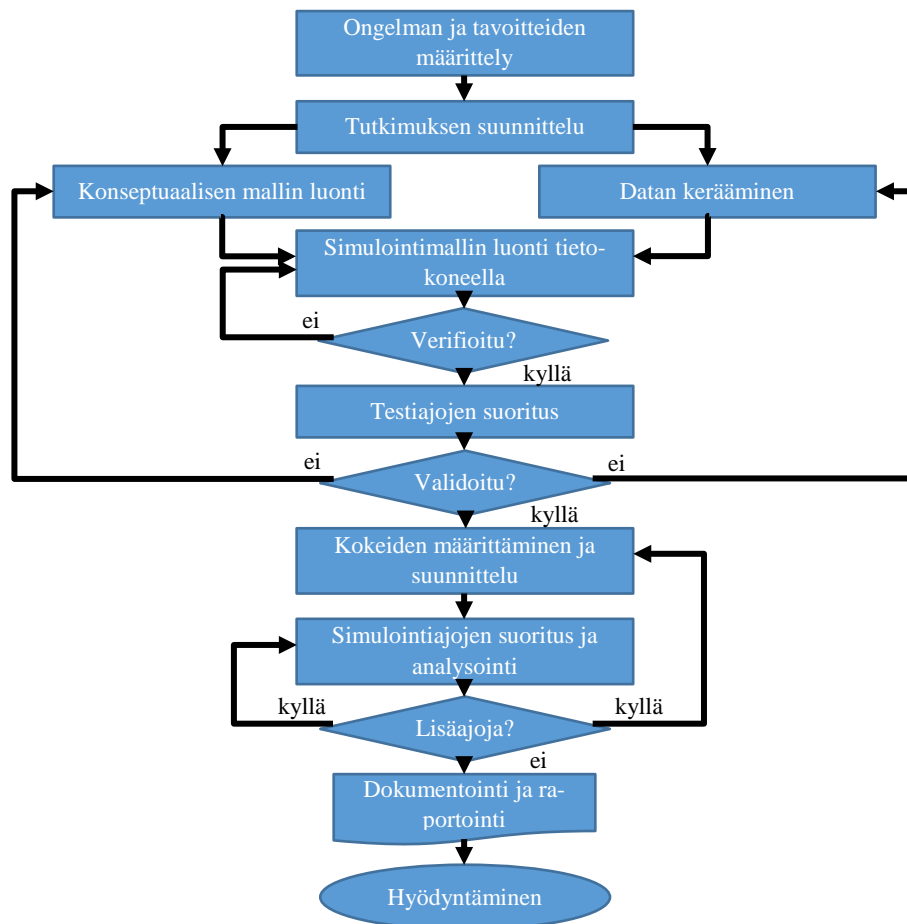
Osaltaan sen takia, että mahdollisimman hyvin keskittäisin ajankäyttöni oikeisiin asioihin sekä opinnäytetyön tekemisen, että toimeksiantajan tarpeiden kannalta, aloitin projektin käytännön osuuden projek-

tisuunnittelulla. Tietenkin ennen tätä opinnäytetyön aloituspalaverissa muotoiltiin työn laajuus ja tavoitteet karkeasti, kuten johdannossa esitin. Näiden karkeiden rajausten puitteissa pystyin suunnittelemaan projektia. Tämän tutkimustyön suunnittelu ja suorittaminen perustui vahvasti sekä Six Sigma -toimintamallin mukaisen kehittämistoiminnan, että simulointiprojektin vaiheistuksiin, jotka ovat mielestäni keskenään hyvin yhteensopivia. Itse opinnäytetyön suunnittelu, johon sisältyy opinnäytetyön vaatimusten huomiointi ja kirjallisen tuotoksen suunnittelu (Kananen 2012, 50), tapahtui kehittämistyön suunnittelun rinnalla.

3.2.1 Simulointiprojektin vaiheistus

Simulointiprojektiin kuuluvat alkumäärittelyt ja suunnitteleminen kuten mihin tahansa projektiin. Nämä vastaavat täysin DMAIC:n määrittelyvaihetta. Tämän jälkeen DMAIC-mittausvaiheessa kohteesta kerätään tietoa ja muodostetaan konsepti, jossa prosessia kuvataan olettamuksista koostuvien mallien avulla. Sitten rakennetaan itse simulointimalli. Simulointimallin rakentamista ja muokkaamista jatketaan niin kauan, kunnes mallin on varmistettu toimivan oikein, eli se on verifioitu. Tämän jälkeen simulaatiomallilla tehdään testiajoja, jotta voidaan vertailla sitä kohdeprosessiin. Testiajojen tuloksia verrataan todellisuuden tuloksiin ja selvitetään, ovatko ne todenmukaisia. Malliin tehdään säätöjä niin kauan, kunnes sen antamia tuloksia voidaan pitää oikeina, eli se on validoitu. Vasta verifioitua ja validia simulointimallia voidaan käyttää erilaisia kokeita varten. Validoimisen ja verifioimisen toimenpiteet vastaavat hyvin DMAIC:n analysointivaihetta. (Banks ym. 2005, 15; Law & Kelton 2001, 84.)

Ennen kuin hyödyllisiä simulaatioita voi tehdä, simulointimallilla tehtävät kokeet on määriteltävä ja suunniteltava hyvin. Sen jälkeen simulointiajoja tehdään tarpeellinen määrä ja analysoidaan tuloksia. Mikäli nähdään, että tulokset eivät ole tarpeeksi luotettavia tai kattavia, palataan kokeiden suunnitteluun ja/tai tehdään lisää simulointiajoja. Simuloimalla tehtävät kokeet vastaavat DMAIC:n kehittämisvaihetta. Kun tarpeellinen tieto katsotaan saaduksi, simulointiprojekti raportoidaan ja dokumentoidaan kattavasti esim. mallin myöhempää käyttöä varten (DMAIC:n ohjausvaihe). Simuloinnin tuloksia käytetään päätöksenteon ja ohjauksen apuna, mikäli tulokset ovat sekä valideja että krediibelejä. (Banks ym. 2005, 17-18; Law & Kelton 2001, 86.) Alla olevassa kuvassa (KUVIO 1) ovat kaikki nämä vaiheet kaavio-muodossa. Kuten jo sanottua, projektisuunnitteluni perustui tähän simulointiprojektin ja Six Sigma DMAIC:n yhdistettyyn vaiheistukseen.



KUVIO 1. Simulointiprojektin vaiheet (mukaillen Banks ym. 2005, 15; Law & Kelton 2001, 84)

3.2.2 Projektisuunnitelma

Projektisuunnittelumenetelmistä käytetään yleisnimitystä verkkoanalyysit (Ruuska 2017, 194-197). Yksi tärkeimmistä projektisuunnittelutyökaluista on projektin osittelu (engl. Work Breakdown Structure-WBS), mikä tarkoittaa projektin tehtävien jakamista pienempiin alitehtäviin. Osittaminen helpottaa tehtävien, resurssien ja vaiheistuksen suunnittelua ja mahdollistaa tehtävien välisten suhteiden luomisen. (Pinto 2010, 161; Pyzdek & Keller 2009, 167.) Osittelun tarkkuustaso riippuu siitä, milloin voidaan riittävän luotettavasti määritellä kunkin osasen työmäärät, resurssitarpeet ja kustannukset. Pieni arviointivirhe pitkän työajan tehtävässä on paljon merkittävämpi kuin suuri arviointivirhe tämän alitehtävässä. Siispä mitä lyhempiä tehtäviä arvioidaan, sitä pienemmät arviointivirheet ovat. (Ruuska 2017, 190-191.)

Projektin runko on suunniteltava ensin. Simulointiin ja Six Sigmaan liittyvästä lähdekirjallisuudesta sain hyvän pohjan, mutta siihen oli tuotava mukaan todelliset tehtävät, esim. opinnäytetyön ja tutkittavan

prosessin sisäistämisen vaativat konkreettiset asiat. Näitä olivat mm. tiedonhaun, kirjoittamisen, tutustumiskäyntien ja tiedonkeruun suunnitteleminen.

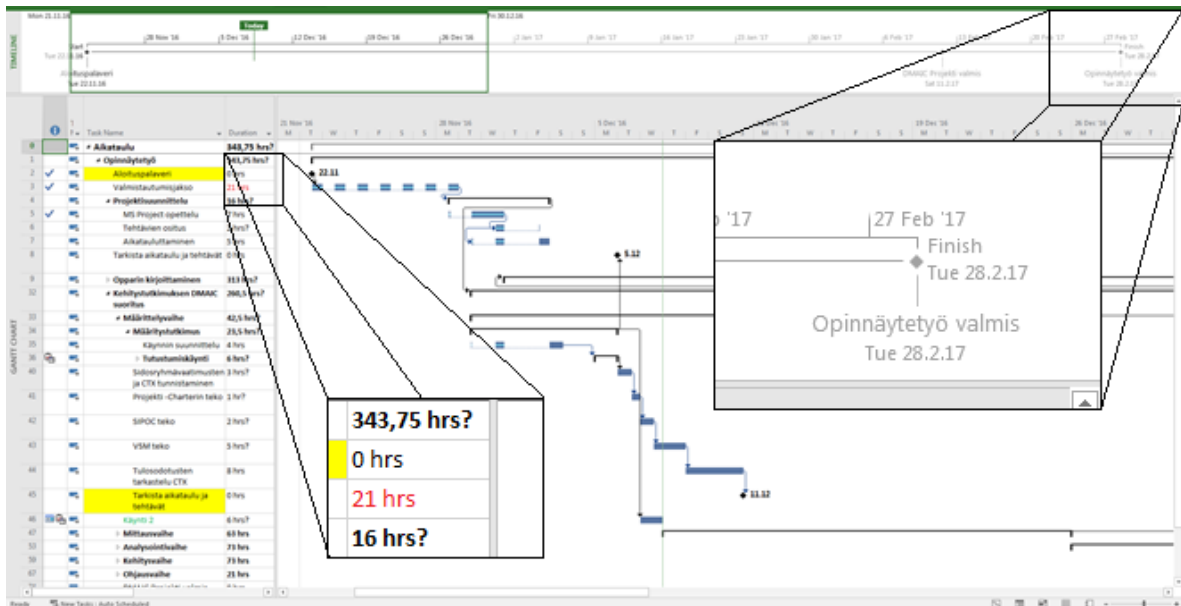
Suunnitelmat ovat yleensä alussa vaarsin abstraktilla tasolla, kuten omassakin tapauksessani. Vasta projektin edetessä ja edellisten tehtävien valmistuessa voi tarkemmin suunnitella loppuprojektia. Aluksi teinkin osittelun kattamaan vain ns. selvitystyöosuuden, eli prosessin määrittelyyn ja mittaamiseen liittyvät asiat. Työmääriä oli silti vaikea arvioida, sillä arviointi vaatii kokemusta vastaavista tehtävistä, jota minulla ei ollut. Loppuprojektin osittelu sisälsi alkuvaiheessa vain sen, *minkälaisia* asioita, ei niinkään *mitä* minun tulee sitten loppua kohden tehdä. Projektityöprosessi kuitenkin kehittyy jatkuvasti, joten suunnitelmienkin täytyy mukautua ja päivittyä, ja siten pysyä reaaliajassa. (Ruuska 2017, 177-202.)

Seuraavassa sitaatissa Ruuska (2017) painottaa projektisuunnittelun jatkuvuutta:

Suunnittelu on projektissa jatkuva prosessi, jonka avulla reagoidaan poikkeamiin ja ympäristömuutoksiin. Projektin raportoinnin ja ohjauksen välttämätön edellytys on ajan tasalla oleva projektisuunnitelma. Projektisuunnitelman ensimmäiseen versioon on syytä jo etukäteen kirjata ne ajankohdat, jolloin projektisuunnitelman ajantasaisuus ainakin on tarkistettava. Näin varmistetaan, että projekti toimii tuoreen suunnitelman pohjalta eikä tarkistaminen jää pelkästään harkinnan varaan. (Ruuska 2017, 227-229.)

Projektisuunnitelman tekeminenkin helpottuu ja järkevöityy huomattavasti, kun sen tarkkaan määrittämiseen ei heti alussa kuluta ylimääräistä aikaa. Epävarmojen asioiden, kuten tulevaisuuden pohdintaan, riittää suurpiirteisten linjojen asettaminen, aikaan liittyvät epävarmuustekijät huomioiden.

Mikäli suunnitelmaa päivitetään tarpeeksi usein, pysyy ennustettavuus ja siten myös ohjattavuus hyvällä tasolla alusta loppuun. Pitäen tämän mielessäni, määritin itselleni useita aikataulutarkistamispisteitä. Seuraavassa kuvassa (KUVA 3) esittelen MS Project -ohjelmaan tekemääni osittelua ja janakaaviota. Kuvasta korostan kokonaisaika-arviointia ja projektin suunniteltua valmistumispäivää. Pitämällä nämä hallinnassa oli mahdollista laskea jokaiseen projektin vaiheeseen käytettävissä oleva aika ja arvioida vaadittavat päivittäiset työskentelyajat. Projektin hallinnasta kerron lisää tulevissa luvuissa. Lopullinen osittelu on liitteenä (LIITE 8).



KUVA 3. Vasen laita: projektin ositus, keskellä taustalla: jana- eli Gantt-kaavio

3.3 Topi-Keittiöt Oy:n tuotantoprosessi (osa tekstistä salattu)

Yksi tämän opinnäytetyön yksi tärkeimmistä tiedonhankintatavoista oli teemahaastattelut. Teemahaastattelu on laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmä, jossa ideana on pyrkiä tarkastelemaan ilmiötä kaikilta näkökulmilta, jotta ilmiöstä saadaan kokonaiskuva (Kananen 2012, 60-61). Ensimmäisen kärkeän kuvan toimeksiantajayrityksen tuotantotoiminnasta muodostin haastattelemalla tuotantopäällikköä. Tähän valmistauduin pohtimalla keskusteluaiheita ja -tavoitteita valmiiksi. Tämän jälkeen hyödynsin samoja teemoja useaan otteeseen kohdatessani eri henkilöitä opinnäytetyön edetessä. Haastattelujen litteroinnissa eli aukikirjoittamisessa käytin pelkkää propositiotason litterointia (Kananen 2012, 108), eli pääasian poimimista haastateltavan sanomisista. Tätä pidin tapauksessani riittävänä, koska haastatteluaineisto ei itsessään ollut tutkimuksen kohteena, vaan käytin sitä tutustuakseni tutkimuksen kohteeseen. Seuraavaksi esittelen määrittelyvaiheessa selvittämiäni asioita.

Jaan Topi-Keittiöt Oy:n tuotannon tämän opinnäytetyön tarkoituksia varten kolmeen osaan: komponenttivalmistus, kaappikokoonpano ja valmiiden tuotteiden lastaus rekkaan (lastausvaihe). Pääosa tuotteista ovat kaappeja, mutta niihin kuuluu myös erilaisia irrallisia levytuotteita, kuten pöytätasoja, ja kalustetarvikkeita.

3.4 Projektitavoitevertailua (SALAINEN)

3.5 SIPOC (osa tekstistä salattu)

Teemahaastattelujen avulla määritettiin kehittämisprojektin puitteet, eli selvitettiin se tuotantokokonaisuus, johon tarvittiin muutosta. Näin ongelman tarkastelutrarkkuutta voitiin muuttaa. Ilman kontekstin ymmärtämistä ei voi selvittää jotain erillistä vaihetta prosessissa (Rother & Shook 2003, 13). Kuten johdannossa kerrottiin, kehittämistutkimuksen tavoitteena oli antaa hyödyllistä tietoa tutkimuskohteen kehittämistä varten ja luoda todenmukainen simulointimalli siitä. Tutkimuskohteenä olevaa työvaihetta lähdettiin tarkemmin selvittämään käyttäen apuna seuraavaa Six Sigma -akronyymiä: SIPOC (= Supplier, Input, Process, Output, Customer). SIPOC on virtauskaaviotekniikka, joka auttaa tunnistamaan ne prosessit, joilla on suurin vaikutus asiakastyytyvyyteen. Siitä käy selville tavaran- ja informaationtoimittajien, prosessin syötöksiä, prosessiaktiiviteettien, prosessin tuotoksien ja asiakkaiden väliset yhteydet. (Pyzdek & Keller 2009, 94.)

Tutkimuskohteen tarkentamisessa SIPOC:ia käytetään toistaen osaprosesseihin, kunnes saavutetaan se osa prosessia, joka on nimetty tiimille parannettavaksi. Prosessiin ”poraudutaan” näin, koska parantaminen ja mukautuminen tapahtuvat yksityiskohdissa eli prosessin toiminnan tasolla. Kehittämistä täytyy ajatella ja suunnitella kokonaisuuden tasolla, mutta muutokset, jotka loppujen lopuksi johtavat kehitykseen, tapahtuvat usein yksityiskohdissa ja pohjautuvat prosesseissa opittuihin asioihin. (Rother 2010, 15.) SIPOC sisältää lähes kaikki lähtötason tiedot, mitä jokaisessa Six Sigma projektissa käsitellään. (Pyzdek & Keller 2009, 198-199.) Seuraavassa kuvassa on SIPOC -kaavio sovellettuna tämän opinnäytetyön toimeksiantoon. Se on kolmiosainen, jokaisen ollessa tarkennus edelliseen, rajaten tutkimuskohdetta osa osalta. Viimeinen osa on sillä tasolla, jolla parannustyö toteutettiin. Tekstin lopussa liitteenä on jokainen osa erikseen (LIITTEET 1, 2 ja 3).

KUVA 4. SIPOC - tutkimuskohteen rajaus (SALAINEN)

Teemahaastattelut antoivat hyvän pohjan kehitettävän prosessin ymmärtämiselle. SIPOC -kaaviossa se tarkoittaa prosessin toimittajia ja niiden tuottamia syötöksiä prosessille sekä prosessin asiakkaita ja prosessin niille tuottamia tuotoksia. Syvällisempi käsitys kehityskohteesta saatiin laadullisen tutkimuksen toisella perusmenetelmällä, tutkimuskohteen havainnoinnilla. SIPOC -kaavion prosessivaiheet ja se, miten prosessin syötökset ja tuotokset vaikuttavat prosessiin, selvisivät siis seurannan ja työntekijöiden kanssa käydyn vuorovaikutuksen avulla. Parin viikon aikana tekemilläni useilla tutustumiskäynneillä keräsin muistiinpanoja havainnoista ja täydensin haastatteluja varten muotoilemiani teemoja.

4 MITTAUSVAIHE

Tämä luku käsittelee Six Sigma -toimintamallin DMAIC-menetelmän mittausvaiheen tehtäviä. Tuon tähän vaiheeseen runsaasti elementtejä simulointiprojektien vaatimuksista. DMAIC vaatii järjestelmällistä tiedonkeruuta, eikä mikään aseta yhtä tarkkoja vaatimuksia tiedon keräämiselle kuin simulointi. Siispä tiedonkeruu pohjautuu simulointimallista luotuun konseptiin ja sen täydentämiseen todellisesta prosessista mitatulla, simuloinnin kannalta merkittävällä datalla.

Esittelen mainitun simulointikonseptin tässä luvussa ensin. Sen jälkeen kerron lyhyesti tilastollisesta prosessinhallinnasta ja sen perustyökalusta, ohjaukshortista, jota käytin prosessin alkutilan selvittämisessä. Sitten kuvailen, miten prosessidatan kerääminen toteutettiin ja suunniteltiin tässä tutkimuksessa. Suunnitteluun liittyy simulaation tarpeiden huomioimisen lisäksi myös käytettävien mittarien valitseminen ja arviointi. Siispä lopuksi kerron vielä valitsemani mittaustavan luotettavuuden arvioinnista. Mittausvaiheen jälkeen tavoite on päästä sellaiseen tilaan, missä kaikki kehitystyöhön tarvittava tieto on kerättyä ja asetetut mittarit ovat käytännöllisesti hyödynnettävissä prosessin tilan seuraamisessa (Pyzdek & Keller 2009, 148).

Pyzdekin ja Kellerin (2009, 197) mukaan Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmän määrittelyvaiheen tärkeimmät tavoitteet ovat:

- Prosessin määrittäminen: on varmistettava, että kyseinen prosessin on selkeästi määritetty.
- Mittareiden määrittäminen: on määritettävä tavoitteiden kannalta luotettava tapa prosessin mittaamiseen.
- Prosessin alkutason selvittäminen: on määrällistettävä nykytoiminnan tulostaso tavoitteiden verifiointiseksi ja myöhemmin tapahtuvaa parannustulosten suhteuttamista varten.
- Mittausmenetelmien arvioiminen: on validoitava datan luotettavuus, jotta sen perusteella voidaan tehdä todenmukaisia päätelmiä.

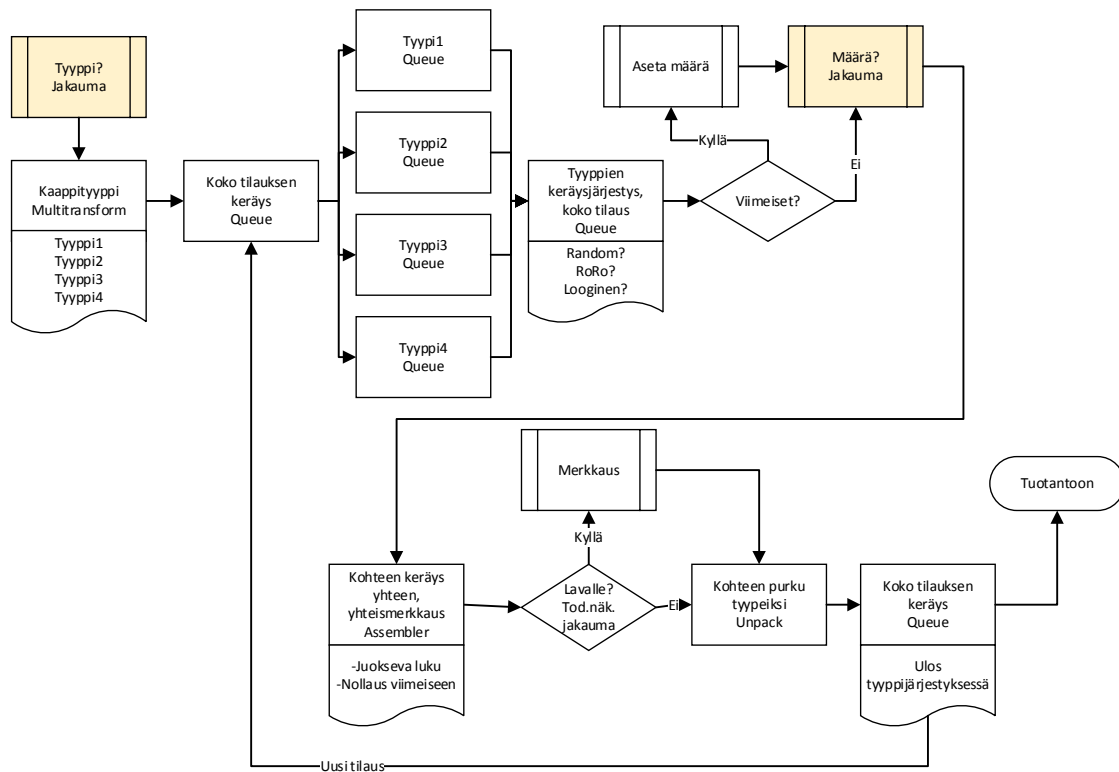
4.1 Prosessin määrittelyn tarkistus

Määrittelyvaiheessa loin haastatteluilla ja havainnoinnilla pohjaa simulointimallin konseptuaalisen mallin luomista varten. Simuloitaessa jotain prosessia tavoitteena ei ole tehdä siitä täydellistä kopiota, eikä se yleensä ole edes mahdollistakaan. Todellisuudessa ilmiöihin liittyy niin paljon muuttujia, että niitä on

todella haastavaa imitoida täydellisesti. Vaikka kaikki muuttujat tiedettäisiinkin tarkasti, niiden tarkka määrittelemine simulaatioon, olkoon sitten suoritettu tietokoneella tai ei, on haastavaa ja erityisesti aikaa vievää. Tämän takia simulointiprojektin kohde tulee esittää sitä tarpeeksi hyvin kuvaavalla mallilla, joka koostuu esim. matemaattisista, loogisista ja symbolisista olettamuksista. Ennen todellisen simulaatiomallin rakentamisen aloittamista, on syytä koostaa kerätty tieto konseptuaaliseksi malliksi, joka kertoo, minkälainen simulointimallista tulee. Konsepti pitää sisällään myös simulointimallin laajuuden ja tarkkuuden kuvauksen. (Law & Kelton 2000, 276.)

Konseptuaalinen malli prosessista vastaa myös Six Sigma -toimintamallin mittausvaiheen prosessin määrittelyn tarkistamista. Ennen kuin itse datan kerääminen kehitettävästä prosessista aloitetaan, on tärkeä vielä varmistaa, että jokainen työssä mukana oleva on ymmärtänyt prosessin oikein ja tietää mitä lähdetään tekemään (Pyzdek & Keller 2009, 206). Prosessin konsepti on mielestäni mainio tapa tähän varmistamiseen, sillä siitä ilmenee kaikki prosessin suorituskykyyn oleellisesti liittyvät asiat.

Liitteessä 11 on luomani konseptuaalinen malli prosessista, jota käytin simulointimallin suunnittelussa. Alla olevassa kuviossa (KUVIO 2) on vielä konseptin tietovirran osaa selkeämmin kuvaava kaavio, joka kuvaa tilausten ja tuotteiden muodostumista. Siitä selviää kaikki simuloinnissa tarvittava data ja miten minkäkin prosessin osasen data vaikuttaa prosessiin ja miten ne simulointimallissa huomioidaan. Kuten kuvasta näkee, prosessin toimintaan vaikuttaa erittäin suuri määrä asioita. Näiden asioiden kuvaaminen ja sisällyttäminen simulaatioon vaatii paljon dataa monesta eri tietolähteestä. Mittausvaiheen suorittuani kaikki konseptiin vaadittava tieto on kerätty ja kuvattu tarkoituksenmukaisella tavalla.



KUVIO 2. Simulointikonseptin tietovirta

4.2 SPC ja tilastomatematiikka prosessinhallinnassa

Toimeksiantoyrityksessä seurattiin prosessin vuorottaisia läpimenomääriä, joten prosessidataa oli jo valmiiksi käytettävissä. Ennen omien mittausten suorittamista tutkin tätä valmista dataa ja siitä koottua ohjauskorttia. Tässä työssä käytin ohjauskortteja lähinnä prosessin luonteen ja mittausten luotettavuuden arvioimisen apuvälineenä. Ohjauskortit ovat tilastollisen prosessinhallinnan (engl. Statistical Process Control, SPC) tärkeimpiä apuvälineitä. Tilastollinen prosessinhallinta on seurannan ja mittaamisen perustyökalu Six Sigma -toimintamallissa. Seuraavaksi esittelen työssä käyttämiäni tilastollisen prosessinhallinnan menetelmiä.

4.2.1 Ohjauskortit

Ohjauskortit ovat tilastollisia työkaluja, joiden avulla voidaan havainnoida prosessin käyttäytymistä kuluneen ajan suhteen. Ohjauskorttien taustalla olevaa tilastomatematiikkaa voi käyttää myös prosessin suorituskyvyn arviointiin ja ennustamiseen. Yleensä käytetään kahta ohjauskorttia, joista toisella seurataan prosessin keskimääräistä käyttäytymistä ja toisella käyttäytymisen yhtenäisyyttä (Pyzdek & Keller 2009, 215). Ohjauskorttien käytössä on monenlaisia hyötyjä ja mahdollisuuksia. Yksinkertaisimmillaan ne estävät turhan säätämisen, ns. peukaloinnin, negatiiviset vaikutukset, sillä ohjauskortti estää pienien

poikkeamien aiheuttamat turhat säätämiset. Ne sisältävät jatkuvaa tietoa prosessin toiminnasta, jota tulkitsemalla voidaan saada tärkeää tietoa prosessista, minkä perusteella voi tehdä merkittäviä parannuksia prosessiin. (Pyzdek & Keller 2009, 236-242.)

Prosessista mitattavasta suureesta riippuen (esim. aika, paino, hyväksyty/hylätty, määrä) käytetään hie- man erilaisia ohjauskortteja. Tässä tekstissä käyn vain pinnallisesti läpi työssä käyttämiäni ohjauskort- tityyppejä. Ohjauskortteihin liittyvä tarkempi käsittely rajataan työstä pois, mutta kiinnostuneet löytävät siitä lisää tietoa esim. Pyzdek & Keller 2009, 215-233.

Ohjauskortin x-akselilla, eli poikittaissuunnassa on aika ja y-akselilla, eli pystysuunnassa on otoksesta laskettu yhteenvetoarvo, joka on yleensä keskiarvo tai jokin variaation määrää kuvaava arvo. Ohjaus- kortissa on vaakaviivoja, joista ylin on ylempi ohjausraja (=UCL), toiseksi ylin on otoksien yhteenveto- arvoista laskettu keskiarvo (=X-bar) ja alin on alempi ohjausraja (=LCL). Ohjausrajat perustuvat otoksen vaihteluun. Ne toimivat rajoina, joiden perusteella otoksista saadut arvot jaetaan prosessin luontaisesta vaihtelusta määräytyviin ja erityisistä johtuviin arvoihin. Erityisyyhin tulisi aina puuttua ja pyrkiä estämään niiden synty jatkossa. Tässä työssä ohjausrajat ovat punaisia ja otoksien keskiarvoraja on vih- reä. (Pyzdek & Keller 2009, 215-233.)

4.2.2 Yleis- ja erityisyyt

Ilmiön sanotaan olevan hallinnassa, kun kaikki siinä tapahtuva variaatio on ennustettavissa. Tämä tar- koittaa sitä, että ennustaminen voidaan tehdä sitoen se johonkin todennäköisyyteen, sillä ennustamisessa on aina virhemahdollisuus. Virhettä kasvattavat tuntemattomat satunnaiset variaation syyt, joita SPC:ssa kutsutaan yleisyyksi. Yleensä vieläkin enemmän virhemahdollisuutta kasvattavat variaation lähteet, jotka eivät ole osa vakioprosessia. Näitä variaation lähteitä kutsutaan erityisyyksi. Erityisyyt on yleensä löydettävissä ja eroteltavissa muista variaation lähteistä ja niiden poistaminen vähentää prosessin vari- aatiota. Erityisyyt ovat yksiselitteisiä syitä poikkeamiin prosessissa, joista esimerkkinä voisi olla ko- neen rikkoutuminen, komponenttien loppuminen kesken tai työntekijän puutteellinen osaaminen.

Tilastollisten työkalujen avulla voidaan erottaa erityisyyt ja yleisyyt. Tämä tehdään esim. ohjauskort- tien ja niissä olevien ohjausrajojen avulla. Tätä mahdollisuutta hyödynetään tilastollisessa prosessihal- linnassa. SPC:n perussääntö on, että yleisyyistä johtuva variaatio olisi jätettävä sattuman armoille, kun taas erityisyyistä johtuva variaatio tulee tunnistaa ja poistaa. Tätä sääntöä ei tule kuitenkaan ottaa kirjai-

mellisesti ja jättää yleisyyistä johtuva variaatio huomiotta. Sen sijaan yleisyyistä johtuvan variaation tutkiminen ja vähentäminen olisi tehtävä prosessista erillään. Tämä tarkoittaa käytännössä pitkällä tähtäimellä tehtäviä periaatteellisia parannuksia prosessissa, joilla yleisyyistä johtuvaa variaatiota vähennetään. (Pyzdek & Keller 2009, 209-211.)

Kun prosessista on suoritettu mittauksia tietyn verran, voidaan luoda ohjauskortit. Ohjauskorttien oikeaoppinen käyttö johtaa vähitellen hallinnassa olevaan prosessiin, jossa on mahdollisimman vähän erityisyyttä. Sitten hallinnassa olevan prosessin taso voidaan arvioida. Kun erityisyyt on poistettu ja variaatio johtuu vain yleisyyistä, ei prosessia voi enää niinkään parantaa yksinkertaisen ongelmanratkaisumenetelmän avulla, sillä se johtaisi vain ylimääräiseen säätämiseen ja siten kasvattaisi variaatioita. (Pyzdek & Keller 2009, 214.) Tällöin parannus vaatii perustavanlaatuisia muutoksia prosessissa. Juuri tämä ajatus on tämän työn toimeksiantajayrityksen johdolla ollut heidän vakiintuneen lastausprosessin kehittämisessä.

4.2.3 Työssä käytetyt ohjauskortit

Yksittäismittauskortit, eli I- tai X-kortit, ovat ohjauskortteja, jotka muodostetaan suoraan yksittäisistä mittaustuloksista/havainnoista. Niistä siis näkyy mitattu tieto sellaisenaan, sillä jokaisen otoksen koko on yksi. I-kortteja käytetään, kun mittausten keskiarvojen (X-bar) käyttö prosessin hallinnassa ei ole käytännöllistä. Näin voi olla esim. silloin, kun mittausten teko on kallista tai kun erätuotannossa erän sisäinen vaihtelu on hyvin pientä erien väliseen vaihteluun verrattuna (Pyzdek & Keller 2009, 221). Tämän työn tapauksessa valmista dataa ei kannattanut koota enää sen enempää yhteen keskiarvoiksi kuin se valmiiksi vuorottaisista summista koostuen oli.

MR-kortti (Moving Range Chart), eli vapaasti suomennettuna ”muuttuva arvovälikortti”, on työkalu mittaustulosten eroavaisuuksien havainnointiin. Se kertoo kuinka paljon perättäiset mittaustulokset eroavat toisistaan (Pyzdek & Keller 2009, 221). Alla olevassa kuviossa 3 on valmiina saamastani prosessin tuotosdatasta tehty ohjauskortti.

KUVIO 3. Prosessin tuotosdatasta tehty ohjauskortti, yksittäismittauskortti (SALAINEN)

Yllä olevasta kaaviosta nähdään, että prosessi on ollut kohtuullisen vakaassa tilassa jo pidemmän aikaa. Jos tarkastelua laajennetaan koko vuodelle 2016, ohjauskortti näyttää vielä suurempaa vakautta. Tähän vakauteen perustuen voin olettaa prosessista tehtyjen mittausten kuvaavan mittaushetken lisäksi hyvin

myös prosessin menneisyyttä sekä tulevaisuutta, mikäli prosessiin ei tehdä muutoksia. Tulevien mitausten voi siis olettaa antavan todenmukaisen kuvan prosessista. Mikäli erityisyyttä olisi runsaasti, mitaustuloksista ei voisi tehdä luotettavia päätelmiä.

Kuten edellä esitetystä ohjauskortista nähtiin, selkeitä toistuvia erityisyyttä prosessin tuotoksista ei ole havaittavissa. Siksi tässä kehittämistyössä parannukseen voidaan päästä vain yleisyyhin puuttumalla, eli tekemällä periaatteellisia parannuksia prosessiin. Nämä parannukset perustuvat syvällisempään pohdintaan prosessin toiminnasta. Simulaatio on mainio väline tämän laisten muutosten analysointia varten. (Banks ym. 2005, 4-5; Law & Kelton 2000, 92.)

4.3 Datankeräyssuunnitelma ja mittarien määrittely

Valmiiksi luonnostellun simulointimallin konseptin ohjaamana siirryttiin lopulta itse datan keräämisen suunnitteluun. Simulointimallia varten tarvitaan dataa jokaisesta simulointiin kuuluvasta komponentista. Suuren datatarpeen takia simuloinnin rajaus tehtiin tarkasti SIPOC -työkalua hyödyntäen. Käytännössä kaikki simulointimallissa tarvittava data, joka olisi itse mitattava ja kerättävä, oli tällöin mahdollista kerätä suoraan parannettavasta prosessista. Kaikki tarvittava lastausvaiheen syöttödata, kuten tuotteiden saapumistahti, -määrät ja -tyypit, olisi saatavissa prosessista suoraan mitattuna tai valmiina datana toimeksiantoyrityksen tietojärjestelmistä. Tarkempaa tietoa itse parannettavan prosessin ulkopuolelta ei siis ollut tarvetta kerätä.

Jälleen päädyttiin suunnitteluun. Jo määrittelyvaiheessa suoritettujen havainnointien aikana pohditiin kehitettävän prosessin kuvaamista simulaationa; mitä dataa tulisi tarvita simulaation varten. Simulointimallin konseptissa nämä asiat olivat suurelta osin huomioituna. Datankeräyssuunnitelmassa erittelin kaiken datan, jota simulointimallissa tulisi luultavasti tarvita. Tietoa kerättiin prosessin toiminnasta (logiikasta), prosessin panoksista ja prosessin tuotoksista. Panoksina voidaan pitää kaikkea, mikä vaikuttaa prosessiin mutta joihin kohdeprosessi itse ei vaikuta. Prosessin tuotokset ovat kaikkea, mitä itse prosessista itsestään voidaan havainnoida ja mitata. Datankeräyssuunnitelmassa jokainen datakohde, niiden mittayksiköt ja datakohteen fyysinen sijainti prosessissa on nimetty, mittaustapa määritetty sekä eroteltu se, kuvaako kyseinen data tutkittavan prosessin panoksia vai tuotoksia. Datankeräyssuunnitelma kokonaisuudessaan löytyy liitteenä (LIITE 4). Suunnitelma auttaa pitämään kaiken tarvittavan tiedon mielessä ja se varmistaa, että kaikki tarvittava huomioidaan mittaamisessa.

Datankeräyssuunnitelmasta voi nähdä, että havainnointi on ainakin tässä tapauksessa suuressa roolissa datan keräämisessä. Läheskään jokaista asiaa en vielä tässä vaiheessa projektia ollut havainnoinut tarpeeksi. Esimerkiksi jonkin työvaiheen jaksoaika, eli kuinka kauan yhdellä tuotteella menee aikaa yhdessä (työ-)vaiheessa, vaatii ainakin kymmeniä havaintoja, jotta otos olisi tarpeeksi suuri. Mikäli jaksoaika vaihtelee paljon jossain työvaiheessa, voidaan vaatia kertaluokkaa enemmän havaintoja, jotta niistä saadun datan avulla voi kuvata työvaiheen jaksoaikaa todenmukaisesti. Sama pätee myös muihin suureisiin kuin aikaan, kuten esim. eräkokoihin, eli kappalemääriin.

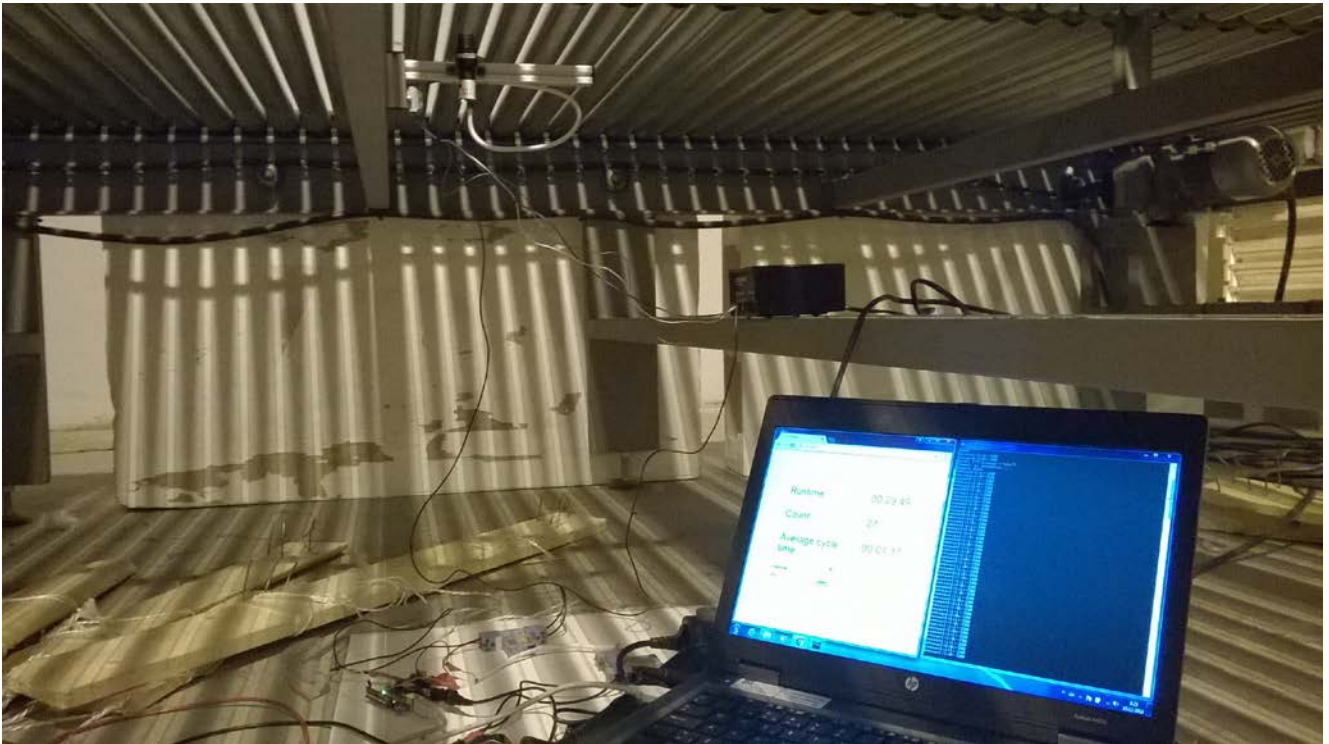
Tässä työssä päädyin hyödyntämään videointia havainnoinnin keinona. Koska kehitystutkimus vaatii paljon lähtötilannetietoa, ja etenkin koska simulointi vaatii sitä, oli pystyttävä keräämään moniin eri muuttujiin liittyvää kvantitatiivista tietoa kohtuullisen pitkällä aikavälillä. Näin tieto olisi luotettavampaa. Lisäksi tarve oli etenkin simulointia ja kausaalisuuksien selvittämistä varten pystyä liittämään eri muuttujien yksittäisiä arvoja toisiinsa todellisten tapahtumien ja toiminnan logiikoiden mukaisesti. Näiden vaatimusten takia tutkimustyössä päädyttiin käyttämään videokuvausta yhtenä tiedonkeruumenetelmistä. Videointi mahdollistaa ilmiön kokonaisvaltaisen tarkastelun (Kananen 2012, 94-97). Se on havaittu hyödylliseksi avuksi tuotannon kehittämisessä (Promaintlehti 20.9.2017).

Videoinnin lisäksi käytin tiedonkeruukaavakkeita, joiden avulla sain tietoa sellaisista asioista, joita videolla ei näkynyt tai joita ei voinut videosta erottaa. Käytetty tiedonkeruukaavake on tämän tekstin liitteenä (LIITE 9). Edelleen näiden tiedonkeruumenetelmien lisäksi hyödynsin automaatisoitua datan keräämistä käyttämällä datankirjauslaitetta, jonka sähkö- ja automaatiotekniikan insinööriopiskelija Jari Jääskelä rakensi ja ohjelmoi tätä tarkoitusta varten. Tämän laitteen avulla tarkoitus oli kerätä simulointimallin kannalta kenties kriittisintä dataa siitä, että minkälaisin aikaväleihin tutkittavaan prosessiin tuli tuotteita. Nämä aikavälit vaihtelivat melkoisesti prosessin tilasta riippuen, minkä lisäksi mittausten välinen aika oli melko pieni, jopa vain kymmenkunta sekuntia. Laite mahdollisti suuren datamäärän keräämisen pitkältä aikaväliltä erittäin vaivattomasti.

4.4 Datankeräyslaitteen ja videoinnin toteutus

Laitteisto sijoitettiin kokoonpanolinjaston loppuun rullakuljettimen alle niin, että se rullien välistä tunnistaa sen yli menevän kaapin etu- ja takareunan. Se kytkettiin myös uunin linjaston ohjausvirtaan. Sovellus ”leimaa” ajankohdan tietokoneen välimuistiin joka kerta, kun anturi tunnistaa kaapin, sekä kun uunin linjaston ohjausvirta kytketään päälle tai pois päältä. Kaappien väliaikojen lisäksi sovelluksen avulla sai siis kirjattua kaikki muovitusuunin pysäytykset ja käynnistykset. Puolen tunnin välein, tai kun

sovelluksen käyttäjä itse niin haluaa, sovellus tallentaa aikakirjaukset sisältävän tiedoston excel-taulukkomuodossa. Alla olevassa kuvassa 6 on käytössä kyseinen datankirjauslaite, kytkettynä tietokoneeseen, kapasitiiviseen anturiin ja virtalähteeseen. Kuva on otettu kuljettimen alta, jonka päältä kokoonpanolinjasolla tehdyt kaapit menevät lastaukseen.



KUVA 5. Datankirjauslaitteisto

Videointi pyrittiin toteuttamaan niin, että videokuvassa näkyisi tutkittava prosessi kokonaisuudessaan. Laajakuvakamerasta huolimatta koko aluetta ei voinut kattaa menettämättä kuvan tarkkuutta liikaa. Päädyimme siihen, että toimeksiantajayritys asensi kameras kuvan-alaan merkkilampun, joka mahdollisti videokuvan ulkopuolella olevan uunin toiminnan havainnoinnin. Toimeksiantajayritys hankki myös kameras videointia varten. Lamppu kytkettiin muovitusuunin ohjausvirtaan niin, että pysäytettäessä uunin valo syttyy palamaan ja sammuu, kun uuni käynnistetään. Kameran videokuvassa on myös tunnistetiedot kuten päivämäärä ja ajankohta. Näin ollen, kun sekä automaattinen tiedonkeruusovellus että videointi keräävät tietoa uunin linjastosta, voidaan kahden tietolähteen vertailun avulla saada luotettavampaa tietoa. Kamera mahdollistaa myös lastausvaiheen toiminnan tilanteiden liittämisen uunin linjaston katkoksiin lampun ja tiedonkeruusovellukseen kirjattujen ajankohtien avulla. Näin pystyttäisiin selvittämään syy- ja seuraussuhteita.

Tuotantotoiminnan videoinnissa, johon liittyy ihmisiä, on otettava huomioon eettiset ja juridiset näkökannat, jotta havainnoitavan oikeusturva ei vaarantuisi (Kananen 2012, 94-97). Esimerkiksi lain mukaan videointia saa harjoittaa tuotantoprosessien asianmukaisen toiminnan valvomiseksi, mutta ei työntekijöiden tarkkailuun. Videoinnin käyttökohde on myös dokumentoitava ja suunniteltava asianmukaisesti, sekä videoinnin suorittaminen on tuotava selkeästi ilmi kaikille videolla mahdollisesti esiintyville. (Laki yksityisyyden suojasta työelämässä 13.8.2004/759, § 16.) Tämän opinnäytetyön tapauksessa teimme kirjallisen esityksen videoinnista kaikille tutkittavaan prosessiin liittyville työntekijöille ja heidän luottamusmiehelleen. Saimme jokaisen työntekijän kirjallisen suostumuksen, mutta videointiajankohdat ja videomateriaalin käyttö oli rajattava tarkasti. Tämän takia tätä materiaalia ei voi esittää tässä tekstissä.

Datankeräyslaitteen ja videokameran asennuksen jälkeen niitä testattiin ja näin pyrittiin varmistamaan niiden tarkoituksenmukainen toimivuus. Tiedonkeruujakso oli sovittu alkamaan vasta viikon päästä laitteiden asennuksesta. Muutamien ohjelmisto-, laitteistomuutosten ja -säätöjen jälkeen saimme kaiken toimimaan juuri ajoissa tiedonkeruujaksoa varten. Emme kuitenkaan kerenneet harjoitella tiedonkeruuta, minkä takia laitteiden pitkäaikaisessa toiminnassa ilmeni ongelmia ja pari ensimmäistä päivää tiedonkeruviikosta meni lähestulkoon hukkaan. Ongelmien ratkaisu vaati vielä pieniä viilauksia laitteiden ohjelmistoihin, minkä jälkeen tiedonkeruu sujui hyvin loppuviikon työvuorojen ajan.

Seitsemän vuoron ajalta sai kuitenkin hyvän otoksen kunkin datakohteen tärkeimmistä ominaisuuksista. Näistä esimerkkeinä videosta mittasin 186 kappaleen otoksen muovitusuunin pysähdysajoista, 32 kappaleen otoksen ajoista, mikä rekan vaihtoon kuluu, sekä satoja tuotteiden siirtoaikoja, joista otoksina 89 trukilla siirtoa, 340 kaapin siirtoa lavalta rekkaan, 400 kaapin siirtoa kokoonpanolinjastolta siirtolavalle ja 109 kappaleen otoksen prosessin seisahtuksista kokoonpanolinjaston loppupäässä. Tiedonkeruukaavakkeella sain 106 kappaleen otoksen muovitusuunin pysäytysajoista ja pysäytysten syistä. Toimeksi-antoyrityksen tietojärjestelmistä sain 315 kappaleen otoksen toimitusten kaappimääristä, 690 kappaleen otoksen pientoimitusten kohdekohtaisista kaappimääristä ja 36 000 kappaleen otoksen tahtiajoista kokoonpanolinjastolla. Tiedonkeruulaitteen avulla sain 1600 kappaleen otoksen kaappien saapumisaikaväleistä kokoonpanolinjaston loppupäähän. Jokaiseen näihin datariveihin liittyy myös muita tietoja, kuin mainittuja määrä- ja aikatietoja. Tästä esimerkkinä mainitsemani tiedonkeruukaavake, jossa on sekä pysähdykseen kulunut aika sekä pysähdyksen syy. Jokaisen rekan vaihtoon liittyvän ajan lisäksi tapahtumasta on tiedossa myös rekan koko ja tilaustyyppi, mikä rekkaan lastattiin. Kokoonpanolinjaston tahtiaikoihin liittyi myös tieto jokaisen kaapin tyypistä. Valitsin tahtiajoista 50 eniten esiintyvää kaappityyppiä, mikä kattaa 87% kaikista kaapeista. Tämän perusteella määritin simulointimalliin sen, että kuinka paljon minkäkin laisia kaappeja simulaatiossa ”syntyy”. Tietoa oli siis käytettävissä valtavasti.

Videointi tehtiin siis noin seitsemän vuoron, eli 56 tunnin ajalta. Kävin videot läpi kaksi kertaa, palaten joihinkin tilanteisiin useamminkin. Ensimmäisen kerran kävin videot läpi 12-kertaisella nopeudella. Tämä oli hyvä tapa kirjata harvoin tapahtuvien toimintojen tietoja, jotka erottuivat selkeästi videosta. Näitä oli esimerkiksi muovitusuunin pysähdys ja rekan vaihto. Muovitusuunin pysähdys oli helppo havaita kuva-alaan asennetun lampun ansiosta, mikä paloi aina uunin ollessa pysähtyneenä. Rekan vaihto, millä tarkoitan täyteen lastatun rekan ajamista pois ja tyhjän rekan ajamista tilalle, oli selkeä erillinen tapahtuma prosessissa. Tapahtumien aikaleimat kirjasin suoraan MS-Exceliin käyttämällä sen NYT() -kaavaa ja makroa, jonka avulla sain sen syötettyä seuraavalle riville yhdellä napin painalluksella. Excelistä piti muistaa vain ottaa solujen automaattinen päivitys pois päältä. Lopuksi sain muunnettua 12-kertaisella nopeudella kerätyt aikaleimat todelliseen aikaan kertomalla aikavälit kahdellatoista. Noin viidessä tunnissa sain siis kirjattua ylös kaikki 56 tunnin aikana tapahtuneet uunipysähdykset ja rekan vaihdot. Toisella kerralla kävin videota läpi kaksinkertaisella nopeudella, lisäksi hyppien kiinnostaviin tilanteisiin. Tällöin kirjasin tapahtumien ajankohtia käyttäen apuna videokuvassa olevaa kelloa.

4.5 Nykytilan määrittäminen

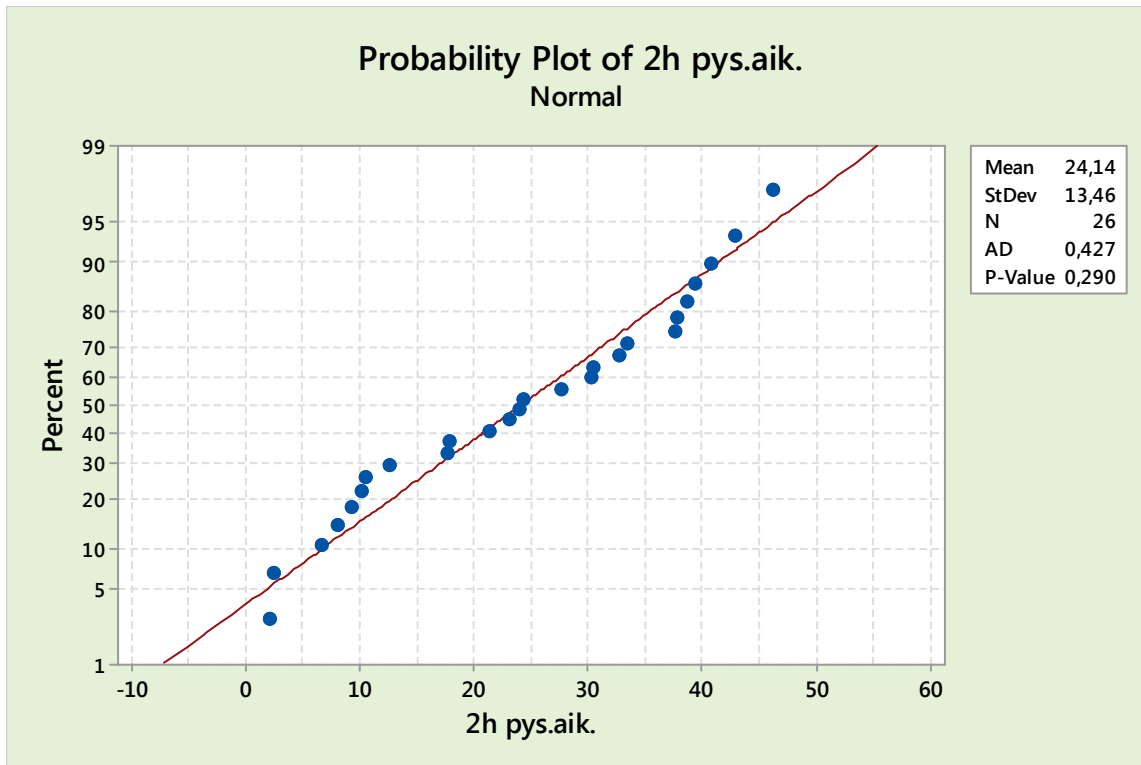
Prosessin alkutasosta pitäisi olla tieto seuraavista syistä:

- jotta voidaan määrittää kannattaako projektia aloittaa
- jotta projektiryhmä voi orientoitua eli tietää mitä ollaan tekemässä ja mikä on tärkeää
- jotta on dataa johon verrata, että voidaan jälkeinpäin arvioida saavutettuja etuja (Pyzdek & Keller 2009, 206.)

Toimeksiantoyrityksen arvio oli, että tuotantoprosessista kokonaisuudessaan menee läpi tietty määrä tuotteita vuoron aikana, ja että lastausprosessia kehittämällä voitaisiin saada aikaiseksi 15 prosentin kasvu tuotantomäärissä. Lastausprosessin on päätelty olevan tuotantoprosessin pullonkaula, sillä se estää edellistä työvaihetta kokoonpanemasta lisää tuotteita, enemmän tai vähemmän säännöllisin väliajoin. Pullonkaula syntyy, kun lastausvaiheessa tulee viivästyksiä, siellä työskentelevät työntekijät eivät kerkeä purkaa kaappeja linjastolta. Tällöin lastauksen työntekijöiden on käytävä pysäyttämässä kokoonpanolinjaston loppupäässä oleva muovitusuuni, kunnes viivästyksestä on selvitty. Kun kokoonpanolinjaston loppupää on täten tukossa, myös kokoonpanolinjaston toiminta on pian pysäytettävä. Näin ongelmat lastauksessa vaikuttavat koko tuotannon tehokkuuteen. (Hietala 2016a.)

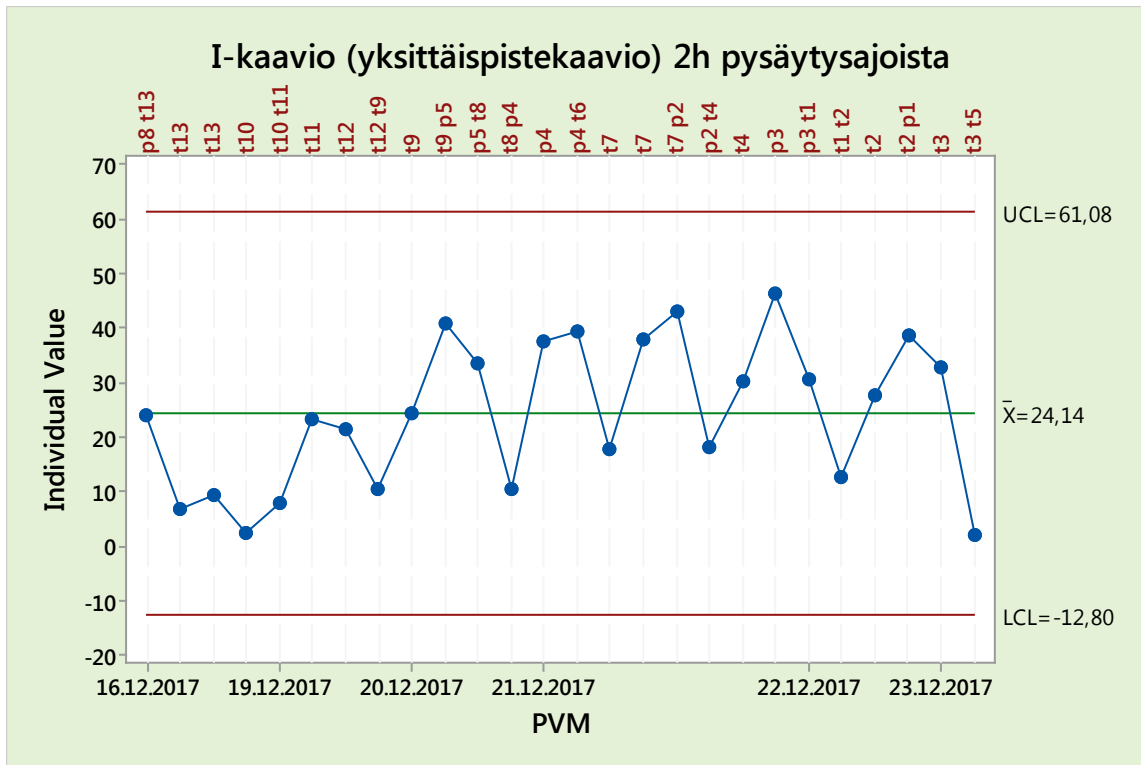
Ratkaisuksi tutkimuskohteen ongelmaan toimeksiantoyrityksessä oli ajateltu puskurivälivarastoa lastauksen yhteyteen. Tähän puskuriin lastaustyöntekijä, tai jokin muu työntekijä, voi nostella kokoonpanolinjastolta reilun määrän kaappeja odottamaan viivästyksien loppua. Tällöin voitaisiin välttyä kokoonpanolinjaston pysäytyksiltä. Kuten sanottua, lastausvaiheessa tapahtuvien viivästysten voidaan olettaa näkyvän ensisijaisesti siinä, että muovitusuuni pysäytetään. Siispä kun lastausvaiheen viivästyksiä pyritään vähentämään, hyvä paikka mitata lastausvaiheen toiminnan tasoa on juuri muovitusuuni. Koska muovitusuunin pysähdys johtaa kokoonpanolinjan tukkeutumiseen, sen vaikutus kokonaistuotantomääriin on selkeä. Tämän takia sekä datankirjauslaute että videointi molemmat toteutettiin niin, että ne mahdollistivat muovitusuunin pysäytysten tarkan huomioinnin.

Alkutilanteessa tiedettiin, että tietty määrä kaappeja valmistui yhden vuoron aikana. Mittausjaksolla kerätyn datan mukaan tällä tasolla toimiessaan lastausvaihe joutui pitämään muovitusuunin pysähdyksissä keskimäärin 24 minuuttia jokaisen kahden tunnin ajanjakson aikana, mikä tarkoittaa 22 % työajasta. Päätin määrittää prosessin suorituskykyä kuvaavan mittarin niin, että kahden tunnin aikana tapahtuneet uunin pysäytykset kootaan summiksi, ja että nämä kahden tunnin kertymät muodostavat yhden mittaus-tuloksen. Tällä tavalla määritetyt tulokset olivat yhtenäisiä, mikä teki niistä helpommin käsiteltäviä. Ne olivat mukavasti normaalijakauman mukaisesti jakautuneet, jolloin tilastollisten testien teko on tarpeen vaatiessa helppoa. Tämänlaiset havainnot muodostivat myös tarpeeksi suuren tulosjoukon tilanteen vertailemiseen. Havaintojen jakautuminen normaalijakauman mukaisesti on esitetty seuraavassa kvantiilikuviossa (KUVIO 4). P-arvo 0,29 tarkoittaa sitä, että päätelmällä havaintojen sopimattomuudesta testattavaan jakaumaan on 29 prosentin riski olla väärä. Tämä riski on selvästi liian suuri, joten emme voi hylätä testattavaa jakaumaa, normaalijakaumaa.



KUVIO 4. Havaintojen jakautuminen

Muodostin mittaustuloksista ohjauskortin, joka määrittäi alkutason ja jolla alkutilanteen kehittymistä pystyi seuraamaan. Ohjauskortti näkyy alla olevassa kuviossa 5. Kuvion ohjauskortti rakentuu, kuten tämän luvun alussa esitin. Yksi sininen piste kuvaa yhtä kahden tunnin pysähdysaikakertymää. Kuten vihreän vaakaviivan oikealta puolelta näkee, keskimääräinen kertymä on 24,14 minuuttia. Tulosten vaihtelun mukaan määräytyvät ohjausrajat kertovat, että prosessi on stabiilissa tilassa ja että uuni on pysähtyneenä 0 - 61,08 minuuttia jokaisena kahden tunnin ajanjaksona. Tässä on huomioitava, että aika ei voi saada negatiivista arvoa, vaikka alempi ohjausraja (LCL) niin näyttäisikin. Tässä ohjauskortissa lisäinformaationa on kuvion yläreunan merkinnät. Ne kertovat mitä tilauksia/minkälaisia tilaustyyppijä kunkin kahden tunnin aikana lastauksessa käsiteltiin. Tarkoitus oli näiden avulla visuaalisesti esittää, kuinka hyvin arvio tilaustyyppin vaikutuksista pysähdyskertymiin pitää paikkansa. Kuviosta voi havaita, että pienten kertymien kohdalla on t (=projektioimitus) ja isompien kertymien kohdalla p (pientoimitus). Olihan pientoimitusten havaittu aiheuttavan enemmän ongelmia.



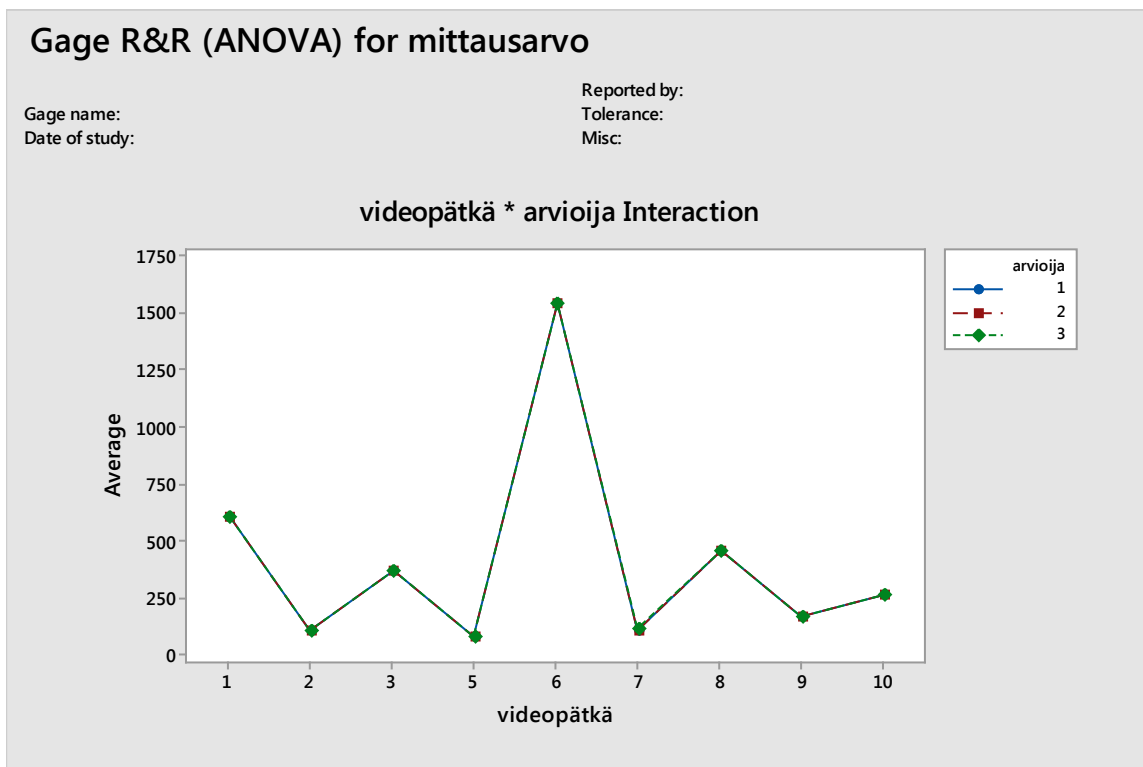
KUVIO 5. Ohjauskortti, joka kuvaa tutkittavan prosessin alkutilaa.

4.6 Mittaussysteemin analysointi

Hyvä mittausjärjestelmä sisältää tiettyjä ominaisuuksia. Ensinnäkin, sen pitäisi tuottaa mittausarvoja, jotka ovat tarpeeksi lähellä todellisuutta, eli sen pitäisi olla tarkka. Toiseksi, jos sitä käytetään toistuvasti saman kohteen mittaamiseen, tulosten pitäisi olla tarpeeksi lähellä toisiaan, eli sen pitäisi olla toistettava. Kolmanneksi, sen pitäisi tuottaa yhtä lailla tarkkoja ja yhtenäisiä tuloksia koko mittausskaalan/-alueen laajuudelta, eli sen pitäisi olla lineaarinen. Neljänneksi, sen pitäisi tuottaa samoja tuloksia riippumatta mittauksen suorittajasta, olettaen että suorittajalla on tarpeellinen osaaminen, eli mittausten pitäisi oltava kopioitavissa. Viimeiseksi, kun sillä mitataan samaa kohdetta, sillä pitäisi saada kullakin ajan hetkellä samat tulokset kuin sillä on menneisyydessä saatu ja tullaan aina tulevaisuudessa saamaan, eli sen pitäisi olla vakaa. (Pyzdek & Keller 2009, 289.)

Mittaussysteemin, jolla siis tarkoitetaan suoritusajojen mittamista videokuvasta, arviointi toteutettiin niin, että kolmelle eri mittaajalle esitettiin yhdeksän eri videopätkää satunnaisessa järjestyksessä niin, että jokainen mittasi jokaisesta pätkästä yhden tapahtuman kahdesti. Samasta tapahtumasta tehtiin testissä siis kuusi mittausa. Mittaus tapahtui, kuten edellisessä aluvuossa selitin, käyttäen MS-Exceliä.

Jokainen videopätkä esitettiin 12x nopeudella, kuten ne todellisuudessakin käytiin läpi. Tässä mittaus- tavassa ainoastaan mittajaan keskittyneisyys ja reagointikyky vaikuttivat mittauksen laatuun. Jälkeen- päin ajateltuna tämä aiheutti ongelmia arvioinnissa. Mittaussysteemin arvioinnin suorittamisen aikana tilanne on eri kuin todellisuudessa, kun videot käydään kokonaisuudessaan läpi. Itse arviointitilanne, missä tarkasteluun otetaan vain muutama pätkä monen päivän videoinnista, voi olla huomattavasti hel- pompi mittajalle ainakin siinä mielessä, että keskittyminen on helpompaa. Siispä oletan, että testin an- tamat tulokset ovat tämän takia hieman vääristyneitä. Seuraava kuvio (KUVIO 6) kuvaa testin tuloksia.



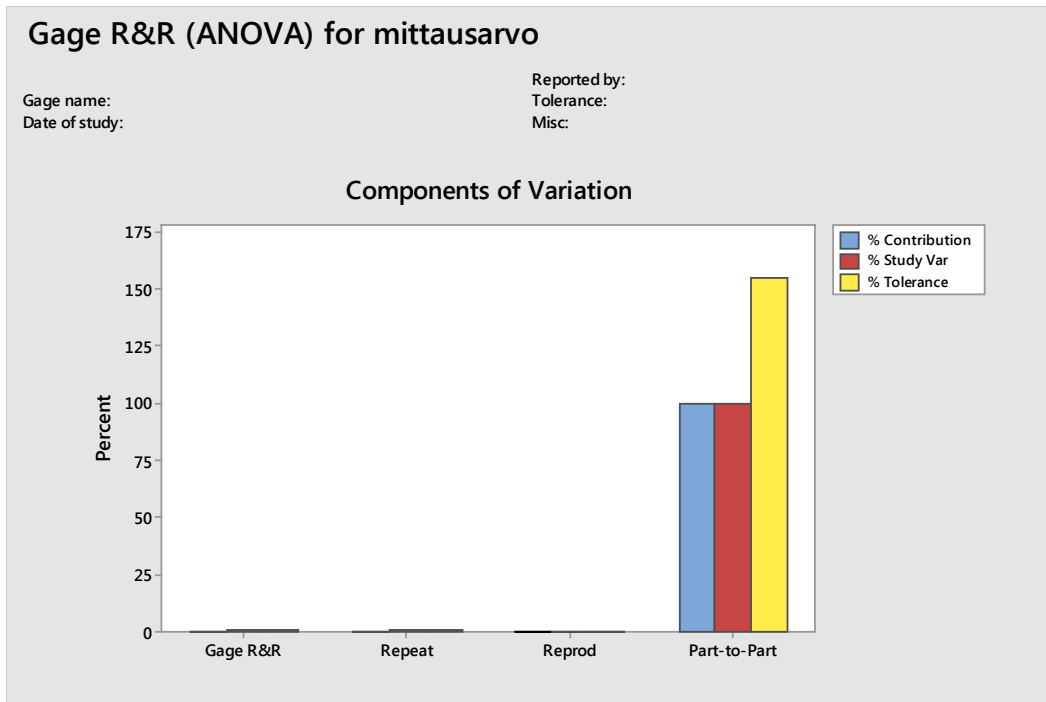
KUVIO 6. Jokaisen arvioijan mittaus tulosten keskiarvo omilla väreillään merkittynä

Yllä olevassa kuviossa on jokaisen mittaushenkilön näytekohtaiset tulokset merkattu omalla värillään. Värejä ei erota toisistaan, sillä ne ovat kaikki lähes samoissa kohdissa. Näytteiden erot näkyvät kuvasta selkeästi. Testiin olikin tarkoituksella sisällytetty näytteitä koko mittauskaalan alueelta. Alla olevassa taulukossa 2 on tarkempi selvitys mittaussysteemin toimivuudesta varianssianalyysin muodossa.

TAULUKKO 2. Varianssianalyysi mittaustituloksista (käsitteet: Mellin 2006)

| Varianssianalyysitaulukko | | | | | |
|---------------------------|--|--|---|---------------|--------|
| Vaihtelun lähde | Vapausasteet <i>df</i> (Degrees of freedom) | Neliösumma <i>SS</i> (Sum of Squares) | Varianssiestimaattori <i>MS</i> (MeanSquare) | F-testi-suure | P-arvo |
| Videopätkä | 8 | 10253064 | 1281633 | 333001 | 0 |
| Arvioija | 2 | 2 | 1 | 0 | 0,736 |
| Toistettavuus | 43 | 165 | 4 | | |
| Yhteensä | 53 | 10253232 | | | |

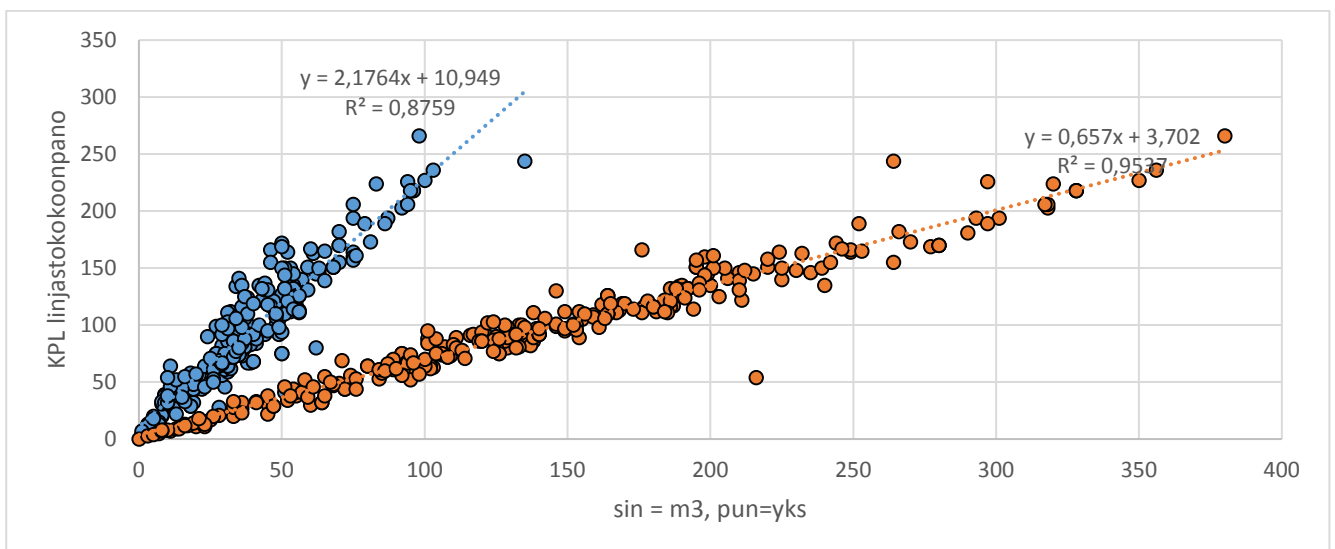
”Videopätkä” -rivin P-arvo on 0, eli videopätkien mitatut erot voivat olla sattumaa 0 prosentin todennäköisyydellä. ”Arvioija” -vaihtelunlähteen P-arvon 0,736 perusteella voimme päätellä, että arvioiden perusteella ei voi selittää havaittua mittauserojen vaihtelua. 0,736 kertoo, että 73,6 prosentin todennäköisyydellä arvioitsijoiden mittauserojen erot voivat olla sattumaa. Siispä mittauserojen vaihteluun ei tässä tapauksessa vaikuta se, että eri arvioijat suorittavat mittauksia, sillä näyttää siltä, että kaikki arvioijat saavat samoja tuloksia samoista mittauskohteista ja että yhden arvioijan mittaamat tulokset samasta näyteestä ovat hyvin yhtenäisiä. Seuraavassa kuviossa (KUVIO 7) havainnoidaan vielä eri tekijöiden vaikutusten suurusluokkia mittaustulosten vaihtelussa. Kuvassa olevat palkit kertovat kuinka suuri osa vaihtelusta on aiheutunut kustakin syystä. Part-to-part, eli kappaleittainen vaihtelu, kattaa käytännössä 100 % mittaustulosten vaihtelusta. Mittausvirheiden osuus on siis tästä käänteisesti käytännössä 0 %. Täten mittaussysteemi todettiin tarpeeksi luotettavaksi.



KUVIO 7. Palkin koko kuvaa mittauserosyyntä osuutta

4.7 Tietojärjestelmädatan muokkaus

Seuraava kuvassa (KUVIO 8) käytin excelin regressiomallinnusominaisuuksia hyväkseni muttaessani toimeksiantoyritykseltä saamastani eri yksiköissä olevaa dataa yhteen simulointimallissa käyttämäni tuoteyksikköön. Regression tutkiminen antoi minulle myös yhtälön, minkä perusteella pystyin määrittämään tiettyjä simulaation parametreja.



KUVIO 8. Tietojärjestelmän yksiköiden muuttaminen tutkittavan prosessin tuotemääräksi

Muutin toimeksiantoyrityksen tietojärjestelmissä olleet toimituskohtaiset kuutiomäärät ja tuoteyksikömäärät linjastokokoonpanosta tulevien kaappien määräksi. Näitä kaappimääriä käytin simulaatiossa. Näin saatoin määrittää myös sen, kuinka paljon kaappeja rekkaan mahtuu, sillä tiesin rekkojen kuutiotilat, jotka tämän regression avulla saatoin muuttaa kaappimääräksi. Kumpikin regressioyhtälö on hyvin sopiva, minkä kertoo kummankin R^2 -arvo, joka on lähellä maksimia, joka on 1,0. Tämän mukaan kuorma-auton etukonttiin menee keskimäärin maksimissaan 76 kaappia ($=2,1764 \cdot 30\text{m}^3 + 10,949$) ja peräkärryyn keskimäärin maksimissaan 185 kaappia ($=2,1764 \cdot 80\text{m}^3 + 10,949$), joten yhdistelmärekkaan menee yhteensä maksimissaan keskimäärin 261 kaappia. (Pyzdek & Keller 2009, 342-352.)

5 ANALYSOINTIVAIHE

Analysointivaihe painottui nimensä mukaan kerätyn tiedon analysoimiseen. Analysoitavana oli mittausdata, sekä arviot ja oletukset, joita prosessin tapahtumien syihin ja seurauksiin liittyi projektin alkutilanteessa. Datan käsittelyn viimeinen vaihe, eli datan mallintaminen simulointimallia varten, käydään tässä luvussa ensin läpi. Samalla kerron hieman simulointimallin rakentamisesta. Perehdyn sitten syvemmin prosessin tapahtumien syihin. Kausaalisuuksien analysoimiseen pohjautuen kerron myös tavoitteen tarkentamisesta, sen määrällistämistä tutkittavan prosessin näkökulmasta ja keinoista tavoitteen saavuttamiseksi. Kerron, miten selvitin, pitävätkö alkuvaiheen oletukset paikkansa, eli aiheuttaako toimitus-tyypeistä toinen toista enemmän muovitusuunin pysähdyksiä.

Palatakseni jälleen Thomas Pyzdekin ja Paul Kellerin (2009, 321.) määritelmiin Six Sigma -toimintamallin DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmästä, analysointivaiheen tärkeimmät tavoitteet sisältävät seuraavat:

- On analysoitava prosessia arvonluomisen kannalta, jotta voi tunnistaa tapoja kehittää prosessia.
- On analysoitava vaihtelun lähteitä, jotta prosessin kehittämistoimet voidaan priorisoida.
- On löydettävä ne tekijät, jotka vaikuttavat prosessille asetettujen vaatimusten saavuttamiseen ja tuloksiin ja ne tekijät, joilla on merkittävä vaikutus itse prosessiin.
- On vertailujen avulla saatava käsitys huipputason prosesseista, jotka käsittelevät samankaltaisia tuotteita tai palveluja.

Analysointivaiheessa täytyy saatuja tietoja tarkastella ja tehdä sen perusteella päätöksiä projektin jatkosta. Siihen, millä on tavoitteiden saavuttamisen kannalta eniten merkitystä, kannattaa keskittyä. Tästä esimerkkinä se, että jos prosessi ei ole stabiili, eli ohjauksorteissa on sporadista vaihtelua, tilastollisten menetelmien käyttö voi olla kyseenalaista. Tällöin yksinkertainen ongelmanratkaisu, esimerkiksi perustuen lean -periaatteisiin, voi olla hyvä ensisijainen tapa prosessin kehittämiseen. Tunnistetaan erityisyyt ja korjataan niitä yksi ongelma kerrallaan. Kun erityisyyistä johtuva vaihtelu on saatu prosessista poistettua, voi kehittäminen siirtyä prosessin kokonaistoimivuutta tutkiviin menetelmiin. (Pyzdek & Keller 2009.) Pyzdekin ja Kellerin mainitsema arvonluonnin näkökulma prosesseihin kuuluu vahvasti myös lean -periaatteisiin (Womack & Jones 1998, 94).

Tässä työssä vaihtelun lähteiden analysointi jäi pienemmälle huomiolle mm. siksi, koska toimeksianto ohjasi työtä enemmänkin vaihtelun vaimentamisen suuntaan ja siksi, koska prosessin tulosten vaihteluun oli oletettavasti yksinkertaisesti tunnistettavat syyt. Resurssien jakamisen kannalta vertailujen tekeminen (mm. benchmarkkaus) jäi tässä työssä vähemmälle huomiolle, lukuun ottamatta prosessin mahdollisuuksia kuvaavien yksinkertaisten laskelmien tekemistä. Ajallisesti koko projektissa suurin työ oli simulointimallin rakentamisessa. Mittausten jälkeisen simulointiprojektin vaiheet olen tämän takia jakanut DMAIC -ongelmanratkaisumallin analysointi- ja kehittämisvaiheisiin. Tämän jaon olen tehnyt niin, että simulointimallin rakenteeseen ja toimivuuteen (sisältäen mallin ohjelmointikoodia) liittyvät päätökset sisältyvät analyysikategoriaan ja simulointimallin soveltaminen kehittämis-kategoriaan

5.1 Simulointimallin syöttöarvojen mallinnus

Jokaisesta datakohteesta kerätty data muodostaa kohdekohtaisen otoksen otosavaruuden tulosvaihtoehtoista. Tämä tarkoittaa sitä, että datajoukko on otos, joka kattaa vain osan kohteen kaikista mahdollista tuloksista, joista esimerkkinä yhdellä tuotteella työvaiheessa kuluva aika. Kerätyn datan avulla voidaan kuitenkin kuvata koko otosavaruutta ja vieläpä määrittää, kuinka luotettavasti otoksen perusteella voi kuvata otosavaruutta. Otosavaruutta, eli esim. työvaiheajoja, kuvataan yleensä todennäköisyysjakaumalla. Todennäköisyysjakaumasta ilmenee otosavaruuden kaikki mahdolliset arvot ja ne todennäköisyydet, joiden mukaan kunkin suuruiset arvot esiintyvät kohteen tuloksissa. Todennäköisyysjakauma määritellään satunnaismuuttujalla, eli laskukaava tai sääntö, joka tuottaa todennäköisyysjakauman mukaisia tulosarvoja. (Law & Kelton 2000, 235-236; Banks ym. 2003. 307-346; Pyzdek & Keller 2009, 209.)

Todennäköisyysjakaumat ja satunnaismuuttujat voivat olla diskreettejä tai jatkuvia. Diskreeteillä on äärellinen määrä tulosarvovaihtoehtoja tasaisin välein (esim. 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1). Jatkuvilla on taas aina ääretön määrä mahdollisia tulosarvoja (esim. 0 ... 1). (Law & Kelton 2000, 236-237.) Todennäköisyysjakaumia käytetään simulaatioissa yleensä kahdella eri tavalla: kerätystä datasta muodostetaan empiirisiä jakaumia tai teoreettisia todennäköisyysjakaumia. Teoreettiset todennäköisyysjakaumat ovat yleisiä (tai ei niin yleisiä) dokumentoituja parametrisia jakaumia ja niitä määrittäviä parametrisia satunnaismuuttujia, joista esimerkkinä Six Sigma -toimintamallin yleisesti käyttämä normaalijakauma. Parametrinen tarkoittaa muokattavaa tai säädettävää. Simulaatiossa datakohteen toimintaa kuvataan siitä kerättyä dataa, esim. työvaiheajoja kuvaavalla jakaumalla. Teoreettisen jakauman käyttö perustuu sopivan jakauman etisimiseen ja sen säätämiseen niin, että se kuvaa otosta tarpeeksi luotettavasti. Empiirinen jakauma taas muodostuu suoraan otoksesta. Jos mitatussa datassa esim. luku viisi kattaa 14 % kaikista

lukuista, empiirinen jakauma määrittää luvulle viisi 14 prosentin todennäköisyyden. Samoin jos otoksen suurin luku on 32, niin empiirinen jakauma ei kata sitä suurempia lukuja. Yleensä suositellaan käytettävän teoreettisia jakaumia, sillä niiden tulosvaihtoehdot ovat rajoittamattomat. Aina ei löydy kuitenkaan sopivaa teoreettista jakaumaa, jolloin esim. on perusteltua käyttää empiiristä jakaumaa. (Law & Kelton 2000, 296-330.)

5.1.1 Datakohteita kuvaavat jakaumat

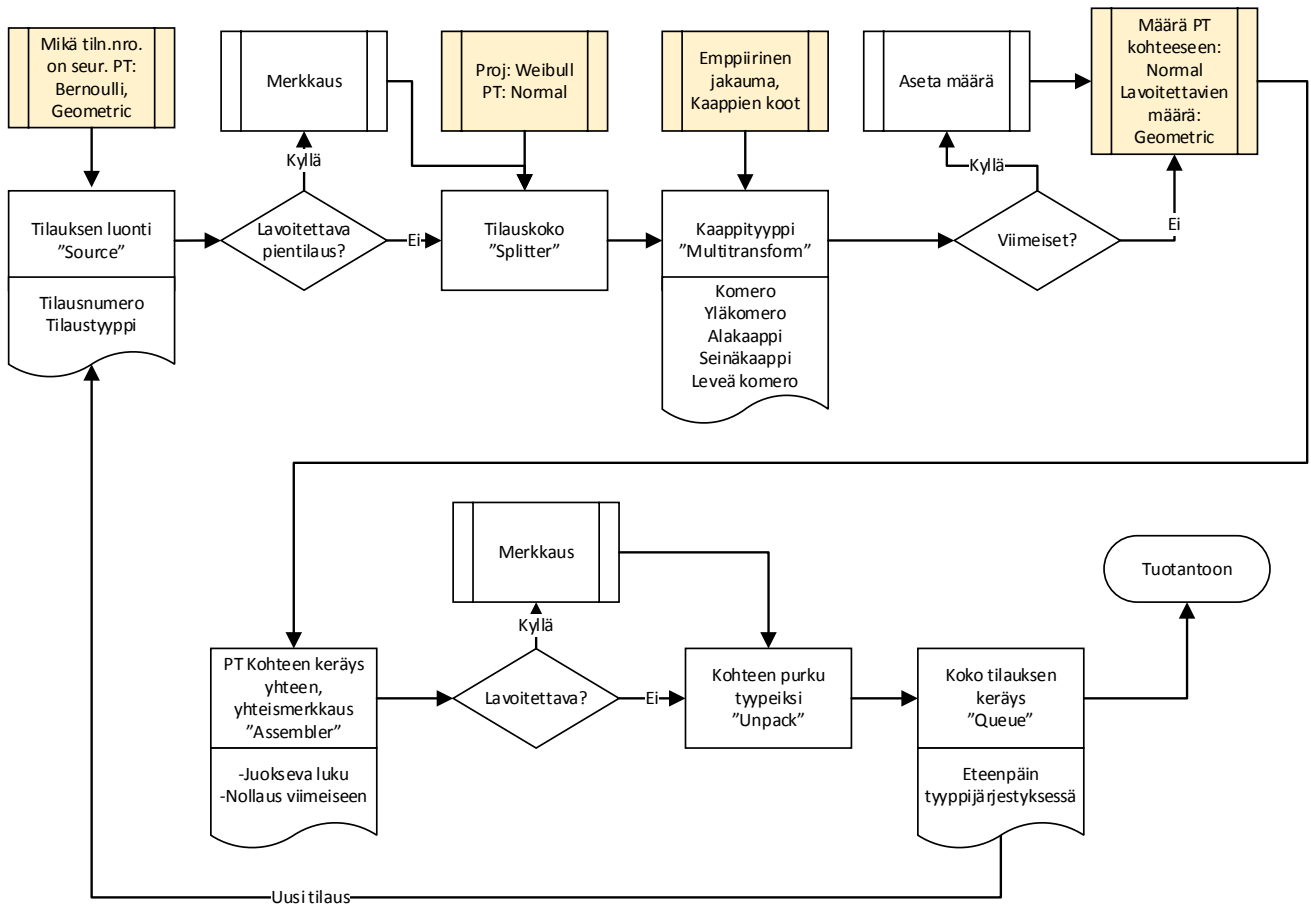
Tässä työssä datakohteita olivat kaikki määrittämissä SIPOC -virtauskaavioon määrittämäni prosessivaiheet. Näiden lisäksi oli joitain prosessin ulkopuolisia muuttujia, jotka toimivat syötöksi prosessiin. Jakauman valitsemisessa käytin yhteenvedoarvoja, kuten keskiarvoa, histogrammien, todennäköisyys- ja kumulatiivisten jakaumien sovittamista, laatikko-jana-kuviota (boxplot) ja kvantiilikuviota (Q-Q-plot).

Lähdetään liikkeelle tutkittavan prosessin alusta. Prosessiin siis tulee kaappeja kokoonpanolinjastolta tietyn satunnaisin väliajoin. Minkälaiseen tilaukseen nämä kaapit kuuluvat? Kuinka paljon kaappeja on yhdessä tilauksessa? Minkälaisia nämä kaapit ovat? Nämä ovat simuloinnin kannalta oleellisia kysymyksiä, sillä sekä kaapin tyyppi, että tilauksen tyyppi vaikuttavat prosessin toimintaan. Jotta simulaatiossa oli mahdollista selvittää tilaustyyppien vaikutukset prosessin tuloksiin, oli toimitustyyppien vaihtelu mallinnettava. Toimitustyyppien oli kaksi, jotka vuorottelivat satunnaisesti ja josta riippuen toimitukseen kuului tietty satunnainen lukumäärä kaappeja. Kaappityyppien vaihtelu johtaa siihen, että joka toimituksessa on satunnainen määrä eri kaappityyppejä. Pientoimituksessa oli myös huomioitava lastausjärjestys, joten pientoimitus oli jaettava osiin, jotka kuvaavat pientoimituksen eri kohteita. Jälleen jokaiseen kohteeseen kuuluu satunnainen määrä kaappeja.

5.1.2 Tuotteiden syntyminen mallintaminen simulaatioon (osa tekstistä salattu)

Mittausvaiheessa suunnittelin konseptuaalisen mallin simulaatiota varten. Tämä oli monilta osin tarpeeseen soveltuva, mutta simulaatiomallia rakentaessa ideat kehittyivät ja siten useat osat konseptista muuttivat jollain tavalla selkeämmin, helpommin ja tarkemmin mallinnetuiksi. Alla olevassa kuviossa 8 on määrittelyvaiheessa tarkemmin esittelemäni tietovirtaprosessin kehittyneempi versio, joka koostuu vähemmästä määrästä osia ja hyödyntää näiden osien ominaisuuksia paremmin kuin alkuperäinen suunnitelma. Tähän prosessiin sisältyy myös monia sellaisia asioita, joita en konseptia suunnitellessani

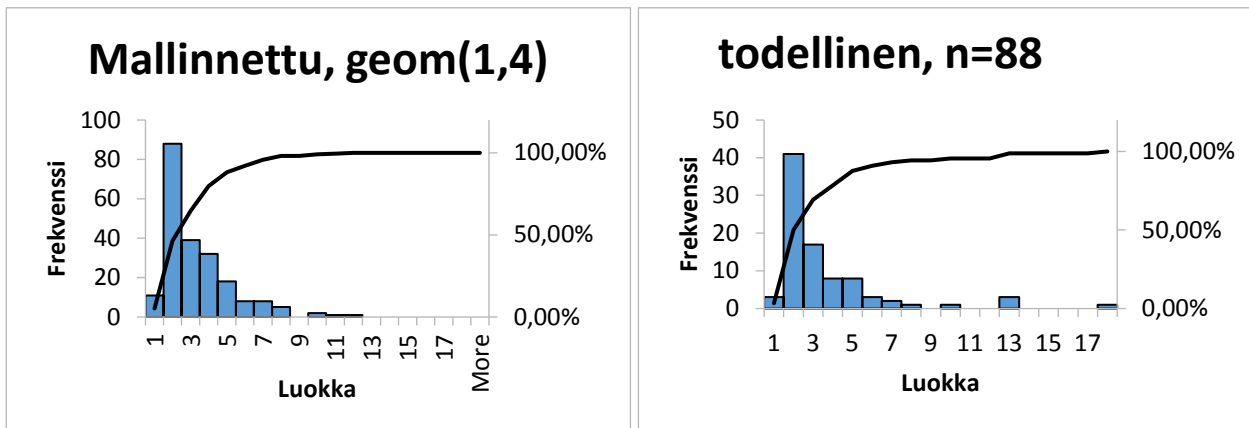
osannut huomioida. Kuvassa olevat kuviot, joissa on punertava tausta, ovat simulaation syöttöarvoja. Tämä kuvio on isompana versiona liitteenä (LIITE 6).



KUVIO 9. Simulaatiomallin tietovirtaprosessi, 2. versio

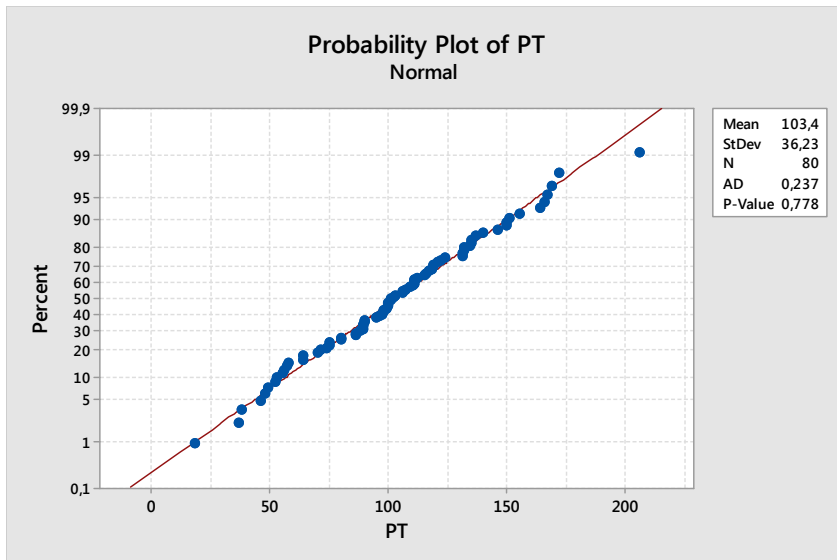
Suurempi osa toimituksista oli kerätyn datan mukaan projektitoimituksia(/tilauksia). Pientoimituksia oli harvemmin, joten yleensä kahden pientoimituksen välissä oli useampi projektitoimitus. Simulaation päätin mallintaa niin, että se alkoi yhden "toimitusatomien" luomisesta. Ensin simulaatio "arpoi" kuinka monta projektitoimitusta tulee ennen seuraavaa pientoimitusta. Arpominen perustui diskreettiin todennäköisyysjakaumaan, jonka mallinsin toimeksiantajayrityksen tietojärjestelmistä saatuihin toimitustietojen mukaan. Jokaisen pientoimituksen jälkeen simulaatio "arpoi" uuden välin seuraavaan pientoimitukseen. Yllä olevassa kuvassa tähänastista toimintaa kuvaa "tilauksen luonti"-laatikko. Tätä jakaumaa kuvasi parhaiten yhdistettynä Bernoulli-jakauma ja siirretty geometrinen jakauma. Alla histogrammi ja kumulatiivinen jakauma todellisesta datasta ja mallintamastani satunnaismuuttujasta (KUVIO 10). Siniiset palkit muodostavat histogrammin. Palkin korkeus kertoo X-akselilla olevan arvon esiintymistiheyden, eli frekvenssin. Mitä korkeampi palkki on, sitä useammin kyseinen arvo on otoksessa esiintynyt.

Musta viiva on kumulatiivinen jakauma, joka kuvaa otoksen kumuloituvaa prosentuaalista osuutta siirryttäessä kuvaajassa vasemmalta oikealle. (Karjalainen 2010; Law & Kelton 2000, 296-241)

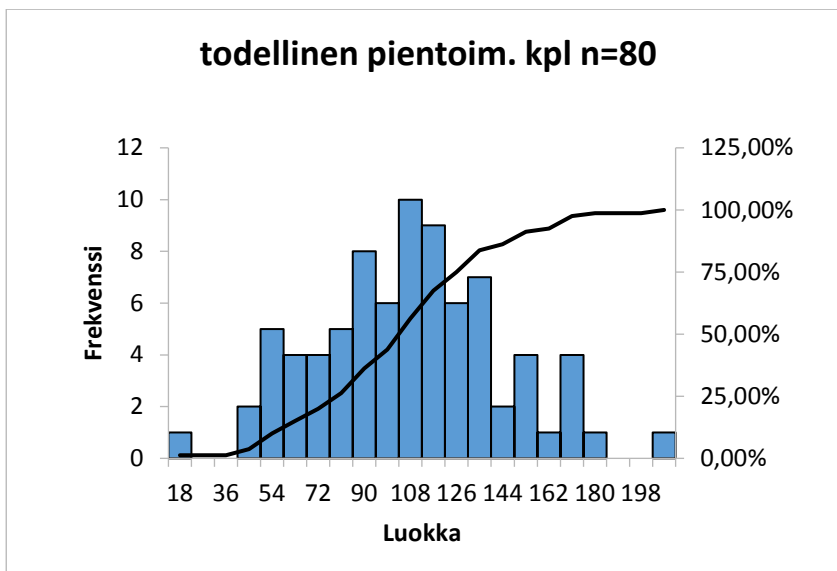


KUVIO 10. Kuinka monta projektitoimitusta pientoimitusten välissä on

Kun ”toimitusatomille”, eli toimitukselle, on määritetty toimitustyyppi, seuraavaksi se pitää muuttaa tuotteiksi. Keräämäni datan mukaan mallinsin erilliset jakaumat projekti- ja pientoimituksien toimituskohtaisille kaappimäärille. Prosessikaavion kohta ”tilauskoko” huolehtii toimitukseen määrittämisestä. Pientoimitusten osalta käytin mallintamiseen normaalijakaumaa ja projektitoimituksilla Weibull-jakaumaa. Nämä siis määrittivät, kuinka monta tuotetta yhteen tilaukseen/toimitukseen kuuluu. Seuraavassa kuvaajat niille. Ensimmäisessä kuviossa (KUVIO 11) on pientoimituskokojen jakauman sopivuutta normaalijakaumaan kuvaava kvanttilikuvio. Se osoittaa, että pientoimituskoot noudattavat normaalijakaumaa, sillä p-arvo on 0,778. Toisessa kuviossa (KUVIO 12) on näitä pientoimituskokoja kuvaava histogrammi ja kumulatiivinen jakauma.

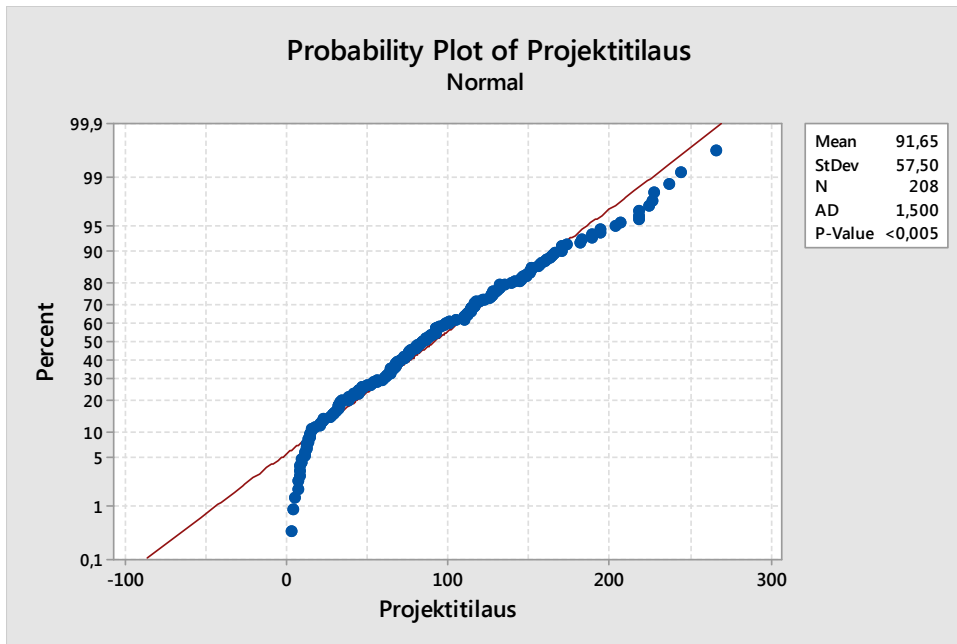


KUVIO 11. Kvantillikuvio: pientoimitusten kokojen sopivuus normaalijakaumaan

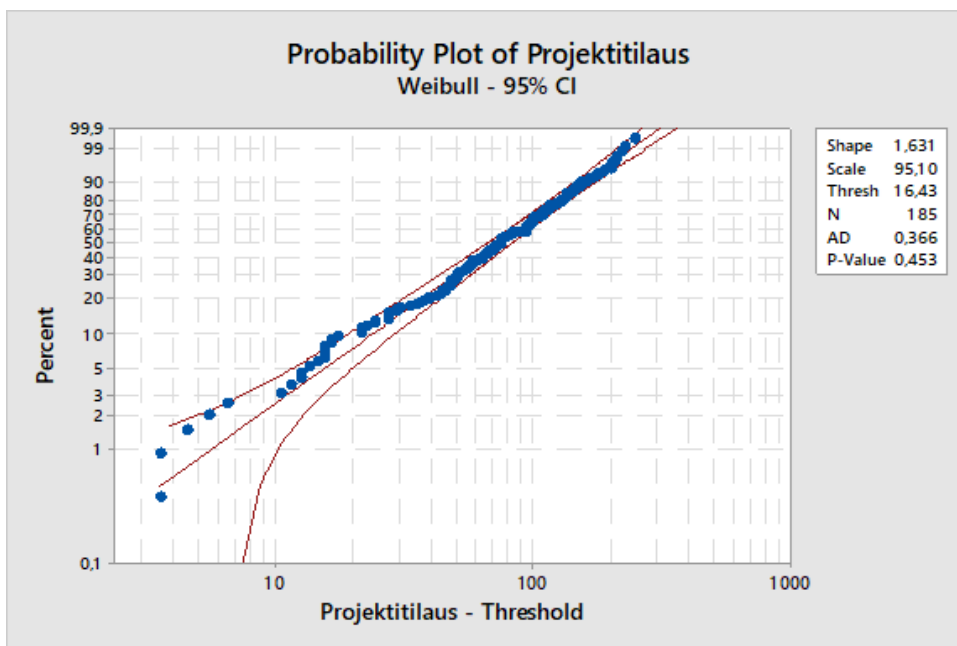


KUVIO 12. Yksittäisen pientoimituksen kaappimäärä. Luokka-arvot peitetty luottamuksellisista syistä

Seuraavissa kuvioissa (KUVIO 13, KUVIO 14) on toimituskoot projektitoimituksille. Tässä tapauksessa kvantillikuvio, joka vertaa otoksen jakaumaa normaalijakaumaan, osoittaa huonoa sopivuutta. P-arvo on alle 0,005 ja merkittävimmät erot ovat jakauman reunoilla. Pienen etsimisen jälkeen löysin otoksen jakaumaan hyvin sopivan teoreettisen jakauman: weibull-jakauman. Tästä kvantillikuvio normaalijakaumaan vertaavan kvantillikuvion jälkeen. Weibull-jakauman tapauksessa p-arvo on 0,453, joten jakauman sopivuus on tarpeeksi hyvä.

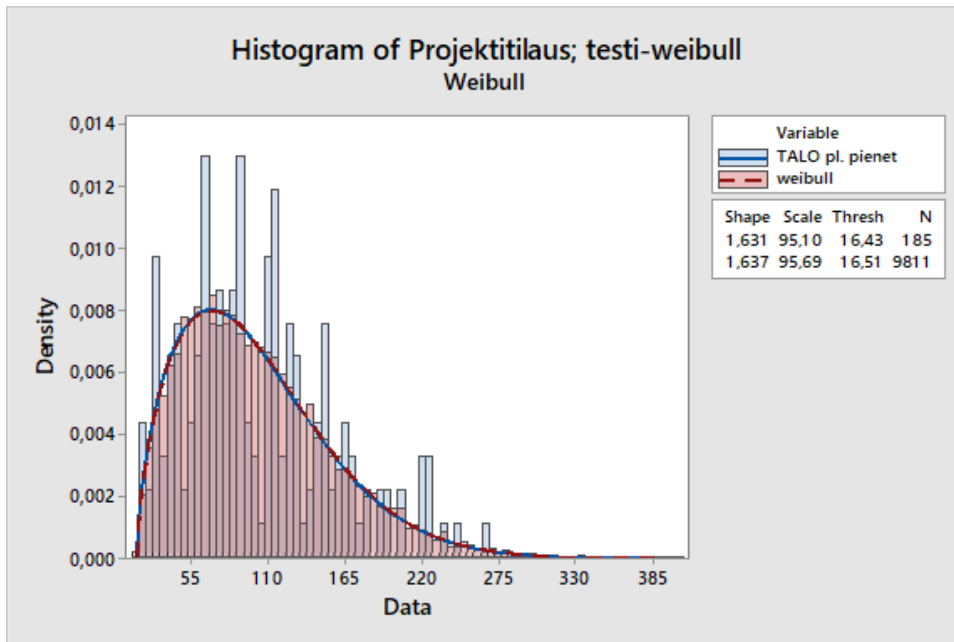


KUVIO 13. Kvantillikuvio. Kuinka hyvin projektitoimituskoot sopivat normaalijakaumaan



KUVIO 14. Kvantillikuvio. Kuinka hyvin projektitoimituskoot sopivat Weibull-jakaumaan

Seuraavassa kuviossa (KUVIO 15) on tähän edelliseen kvantillikuvioon perustuen mallinnetun weibull-jakauman tuottama histogrammi ja todennäköisyysjakauma. Ne on päällekkäin piirrettyinä kerätyn otoksen histogrammiin ja todennäköisyysjakaumaan. Kuvion oikeassa laidassa olevat jakaumien parametrit vastaavat erittäin hyvin toisiaan ("shape", "scale" ja "thresh"). Tämä on se jakauma, jota lopulta käytin simulointimallissa projektitoimitusten kokojen määrittämisessä.



KUVIO 15. Yksittäisten projektitoimitusten kaappimäärä

Simulaatioon täytyy mallintaa, miten prosessiin tulevien kaappien koko vaihtelee. On alakaappeja, komeroita, yläkomeroita, yläkaappeja ja leveitä komeroita. Tätä karkeaa jaottelua käytin simulointimal- lissa, sillä tarkempi määrittely ei olisi tuonut malliin lisää tarkkuutta. Ainut asia, mihin kaappityyppi vaikutti, oli se, kuinka monta kaappia yhdelle kuormalavalle yhtä aikaa mahtui. Kaappityyppien jakauma selvisi myös kokoonpanolinjaston vaiheikadadatasta. Koska kaappityyppejä on rajallinen määrä, niiden kuvaamiseen on hyvä käyttää empiiristä jakaumaa. Simulointiohjelmistossa empiirinen jakauma oli helppo määrittää pelkästään vaihtoehtojen prosentiosuuksien mukaisesti. Alla olevassa taulukossa 13 on kerätyn datan mukainen jaottelu kaappityyppien osuuksista.

TAULUKKO 3. Kokoonpanolinjaston vaiheikadatan mukaiset kaappityyppien osuudet simulaatioon

| Alakaapit | Seinäkaapit | Komerot | Leveät komerot | Yläkomerot |
|-----------|-------------|---------|----------------|------------|
| 26,5% | 29,2% | 20,5% | 9,5% | 14,3% |

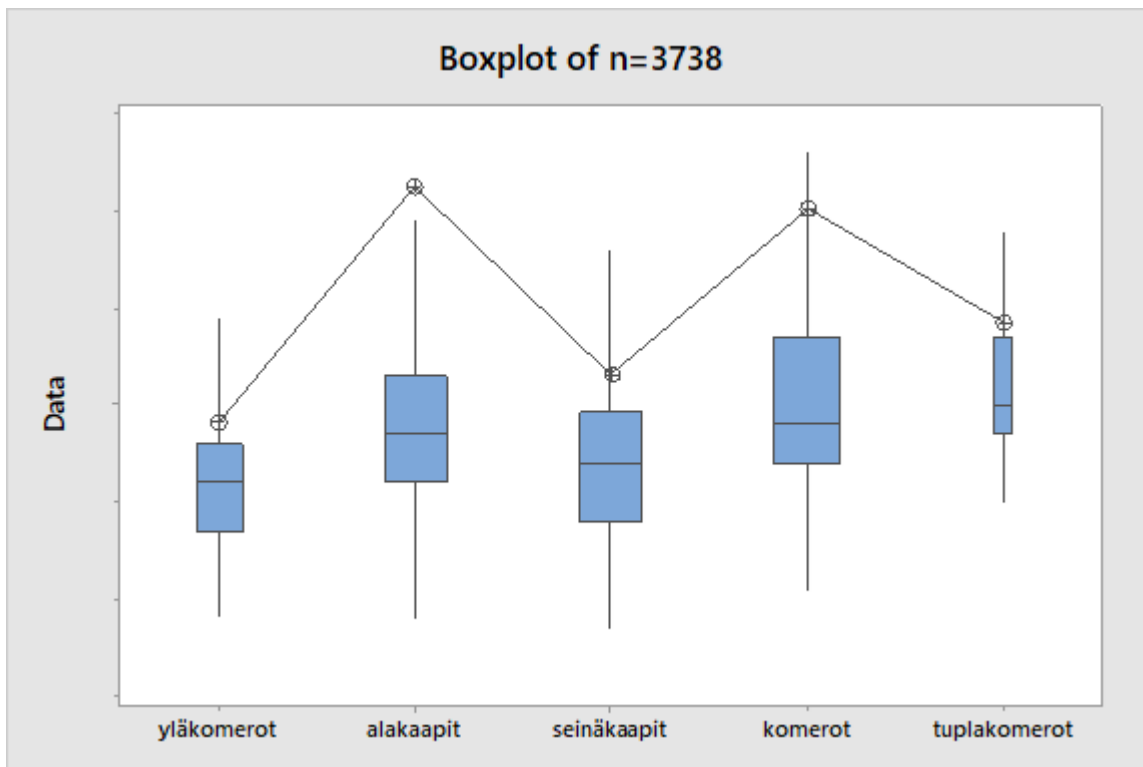
5.1.3 Vaiheaikojen mallintaminen (osa tekstistä salattu)

Nyt päästään itse kokoonpanolinjastoon, eli siihen, minkälaisin väliajoin tutkittavaan prosessiin tulee tuotteita sisään. Alla olevassa kuvassa (KUVIO 16) tämä prosessin vuorovaikutus havainnoituna.



KUVIO 16. Prosessin vuorovaikutukset

Käytössäni oli kokoonpanolinjaston tietojärjestelmästä saatu vaiheikadata usean kuukauden ajalta. Otoksen koko oli lähes 36 000, joten sen voi odottaa kuvaavan kokoonpanolinjaston vaiheikaotosvaruutta hyvin. Seuraavassa kuviossa (KUVIO 17) on kokoonpanolinjaston joulukuun 2016 vaiheajoista 80 %. Tähän kattavuuteen johti sen, että kaappityyppien jaotteluun on tässä tapauksessa huomioitu vain 50 yleisintä tuotekoodia 212 esiintyneestä koodista. Kattavuus on hyvä, ja sen kasvattaminen entisestään vaatisikin paljon työtä koodien sisällyttämiseen simulointimalliin määrittelemiini viiteen kaappityyppiin. Nämä simulointimallin kaappityypit ilmenevät seuraavasta kuvioista.

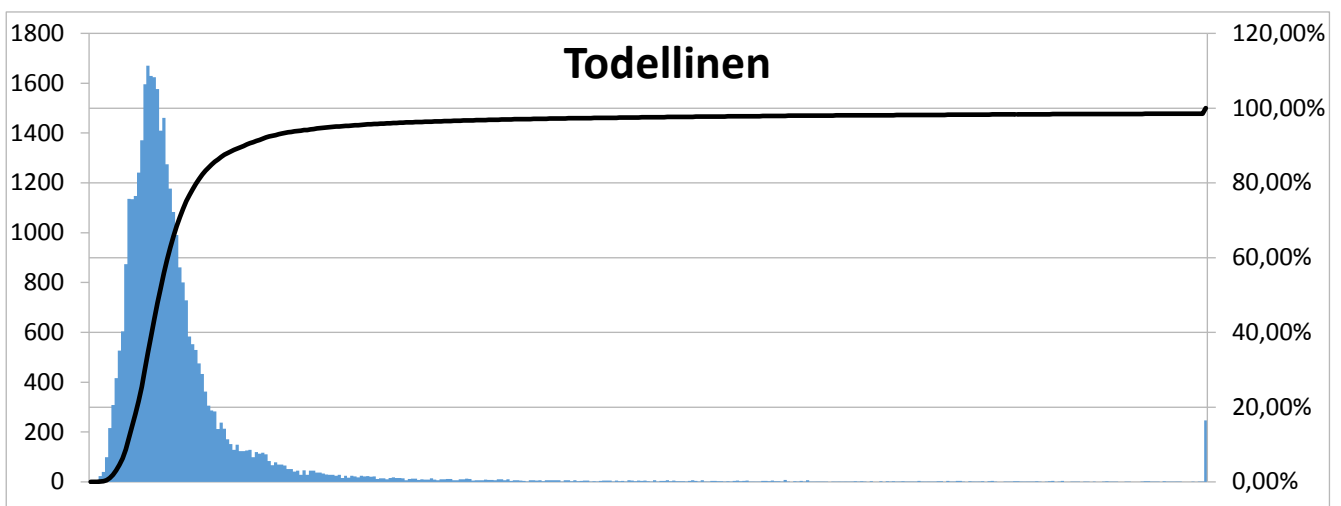


KUVIO 17. Eri kaappityyppien vaiheikajakaumat kokoonpanolinjastolla. (1.N=558, 2.N=987, 3.N=990, 4.N=1123, 5.N=85) Vaiheika-arvot peitetty luottamuksellisista syistä.

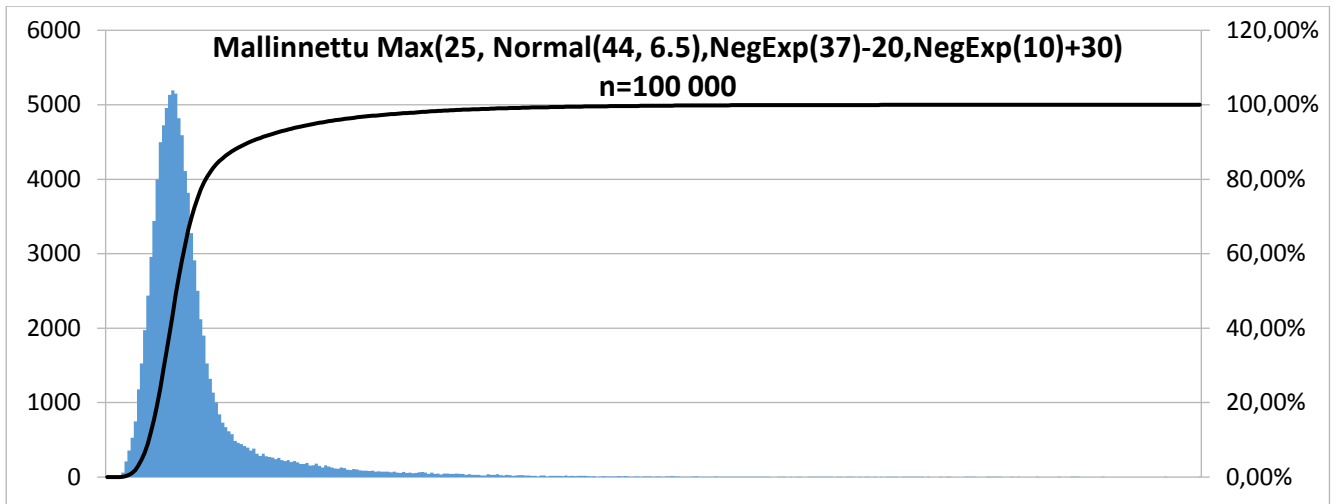
Laatikko-janakaaviossa jokainen jakauma, joka on nimetty vaaka-akselilla, on kuvattuna pystysuuntaisesti laatikolla ja janoilla sen molemmin puolin. Pystyakselilla on jakaumien arvoluokat. (Pyzdek & Keller 2008, 328-331; Karjalainen 2010.) Yllä olevan laatikko-janakaavion mukaan ei ole syytä mallintaa kokoonpanolinjaston vaiheikoja erikseen jokaiselle kaappityypille. Jakaumien erot ovat pieniä. Jokaisen kaappityypin mediaani, jota kuvaa sinisten laatikkojen sisällä olevat vaakaviivat, on välillä 42-49.

Lisäksi kaikilla kaappityypeillä 90 % vaiheajoista sijoittuu lähes samalle aika-alueelle, joita sinisten laatikoiden ylä- ja alapuolella olevat pystyviivat likimain kuvaavat. Tuplakomerot saattavat erota muista suuremman minimivaiheajan takia. Niiden otos, jonka suuruutta sinisen laatikon leveys kuvaa, on kuitenkin melko pieni. Tämän takia en erottanut sitä muista kaappityypeistä kokoonpanolinjaston vaiheajojen osalta. Vaiheajojen kaappityyppien keskiarvot (kuvassa: pallo, jonka keskellä risti) ovat korkeita ja vaihtelevat enemmän kuin mediaanit, mutta tulkitsen näiden erojen johtuvan otokseen sisältyvistä ääriarvoista (tauot yms. viivytykset pidentävät vaiheajoja), joita erityisesti alakaappien ja komeroiden kohdalla on useita. Yksi suuri vaiheaika voi nostaa keskiarvoa merkittävästi.

Alla olevissa kuvioissa on histogrammeina ja kumulatiivisena jakaumana ensin kokoonpanolinjaston vaiheajojen otoksen kuvaajat (KUVIO 18) ja toisena siihen sovittamani simulaatiossa käyttämäni satunnaismuuttujan kuvaajat (KUVIO 19).



KUVIO 18. Kokoonpanolinjaston vaiheikadatan kuvattuna histogrammilla ja kumulatiivisella jakaumalla. N=36 000. Vaiheaika-arvot peitetty x-akselilta luottamuksellisista syistä.



KUVIO 19. Simulointimalliin määrittämäni kokoonpanolinjaston vaiheaikoja kuvaava histogrammi ja kumulatiivinen jakauma. $N=100\ 000$. Vaiheaika-arvot peitetty x-akselilta luottamuksellisista syistä.

Käytin simulointiohjelmiston helppokäyttöisiä valmiita todennäköisyysjakaumia, joita yhdistelemällä sain luotua haluamani jakauman. Jouduin yhdistelemään jakaumia, sillä osa ohjelmiston valmiista jakaumista osoittautuivat puutteellisiksi parametriensa, ja siten muokattavuudensa puolesta. Jos olisin käyttänyt asiaan enemmän aikaa, olisin voinut määrittää teoreettisen jakauman tunnetulla matemaattisella kaavalla, jolloin siitä olisi tullut juuri halutun lainen. Yllä olevista kuvaajista on sanottava, että todellista dataa kuvaavassa on erittäin suuria arvoja pari sataa kappaletta, mutta näitä ei ole toisessa kuvaajassa. Nämä rajasin pois sillä oletuksella, että suurin osa niistä johtui työaikatauoista. Satunnaismuuttujien ja niitä kuvaavien jakaumien yhteensopivuus kerättyyn dataan olisi voitu varmistaa tilastollisilla testeillä, mutta tässä työssä rajasin niin tarkan määrittely suurimmalta osin pois. Pidin silmämääräistä arviointia sopivana.

Kokoonpanolinjaston mallintamisen jälkeen siirryin itse tutkittavan prosessin mallintamiseen. Alkuvaiheissa luomani konseptuaalisen mallin pohjalta suunnittelin ja kokeilin erilaisia tapoja mallintaa lastausvaiheen toimintaa simulaatiomalliin. Lopulta päädyin ratkaisuun, joka on hieman yksinkertaisempi, mutta myös tarkempi ja kattavampi kuin konseptissani olin kuvitellut. Alla olevassa prosessikaaviossa (KUVIO 20) on tämän lopullisen prosessin simulaatiomalli virtauskaaviomuodossa havainnollistettuna. Kaavio on suurempana nähtävillä liitteenä (LIITE 7). Kaaviossa jokainen punertava tekstilaatikko on syöttöarvoja, eli jakaumia ja logiikkaa, simulaatiomallin prosessivaiheille. Kerron kaavion vaiheista tämän alaluvun loppuosassa.

KUVIO 20. Simulointimallin lastausprosessi (SALATTU)

Alla olevasta taulukosta (TAULUKKO 4) näkee eri kaappien käsittelyaikojen jakaumia kuvaavat tilastolliset tunnusluvut. Näiden tunnuslukujen perusteella määritin eri kaappityypeille omat normaalijakaumat vaiheajoista. Valitsin normaalijakaumat, koska keskiarvot, mediaanit ja moodit ovat kaikilla kohtuullisen lähellä toisiaan, kurtosis-arvot (huipukkuus) ovat komeroita lukuun ottamatta lähellä nollaa ja kaikkien vinous on lähellä nollaa. Normaalijakauman valinta yksinkertaistaa mallintamista, joten tämän takia en mallintanut komeroiden vaiheajoja erikseen eri jakaumalla.

TAULUKKO 4. Kaappien käsittelyajat, nosto siirtolavalle kokoonpanolinjaston päästä, N=180

| YLÄKOMEROT | | SEINÄKAAPIT | | ALAKAAPIT | | KOMEROT | | LEVEÄ KOMERO | |
|---------------------------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|-----------|
| Keskiarvo | 11,8 | Keskiarvo | 10,8 | Keskiarvo | 8,7 | Keskiarvo | 12,3 | Keskiarvo | 15,6 |
| Keskivirhe | 0,9 | Keskivirhe | 0,7 | Keskivirhe | 0,6 | Keskivirhe | 0,4 | Keskivirhe | 1,1 |
| Mediaani | 12 | Mediaani | 11 | Mediaani | 8 | Mediaani | 12 | Mediaani | 17,0 |
| Moodi | 7 | Moodi | 11 | Moodi | 9 | Moodi | 12 | Moodi | 17,0 |
| Keskiha- jonta | 4,4 | Keskiha- jonta | 4 | Keskiha- jonta | 4,2 | Keskiha- jonta | 2,4 | Keskiha- jonta | 5,3 |
| Otosvari- anssi | 19,8 | Otosvari- anssi | 16 | Otosvari- anssi | 17,4 | Otosvari- anssi | 5,9 | Otosvari- anssi | 27,9 |
| Kurtosis | -1 | Kurtosis | 0,1 | Kurtosis | 0,2 | Kurtosis | 3,5 | Kurtosis | -0,1 |
| Vinous | 0,3 | Vinous | 0,5 | Vinous | 0,7 | Vinous | 0,8 | Vinous | 0,1 |
| Alue | 16 | Alue | 16 | Alue | 18 | Alue | 14 | Alue | 22,0 |
| Minimi | 5 | Minimi | 4 | Minimi | 2 | Minimi | 7 | Minimi | 6,0 |
| Maksimi | 21 | Maksimi | 20 | Maksimi | 20 | Maksimi | 21 | Maksimi | 28,0 |
| Summa | 318 | Summa | 355 | Summa | 460 | Summa | 518 | Summa | 391, 0 |
| Lukumäärä | 27 | Lukumäärä | 33 | Lukumäärä | 53 | Lukumäärä | 42 | Lukumäärä | 25,0 |
| Luotetta- vuus- taso(95,0%) | 1,8 | Luotetta- vuus- taso(95,0%) | 1,4 | Luotetta- vuus- taso(95,0%) | 1,2 | Luotetta- vuus- taso(95,0%) | 0,8 | Luotetta- vuus- taso(95,0%) | 2,2 |

Yksittäisten kaappien ja täysien siirtolavojen käsittely määräytyy simulointimallissa kaappeihin ja laivoihin liitettyjen ”leimojen” perusteella. Nämä leimat määräytyvät todellisista prosessia imitoivan logiikan ja prosessin toimintaan perustuvan tiedon perusteella määritettyjen satunnaislukujen mukaan. Videointimateriaalista mittasin otokset käsittelyajoista kullekin tapahtumalle ja mallinsin ne simulaatioon. Esimerkkinä tästä olkoon se, että mittasin etukontille/-lta 35 siirtoajan ja peräkärlylle/-ltä 54 siirtoajan otokset. Nämä siirtoajat muunsin simulaatiomalliin trukin nopeudeksi ja siirtoetäisyyksiksi.

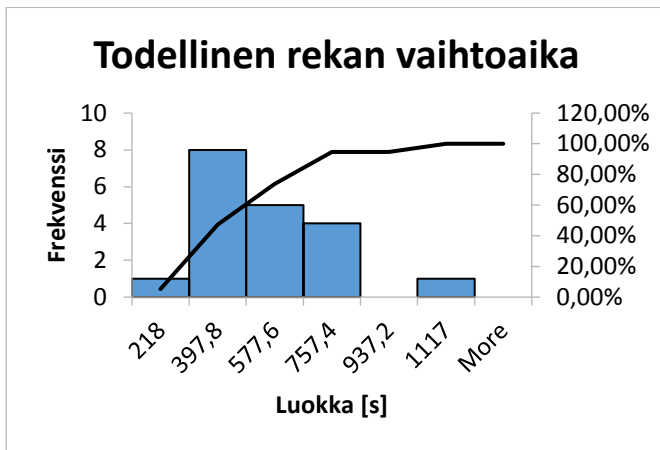
Seuraavassa prosessivaiheessa kaapit ahdataan rekkaan. Tästä mittasin 144 vaiheajan otoksen. Näiden vaiheajojen kanssa tein samanlaisen ratkaisun kuin vaiheessa, missä kaapit nostettiin kokoonpanolinjaston loppupäästä siirtolavoille. Alla olevasta taulukosta 5 näkee kullekin kaappityypille lasketut tilastolliset tunnusluvut, joita käytin vaiheajojen mallintamisessa simulointimalliin. Jälleen jätin muuttaman vinon ja huipukkaan jakauman huomiotta yksinkertaisuuden nimissä ja mallinsin jokaisen vaiheajan normaalijakauman avulla.

TAULUKKO 5. Vaiheajat kaappien ahtaamiseen siirtolavalta rekkaan, N=144

| <i>komero</i> | | <i>yläkomero</i> | | <i>seinäkaappi</i> | | <i>alakaappi</i> | | <i>leveä komero</i> | |
|-------------------------|------|-------------------------|-----|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|
| Mean | 13,7 | Mean | 9,8 | Mean | 12 | Mean | 11,1 | Mean | 15,6 |
| Standard Error | 0,9 | Standard Error | 0,3 | Standard Error | 1,2 | Standard Error | 0,6 | Standard Error | 1,5 |
| Median | 12,5 | Median | 10 | Median | 11 | Median | 10 | Median | 14,5 |
| Mode | 9 | Mode | 10 | Mode | 11 | Mode | 10 | Mode | 17 |
| Standard Deviation | 5,7 | Standard Deviation | 0,5 | Standard Deviation | 6,9 | Standard Deviation | 4,5 | Standard Deviation | 7,4 |
| Sample Variance | 32,7 | Sample Variance | 0,3 | Sample Variance | 47,8 | Sample Variance | 20,5 | Sample Variance | 55 |
| Kurtosis | 1,8 | Kurtosis | 4 | Kurtosis | 7,8 | Kurtosis | 0,3 | Kurtosis | -0,6 |
| Skewness | 1,3 | Skewness | -2 | Skewness | 2,1 | Skewness | 0,7 | Skewness | 0,4 |
| Range | 27 | Range | 1 | Range | 37 | Range | 21 | Range | 25 |
| Minimum | 4 | Minimum | 9 | Minimum | 3 | Minimum | 3 | Minimum | 5 |
| Maximum | 31 | Maximum | 10 | Maximum | 40 | Maximum | 24 | Maximum | 30 |
| Sum | 574 | Sum | 39 | Sum | 384 | Sum | 578 | Sum | 375 |
| Count | 42 | Count | 4 | Count | 32 | Count | 52 | Count | 24 |
| Confidence Level(95,0%) | 1,8 | Confidence Level(95,0%) | 0,8 | Confidence Level(95,0%) | 2,5 | Confidence Level(95,0%) | 1,3 | Confidence Level(95,0%) | 3,1 |

Viimeinen simulaatiomalliin mallinnettava prosessinvaihe, joka ei erikseen näy alkuperäisestä SIPOC-virtauskaaviosta, mutta joka näkyy uudessa prosessikaaviossa, vaikuttaa oleellisesti prosessin toimintaan. Lähes jokaisen toimituksen viimeisten tuotteiden lastaamisen jälkeen pitää lastauslaiturille vaihtaa uusi rekka. Tämä rekan vaihto aika kokonaisuudessaan täytyy mallintaa simulaatioon.

Rekan vaihdon ajallinen kesto mallintui 31 vaihtoajan otoksen mukaisesti, mikä sisälsi jokaisen rekan vaihdon tiedonkeruujaksolta. Havainnoinnin ja datan mukaan oli mahdollista myös se, että rekan vaihtoon ei kulunut ollenkaan aikaa. Alla kuitenkin todennäköisyysjakaumaa kuvaava histogrammi ja kumulatiivinen jakauma rekan vaihtoajoista, joissa nollan sekunnin vaihto aikaa ei ole huomioitu (KUVIO 21). Seuraavassa alaluvussa esitteleen koodia, joka mm. määrittää rekan vaihtoajan simulaatiossa.



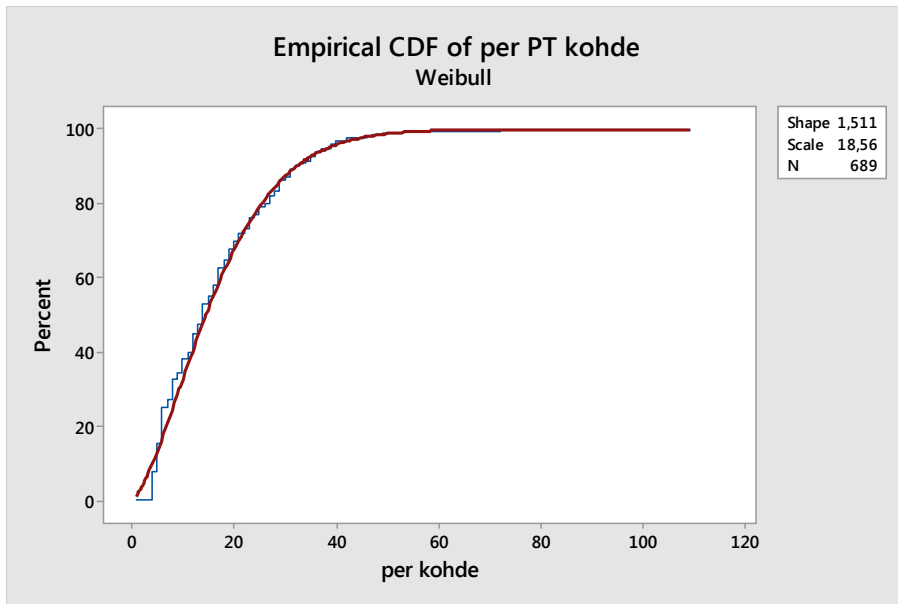
KUVIO 21. Todellisesta prosessista mitatut rekanvaihtoajat, N=31.

5.2 Simulaation ohjelmoinnista

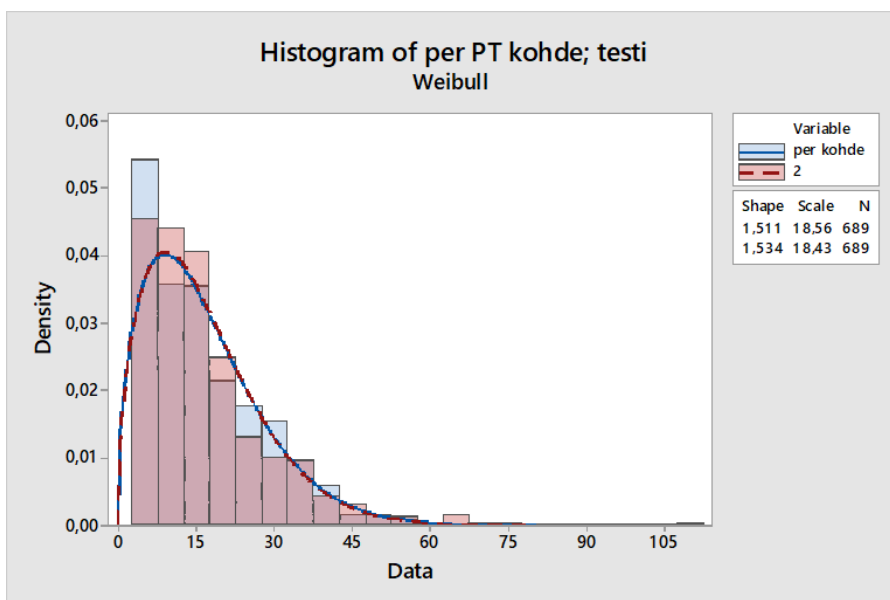
Tässä aluvussa kerron hieman käyttämäni simulointiohjelmiston omasta ohjelmointikielestä, 4DScriptistä koodiesimerkkien avulla, joita kirjoitin simulaatiomalliin. Simulaatiomallin rakentamisessa jopa puolet ajasta meni toimivan mallin ohjelmointiin. Vaikka simulointiohjelmistossa on todella laaja kattaus valmiiksi ohjelmoituja komponentteja, tutkittavan prosessin tarkka mallintaminen vaati paljon lisäohjelmointia. Ensimmäisen ohjelmointikieleni opettelu simulaatiomallia varten vaati paljon aikaa. Seuraavissa aluvuissa esitän otteita simulaatiomallissa olevien komponenttien toimintaa kuvaavista koodista.

5.2.1 Pientoimituskuorman kaappien jakaminen toimituskohteiksi

Pientoimitukset koostuivat, kuten määrittelyvaiheessa kerroin, useista pienistä tilauksista, joilla jokaisella oli oma toimituskohde. Simulaatiomallissa jokaisen kaapin toimituskohde oli tunnistettava, jotta niiden pakkaus ja lastaus voitiin mallintaa tehtäväksi kohteittain, kuten todellisuudessaakin. Seuraavissa kuvioissa esitän jakaumat, ensin kumulatiivisen jakauman (KUVIO 22) ja sitten histogrammi-todennäköisyysjakauman (KUVIO 23) päällekkäin piirrettynä, joiden mukaisesti kohdekohtaiset kaappimäärät simulaatiossa määräytyivät. Kummassakin kuviossa on päällekkäin otos- ja teoreettinen jakauma, jonka syötin simulaatioon. Käytetyn weibull-jakauman parametrit ovat ”Shape” ja ”Scale” -arvot.



KUVIO 22. Otoksen kumulatiivinen jakauma. Päällä teoreettinen Weibull-kumulatiivinen jakauma



KUVIO 23. Otoksen ja teoreettisen Weibull-jakauman histogrammi-todennäköisyysjakauma päällekkäin

Kohdekohtaisen kaappimäärän satunnaismuuttujan sijoitin simulointimallin ”assembler”-atomiin, joka on vasemmalla alareunassa tietovirtaprosessia kuvaavassa prosessikaaviossa (KUVIO 9). Satunnaismuuttuja määrittii siis ”assembler” -atomissa sen, kuinka monta tuotetta se yhdisti yhdeksi toimitusryhmäksi. Jokaiseen yksittäiseen kaappiin oli jollain tavalla saatava kaikki kohdekohtaiset tiedot. Seuraavaksi kerron koodista, jonka kirjoitin ”assembler” -atomin poistumistoimintokenttään, ja joka hoiti kohdetietojen liittämisen yksittäisiin kaappeihin.

Assembler trigger on exit:

```

ForAtomLayerUnder(
  i,                               {1.}
  do(                               {2.}
    setcs(a),
    :=(Att(4,cs){kohdenumero},Att(16,c)),
    :=(Att(3,cs){lavalle vai ei},Att(7,i))
  )
)

```

Assembler-atomilla yhteen koottuun toimituskohteeseen meneviin erillisiin tuotteisiin merkataan kerralla kaikkiin niiden yhteisen kohdenumeron tieto ja se, että pitääkö kyseinen kohde toimittaa kuormalavalle pakattuna. Yllä olevassa koodinpätkässä ForAtomLayerUnder() -komento aktivoi jokaisen määritetyn atomin sisällä olevan atomin ja suorittaa aktivoituille atomeille jonkin toimenpiteen. Komennon ensimmäinen parametri ({1.}) määrittää atomin, jonka sisällä olevat atomit aktivoidaan. Tässä tapauksessa määritetty atomi on tapahtumaan liittyvä atomi, jota kuvataan i-kirjaimella (involved). Assemblerin ”Trigger on exit” -kentässä määritetty tapahtumaan liittyvä atomi on se atomi, joka on poistumassa assemblerista, joka on aina säiliöatomi. Säiliöatomi kuvaa tässä tapauksessa yhtä toimituskohdetta pien-toimituskuormassa. Säiliöatomin sisällä olevat tuoteatomit ovat ne atomit, jotka aktivoidaan ja joille toimenpide suoritetaan. Seuraavaksi kerron tästä toimenpiteestä, mikä kirjataan ForAtomLayerUnder() -komennon toiseen parametriin ({2.}).

Tarkoitus on siis merkata tuoteatomeihin sekä niiden yhteinen kohdenumero että tieto siitä, pitääkö kyseinen kohde, ja siten myös tuo yksittäinen tuote, toimittaa kuormalavalle pakattuna. Täytyy suorittaa siis kaksi toimenpidettä. Useamman kuin yhden toimenpiteen suorittaminen kerralla onnistuu do() -komennon avulla. Sen parametreiksi annetaan yksinkertaisesti kaikki suoritettavat komennot, jotka se suorittaa järjestyksessä ylhäältä alas. Tässä tapauksessa ensimmäinen suoritettava komento on aktiivijoukon tallentaminen muistiin (”setcs(a)”), josta kerron enemmän seuraavassa kappaleessa. Toisessa komennossa jokaisen aktivoidun atomin neljäs attribuutti (”Att(4,cs)”) asetetaan yhtäsuureksi (”:=”) toimituskohdenumeron kanssa, joka vastaa assembler-atomien kuudennessatoista attribuutissa määritettyä juoksevaa numerointia (”Att(16,c)”). C-kirjain (current) aktivoi/viittaa siihen atomiin, jossa tapahtuma toteutuu, eli tässä tapauksessa assembler-atomin. Samaan tyyliin viimeinen suoritettava komento on alussa aktivoitujen atomien kolmannen attribuutin (”Att(3,cs)”) asettaminen yhtäsuureksi (”:=”) lavoitustiedon kanssa, joka selviää säiliöatomin seitsemännestä attribuutista (”Att(7,i)”).

Simulointiohjelmistossa jokainen viittaus johonkin atomiin aktivoi kyseisen atomin. Esimerkiksi edellisessä kappaleessa esitetty i-komento aktivoi aina tapahtumaan liittyvän tapahtumakohtaisen atomin,

mutta koska se on tässä tapauksessa annettu parametrina `ForAtomLayerUnder()`-komentoon, niin kaikki `i`-komentoon viittaavan atomin sisällä olevat atomit aktivoituvat. Ohjelmistossa aktiivisena on vain ne atomit, jotka on viimeksi aktivoitu. Aina kun viitataan johonkin eri atomeihin, aikaisemmin aktiivisena olleet atomit unohtuvat. Ohjelmistoon on kuitenkin luotu valmis muistialue, johon voi tallentaa yhden aktiivisena olevan atomien joukon. Tähän muistialueeseen viitataan lyhenteellä ”cs” (current store). Tämä on vain väliaikainen talletuspaikka, joka ylikirjoitetaan aina, kun tätä ominaisuutta käytetään missä tahansa kohdassa simulointimallissa. Tästä syystä kaikki muistiin kirjatuille atomeille tehtävät toimenpiteet kannattaa tehdä samassa koodilohkossa, jotta niiden suoritus on luotettavaa. Jos en olisi käyttänyt cs-muistialuetta, ensimmäisen toimenpiteen suorituksen jälkeen (kohdenumeron asetus) aktiivisena olisi ollut väärä atomi. Seuraavan komennon sisällä olisi pitänyt uudestaan aktivoida kaikki tilauskohteen tuoteatomit, jotta seuraavakin toimenpide olisi suoritettu oikeille atomeille. Tämän takia tallensin ensin aktiivijoukon muistiin `setcs(a)` -komennolla. A-kirjain viittaa juuri sillä hetkellä aktiivisena oleviin atomeihin, jotka `ForAtomLayerUnder()` -komennon jälkeen olivat kaikki säiliöatomin sisällä olleet atomit.

Seuraavassa vielä hieman eri tapa suorittaa edelliset toimenpiteet, jossa `ForAtomLayerUnder()`-komennon sisällä tehtävä ainut toimenpide on aktiivijoukon tallentaminen muistiin (`”setcs(a)”`). Toimitustietojen kirjaus tapahtuu erikseen `do()`-komennolla, jossa viitataan juuri asetettuun muistialueeseen:

Assembler trigger on exit:

```

ForAtomLayerUnder(
  i,                               {1.}
  setcs(a)                          {2.}
)
do(
  :=(Att(4,cs){kohdenumero},Att(16,c)),
  :=(Att(3,cs){lavalle vai ei},Att(7,i))
)

```

Tässä tavassa on yksi pilkku vähemmän, joten se on periaatteessa parempi. Merkitys on kuitenkin olematon, kuten myös seuraavassa huomiossa: `”setcs(a)”`:n tilalta voisi käyttää `”:=cs(a)”`, mutta siinä on yksi merkki enemmän, mikä hidastaa koodin prosessointia.

5.2.2 Yksittäisen toimituksen viimeisen kaapin tunnistaminen

Toimituksen viimeinen kaappi on simulointimallissa tunnistettava, jotta työntekijä ei jää odottamaan seuraavaan tilaukseen kuuluvaa kaappia lastattavaksi. Viimeinen kaappi on vietävä suoraan eteenpäin,

jonka jälkeen alkaa toimituskuorman lastaamisen lopetustyö ja sitten seuraavan kuorman aloitustyö. Simulaatiomallissa tämän viimeisen kaapin tunnistaa leimasta, joka siihen tallennetaan seuraavaksi esittämäni koodin mukaan. Tämä koodi on "Queue"-atomin trigger on exit -kentässä. Atomi annostelee tuotteet simulaation tuotanto-osioon yksi tilaus kerrallaan. Koodin seassa olevat kommentit selventävät sen lukemista.

Koodissa on kolme toimintoa do()-komennon sisällä. Ensimmäinen toiminto hallitsee virtausta simulaatiomallissa, ja sisältää myös kolme toimintoa toisessa do()-komennossa. Jos kaikki kaapit on siirtynyt simulaation tuotanto-osioon, ensinnäkin se merkkää tilauksen viimeiseen kaappiin edellisessä kappalessa mainitsemani leiman (":=(Att(8,i),1)"). Toiseksi, se avaa lähdeatomin ("Source") ja siten päästää seuraavan tilauksen simulaatioon ("OpenOutput"). Kolmanneksi se avaa reitin tälle seuraavalle tilaukselle ("OpenOutput"). Seuraavaksi koodilohko kokonaisuudessaan.

Annostelija-atomi, "Queue", trigger on exit:

```

do(if(content(c)=0,do(:=(Att(8,i),1),OpenOutput(rank(7{ source },model)),OpenOut-
put(in(1,c))),
if(
{Jos lähtevä tuote ei ole tilauksen viimeinen ja se ei ole lavoitettava}
&(
content(c)>0,
Att(3,i)=1
)=1,
Loopuntil(
{Loop pyörii, kunnes ensimmäinen "ei lavoitettava" löytyy}
if(count>1,Att(3,Rank(Count-1,c))=1,count=2),
if(
{Jos lähtevä ja löydetty kaappi ovat eri kaappityyppiä, niin merkkää lähtevään, että se
on viimeinen lavalle}
&(Att(3,Rank(Count,c))=1,(
&(Ddb([kptyyppi],i)=1,Ddb([kptyyppi],Rank(Count,c))>=2),
&(Ddb([kptyyppi],i)<=3,Ddb([kptyyppi],Rank(Count,c))>=4),
&(Ddb([kptyyppi],i)=5,Ddb([kptyyppi],Rank(Count,c))<5)
)=1)=1,
:=(Att(8,i),1),
if(
Count=Content(c),
:=(Att(8,i),1)
)
),
Content(c)
{Loop pyörii max. yhtä monta kertaa, kuin jonossa on atomeja}
)
){,
if(
&(
Content(c)>0,
Ddb([kptyyppi],First(c))=1,
Ddb([kptyyppi],i)>1
),
do(
Msg([tilausten jako ei onnistunut!]),
Stop,
:=(Att(8,i),1)
)
)}
)

```

Seuraava toiminto ylimmän tason do()-komennossa etsii saman tilauksen seuraavan lastattavan kaapin, jota ei pakata kuormalavalle. Etsiminen on toteutettu LoopUntil()-silmukkakomennolla, joka käy läpi kaikki tilauksessa jäljellä olevat kaapit. Jos löydetty kaappi on eri tyyppiä, tapahtumaan liittyvään kaappiin laitetaan leima, että seuraavaa kaappia ei odoteta samalle siirtolavalle. Leima laitetaan lähtevään

kaappiin myös, jos vain kuormalavalle pakattavia on jäljellä, eikä seuraavaa irrallaan lastattavaa kaappia ole.

Viimeinen koodilohkon toiminto tarkistaa, onko annosteliijaan vahingossa mennyt seuraavan tilauksen tuotteita, ennen kuin edellinen on kokonaan käsitelty. Jos näin käy, simulointi pysähtyy välittömästi. Tarkistus tapahtuu vertaamalla perättäisten kappien tyyppejä. Koska kaapit menevät tuotantoon tyyppi-järjestyksessä, annostelijassa ("Queue") ei voi olla minkään kaapin jälkeen toinen kaappi, jonka kaap-pityyppinsä perusteella pitäisi mennä ennen sitä edeltävää kaappia. Näin voi käydä vain, jos annosteli-jaan pääsee samaan aikaan kahden eri tilauksen kaappeja. Loppujen lopuksi toimivassa simulointimal-lissa tämä tarkistus oli turha, minkä takia se on laitettu hakasulkujen sisään, eli ohjelmisto ei lue sitä. Tarkistus oli kuitenkin ehdoton edellytys annostelijan toimintaan saattamisessa. Tarkistuksen ja sitä seu-raavan pysäytyksen avulla sain selville simulaatiossa niiden tilanteiden syyt, joissa annostelija ei toimi-nut.

5.2.3 Rekan vaihtoajan mallintaminen

Rekan vaihdon toiminnan mallintaminen vaati melko monimutkaista ohjelmointia simulointimallin toi-mintaan saattamiseksi todellisuudessa tapahtuvan logiikan mukaan. Rekan vaihtoon ja toimituksen las-taamisen aloittamis- ja lopettamistöihin kuluva aika riippui sekä tilaustyyppistä että tilauksen koosta. Tässä oli huomioitava esim. tilanne, jossa rekka ahdattiin äärimmäisen täyteen (oli peräkärä tai ei). Rekan vaihto aika määräytyi simulointimallissa summasta, jossa ensimmäinen termi kuvasi rekan pois ajamiseen ja seuraavan rekan sisään ajamiseen kuluva aika. Tässä huomioitiin myös se mahdollisuus, että pienen toimituksen jälkeen seuraava rekka mahtui olemaan valmiina odottamassa, eikä ajamiseen kulunut ollenkaan aikaa. Toimituksen koko saatiin simulointimalliin tallentuvasta taulukosta ("Cell(8,Att(5,i),Rank(4,Model))"), johon jokaisen toimituksen tyyppi ja koko kirjattiin. Toinen termi määrittää, kuinka kauan toimituksen viimeisten kaappien ahtaaminen rekkaan kestää. Mitä ahtaammin rekka lastataan, sitä kauemmin viimeisten kaappien ahtaaminen kestää. Viimeisten kaappien ahtaamiseen vaikuttaa myös toimitustyyppi, joille kummallekin on omat jakaumat. Rekan vaihdon ajan simulaatio-mallissa määrittävä koodi alla:

Rekan vaihto, "Server"-atomi, cycle time:

```

+(
  if(
    Cell(
      8,
      Att(5,i),
      Rank(4,Model)
    )<=76,
    Bernoulli(
      33{mahd, että alle 76kp kuorman jälkeen ei ole vaihtoaikaa},
      0,
      Max(200, Normal(mins(8),mins(4.5)))
    ),
    Max(200, Normal(mins(8),mins(4.5)))
  ),
  if(
    Cell(
      5,
      Att(5,i),
      Rank(4,Model)
    )=1 {PT},
    if(
      OR(
        AND(
          Cell(
            8,
            Att(5,i),
            Rank(4,Model)
          )<=76{enintään 76kp tilauksessa},
          Cell(
            8,
            Att(5,i),
            Rank(4,Model)
          )>=60{vähintään 60kp tilauksessa}
        )=1,
        Cell(
          8,
          Att(5,i),
          Rank(4,Model)
        )>=200{vähintään 200kp tilauksessa}
      )=1,
      Max(mins(5), Normal(mins(18),mins(3))){loppujen lastaus, jos ahdas PT}),
      Max(mins(3), Normal(mins(5),mins(2))){loppujen lastaus, jos ei niin ahdas PT})
    ),
    Max(mins(0), Normal(mins(0),mins(4))){loppujen lastaus, jos TALO})
  )
)

```

5.3 Muovitusuunin pysähdyksien syyt

Mittausvaiheen jälkeen tiedossa oli, että kuinka suuren osan ajasta muovitusuuni on ollut pysähtyneenä tiedonkeruujaksolla. Tuotantodatahistoriaa tarkastellessani pystyin olettamaan, että tiedonkeruujakson mukainen toiminnan taso oli vallinnut tuotannossa jo pitkään. Tiedossa oli myös se, että pientoimitukset aiheuttivat tilastollisesti merkitsevästi enemmän ja vaihtelevamman määrän pysähdyksiä muovituskooneella mistä kerron lisää edempänä. Tietoa kerättiin myös muovitusuunin pysäytysten syistä, sekä toimintaa havainnoitiin videokuvan kautta, joiden analysoinnista seuraavaksi lisää. Yhdistin videosta mitaamani tiedot tiedonkeruulomakkeiden tietoihin, minkä avulla oli mahdollista liittää aiheuttajat pysähdyksiin. Seuraavassa taulukossa 6 on teidonkeruulomakkeisiin (LIITE 9) kirjattujen tietojen yhteenveto.

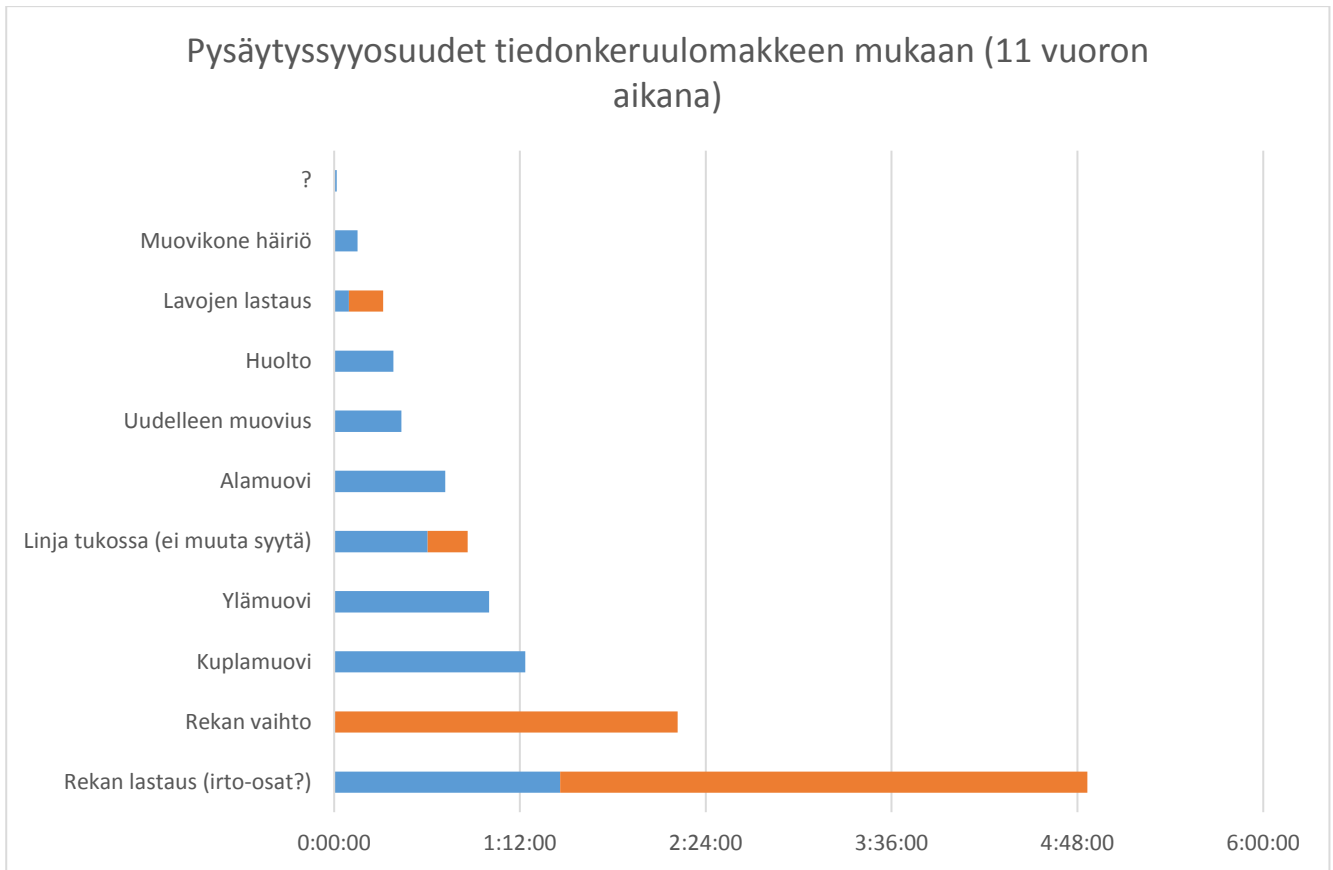
TAULUKKO 6. Muovitusuunin pusähdyksien syyt

| 9,5 vuoron aikana kerätty tieto muovitusuunin pysähdyksien syistä | | | | | |
|--|------------|------------------|--------------------------|--------------|------------------|
| syy | kpl | yht. aika | aika/ta- paus | osuus | kpl/vuoro |
| Rekan lastaus (irto-osat?) | 11 | 4:51:54 | 0:26:32 | 0,40 | 1,2 |
| Rekan vaihto | 17 | 2:13:06 | 0:07:50 | 0,18 | 1,8 |
| Kuplamuovi | 28 | 1:14:00 | 0:02:39 | 0,10 | 2,9 |
| Ylämuovi | 21 | 1:00:00 | 0:02:51 | 0,08 | 2,2 |
| Linja tukossa (ei muuta syytä) | 18 | 0:51:43 | 0:02:52 | 0,07 | 1,9 |
| Alamuovi | 17 | 0:43:00 | 0:02:32 | 0,06 | 1,8 |
| Uudelleenmuovius | 3 | 0:26:00 | 0:08:40 | 0,04 | 0,3 |
| Huolto | 1 | 0:23:00 | 0:23:00 | 0,03 | 0,1 |
| Lavojen lastaus | 3 | 0:19:00 | 0:06:20 | 0,03 | 0,3 |
| Muovikonehäiriö | 5 | 0:09:00 | 0:01:48 | 0,01 | 0,5 |
| muu syy | 1 | 0:01:00 | 0:01:00 | 0,00 | 0,1 |

Taulukossa vasemmassa laidassa on pysäytyssyy'n nimitys. Vasemmalta lukien toisen sarakkeen riveillä on pysäytyssyy'n ilmenemiskerrat tiedonkeruujaksolla ja sitä seuraavassa sarakkeessa kunkin syyn aiheuttamien pysäytysten kumulatiivinen aika. Neljännessä sarakkeessa vasemmalta lukien on keskimääräinen pysähdysaika yhtä pysähdystä kohden. Oikealta luettuna toisessa sarakkeessa on kyseisen syyn aiheuttamien pysähdysten osuus kaikista pysäytyksistä ja vasemmanpuoleisimmassa sarakkeessa laskennallinen tapahtuman vuorottainen esiintymismäärä. Taulukosta huomataan, että suurimman määrän pysähdyksiä aiheuttivat kuplamuovi ja ylämuovi. Muovituskooneiden muovirullien vaihtamisen takia

uuni pysäytettiin siis useimmin, kun edellä mainittujen lisäksi vielä alamuovin vaihto oli yksi yleisimmistä pysäytyssyistä. Muovirullan vaihto olikin säännöllisin väliajoin prosessin toiminnan kannalta välttämätön tehtävä. Säännöllisyyden ja välttämättömyyden takia tähän ei kuitenkaan voi kulua paljon aikaa, varsinkin kun toistojen kautta toiminta nopeutuu. Muutenhan muovituskone olisi sopimaton. Vaikka muovirullien vaihto pysäytti uunin useimmin, niihin ei kulunut erityisen paljoa aikaa, vaan rekan lastaus on pysähdysajoissa mitattuna merkittävin pysähdysten aiheuttaja.

Kuten taulukosta näkee, rekan lastauksen aiheuttamia pysähdyksiä tapahtuu kohtuullisen vähän, mutta niiden kesto on keskimäärin jopa yli 26 minuuttia. Tiedonkeruujakson aikana käsiteltiin 21 eri tilausta, mutta rekan lastaus pysähdytti muovitusuunin vain 11 kertaa. Tämä syy ei siis ole väistämätön prosessiin sisältyvä tapahtuma. Tämähän jo tiedetään, sillä pientoimitusten lastaamisessa on pisimpien viivästysten havaittu tapahtuvan kuorman lastauksen alku- ja loppuvaiheissa, kun rekkaan lastataan ensin irrallisia osia ja lopuksi ahdataan viimeiset kaapit. Rekan vaihto, joka on toiseksi merkittävin pysähdyssyy, viittaa käytännössä samaan tilanteeseen kuin juuri mainittu rekan lastauksen alku- ja loppuvaihe. Onneksi toimeksiannossa määritelty korjaus lastauksen ongelmiin, eli puskurivaraston sijoittaminen lastaukseen, vastaa juuri näihin tilanteisiin. Alla olevassa Pylväsdiagrammissa (KUVIO 24) on vielä nämä mainitut pysäytyssyyt, sekä arviot puskurin asettamisen vaikutuksista pysäytyssyiden poistamiseen. Tässä pylväsdiagrammissa ongelmat ovat järjestettynä priorisoituun järjestykseen samalla tavalla kuin pareto-kaavioissa, jotta merkittävimmät tekijät on helpompi tunnistaa (Pyzdek & Keller, 2008).



KUVIO 24. Pylväsdiagrammi muovitusuunin pysäytyssyyosuksista

Arvioiden mukaan puskurivaraston avulla 70 % rekan lastauksen takia tapahtuvasta muovitusuunin pysähdyksissäoloajasta saadaan poistettua. Puskurivälivaraston mitoitus tehtäisiin niin, että erityisesti rekan vaihdon aikana lastaukseen tulevien kaappien tulisi mahtua sinne. Täten saataisiin kaikki rekan vaihdosta johtuvat pysäytykset karsittua pois. Puskurivaikuttaa myös lavojen lastaamisen takia tapahtuviin pysähdyksiin ja siihen, että kuinka usein kokoonpanolinjasto voi tukkeutua, mahtuuhan prosessiin tällöin enemmän tuotteita kuin aikaisemmin. Nämä kaikki parannukset yhteenlaskettuna pysähdyksien pitäisi vähentyä 50 %.

5.4 Suorituskykytavoitteiden asettaminen ja varmistaminen testeillä

Toiminnan tason mittaukseen liittyy oleellisesti käsite tutkimuksen voima. Lyhyesti sanottuna, tutkimuksen voima kertoo sen todennäköisyyden, että tilastollinen testi hylkää vaihtoehdoisen tuloksen, kun tulos, jota testataan, on oikea (Pyzdek & Keller 2009, 369; Vahlberg 2017, 4). Tässä tutkimuksessa voiman käsitettä voi soveltaa alkutilanteen ja lopputilanteen eron salvittämisessä. Voidaan testata tilastollisesti kuinka todennäköistä on, että saavutettu parannus on se tavoiteltu 15 % kasvanut tuotanto-

määrä. Testi tehdään vertaamalla alku- ja lopputiloista kerättyä dataa. Testin mukaan tulosten luotettavuus kasvaa, kun mittaustulokset kustakin tapauksesta ovat yhtenäisiä, eli tulosten hajonta on pieni, kun testattava ero on suuri, kun otoksen koko on suurempi ja kun sallitaan suurempi virhemahdollisuus testin tulokselle (Pyzdek & Keller 2009, 369). Tässä työssä on mahdollista vaikuttaa ainoastaan testattavaan eroon ja otoksen kokoon, mistä kerron seuraavassa kappaleessa.

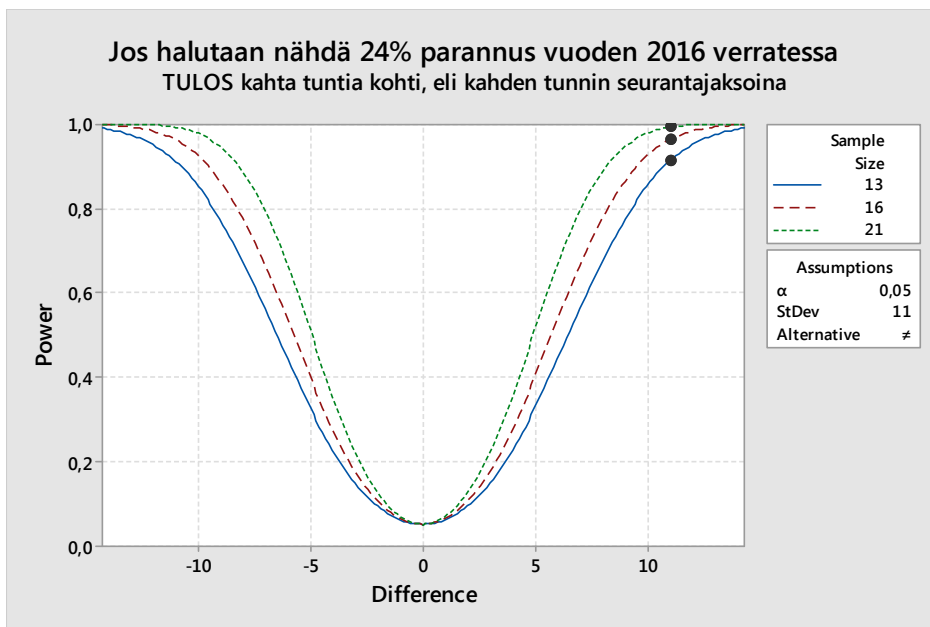
Tutkimuksen voiman laskemisen avulla voidaan etukäteen määritellä tarvittavien havaintojen määrä, eli otoksen koko, tiettyyn mittaustuloksissa esiintyvään hajontaan, selvitettävän eron suurusluokkaan ja testin virhemahdollisuuteen perustuen. Mikäli muutos koko tarkasteltavassa prosessissa on esim. 15 prosentin parannus, tämän eron luotettavaan testaamiseen tarvittavan otoksen koko kasvaa helposti kovin suureksi, erityisesti prosessissa, jonka tulokset vaihtelevat paljon. Tämä tarkoittaa esim. sitä, että joudutaan seuraamaan prosessin toimintaa useiden viikkojen ajan, jotta voidaan tarpeeksi hyvällä todennäköisyydellä ensinnäkin määrittää alkutilanne oikein, ja toiseksi se, että muutoksen jälkeisessä tilanteessa voidaan tilastollisesti sanoa olevan eroa alkutilanteeseen nähden. Parannusta tuleekin ajatella samalla periaatteella kuin Einstein aikoinaan: Systemin parantamiseksi asiaa täytyy tarkastella alemmalla- tai ts. tarkemmalla tasolla kuin millä tasolla ongelma havaitaan tai millä tasolla ongelma vaikuttaa. Näin siirrytään prosessin kokonaisvaltaisen suorituskyvyn tarkastelusta jonkin prosessin yksittäisen osan tai osaprosessin tarkasteluun.

Tarkemmalla tasolla voidaan odottaa merkittävästi suurempia muutoksia suorituskyvyssä kuin koko prosessin tasolla. Esimerkkinä tässä tapauksessa voidaan ajatella koko prosessin suorituskyvyn parantuvan 15 prosenttia, mikä johtuu muovitusuunin pysähdyksien 50 prosentin vähentämisestä. 50 prosentin muutos on jo paljon isompi ero havaita tilastollisesti luotettavasti kuin 15 prosentin muutos, jolloin otoksen koko, eli vaadittava havainnoinnin määrä, voi olla paljon pienempi. Tässä on yksi Six Sigman tilastollisen parantamisen pääperiaatteista, eli että tehtävän parannuksen täytyy olla reilu, yleensä jopa 70-80 %. Kun asiaa vain tarkastellaan tarpeeksi yksityiskohtaisella tasolla, parannus voidaan helposti määrittää tätä kokoluokkaa vastaavaksi (Rother 2010, 15). Alla olevassa taulukossa 7 on projektin analyysivaiheessa arvioitu alku- ja lopputilanteen ero, joka on juurikin 50 prosentin muutos.

TAULUKKO 7. Arvioitu muutos prosessissa

| LINJAN PYSÄHDYKSIÄ / 2h | |
|-------------------------|----------------------|
| minuuttia | osuus |
| Mittausten mu- kaan | Mittausten mukaan |
| alku: 24,14min | 22% ajasta |
| loppu: 12,07min | 11% ajasta |

Tämä 50 prosentin muutos johtaisi itse asiassa siihen, että tuotannon tehollinen työaika voisi kasvaa 24%. Tämä näkyisi suoraan mahdollisuutena kasvattaa tuotantomääriä ja liikevaihtoa vastaavalla määrällä. Toisaalta tällöin samaan tuotantomäärään pääsee vastaavasti vähemmällä työajalla. Alla on tilastollisen testin voimaa visualisoiva kuvio (KUVIO 25). Se kertoo tämän 50 prosentin parannuksen tilastollisesti merkitsevän eron vaatiman havaintomäärän, kun verrataan alkutilanteeseen. Kyse on tässä tapauksessa siis kahden tunnin ajanjaksoista ja niiden aikana kumuloituneista pysähdysajoista. Jokainen kahden tunnin ajanjakso muodostaa yhden havainnon. Alla tutkimuksen voimaa kuvaava kuvio.



KUVIO 25. Tilastollisen testin voima arvioidulla parannuksella

Kuvion, eli siis tilastollisen testin voiman tarkastamisen mukaan, jos halutaan 95 prosentin todennäköisyydellä määrittää tämän 50 prosentin parannuksen tapahtuneen kyseisessä prosessissa, tarvitaan 16 havaintoa lopputilanteesta. Tämä tarkoittaisi alustavasti neljän työvuoron pituista jälkiseurantaa. Kuvio

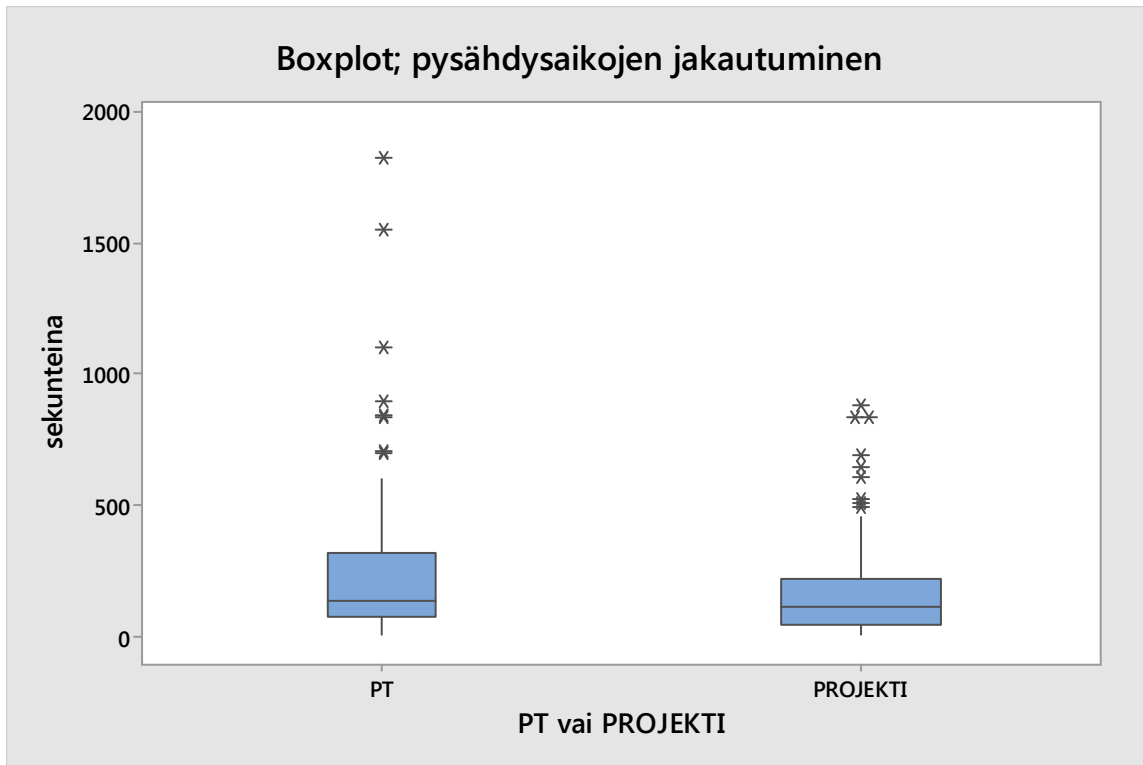
kuvaa yhden otoksen T-testiä, eli tilastollista testiä, jolla selviää kuinka suurella todennäköisyydellä testattavan otoksen keskiarvo poikkeaa vertailuarvosta (alkutilanne) (Pyzdek & Keller 2008; Karjalainen 2010). Kuvion pystyakselilla on voima-luku (power), eli tuloksen paikkansapitävyyden todennäköisyys. Vaaka-akselilla on muutoksen suuruus, joka halutaan havaita. Eri väriset kaareutuvat viivat kuvaavat eri kokoisia otoksia. Kuviosta huomataan, että mitä lähempänä muutos on nolaa, sitä alemmas jokainen viiva kaareutuu, eli sitä epävarmempi testi on. Värillisiä viivoja vertailemalla huomataan myös visuaalisesti se, että suurempi otos kasvattaa luotettavuutta. Mikäli tulosten hajonta ei ole suurempi kuin alkutilanteessa, ja jos tämä 50 prosentin parannus on saavutettu, 16 kahden tunnin jakson seuranta-aika riittää parannuksen varmentamiseen 95 prosentin luotettavuudella. Suurempi hajonta tai pienempi parannus pidentäisi seuranta-aikaa vaaditun luotettavuuden saavuttamiseksi.

Muuttamalla tarkastelutarkkuutta sain kasvatettua testattavan muutoksen suuruutta, ja valitsemalla havaintoyksiköksi kahden tunnin ajanjaksot kokonaisten vuorojen sijaan sain otoksen kokoa kasvatettua ja hajontaa pienennettyä. Täten parannuksen varmentaminen tilastollisesti oli mahdollista paljon helpommin ja luotettavammin. Tämä esimerkki havainnollistaa hyvin sen, että mittarien valinta kannattaa tehdä huolellisesti. Suorituskykytavoitteeksi tarkentui siis nyt tämä 50 prosentin parannus muovikoneen toiminta-aikaan, joka johtaisi 24 prosentin kasvuun tehollisessa työajassa tutkittavassa prosessissa, verrattuna alkuperäisesti arvioituun 15 prosentin kasvuun. Testin voimatutkimuksen tukemana tämä 50 prosentin parannus asetettiin lopulliseksi tavoitteeksi.

5.5 Datan analysointi; Projektitoimitusten ja pientoimitusten vertaaminen

Simulointimallia rakentaessani analysoin kerättyä dataa tarkemmin. Projektin määrittelyssä oletettiin, että merkittävimmät vaikutukset tutkittavan prosessivaiheen viivästyksiin aiheutuivat toimitustyyppien vaihtelusta. Projektitoimitusten lastaus sujui toimeksiantoyrityksen mukaan hyvin, kun taas pientoimituksien ja niiden erityistapauksien kanssa oli ongelmia. Looginen tehtävä tässä vaiheessa projektia oli selvittää tämän oletuksen paikkansapitävyyttä. Mittausdatasta erotin prosessissa tapahtuneet pysähdysajat toimitustyyppien mukaan ja tein sekä visuaalisia että tilastollisia vertailuja.

Laatikko-janakaaviot tekevät jakaumien eri ominaisuuksien hahmottamisesta helppoa. Niistä jakaumien sijainnit, vaihtelut ja muodot ovat hahmotettavissa nopeasti. Tämä tulkinnan helppous on jotain, mitä pelkät tilastolliset arvot eivät mahdollista. (Pyzdek & Keller 2009, 328-331.) Alla olevassa kuviossa 26 on laatikko-janakaaviot muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumista toimitustyyppikohtaisesti.

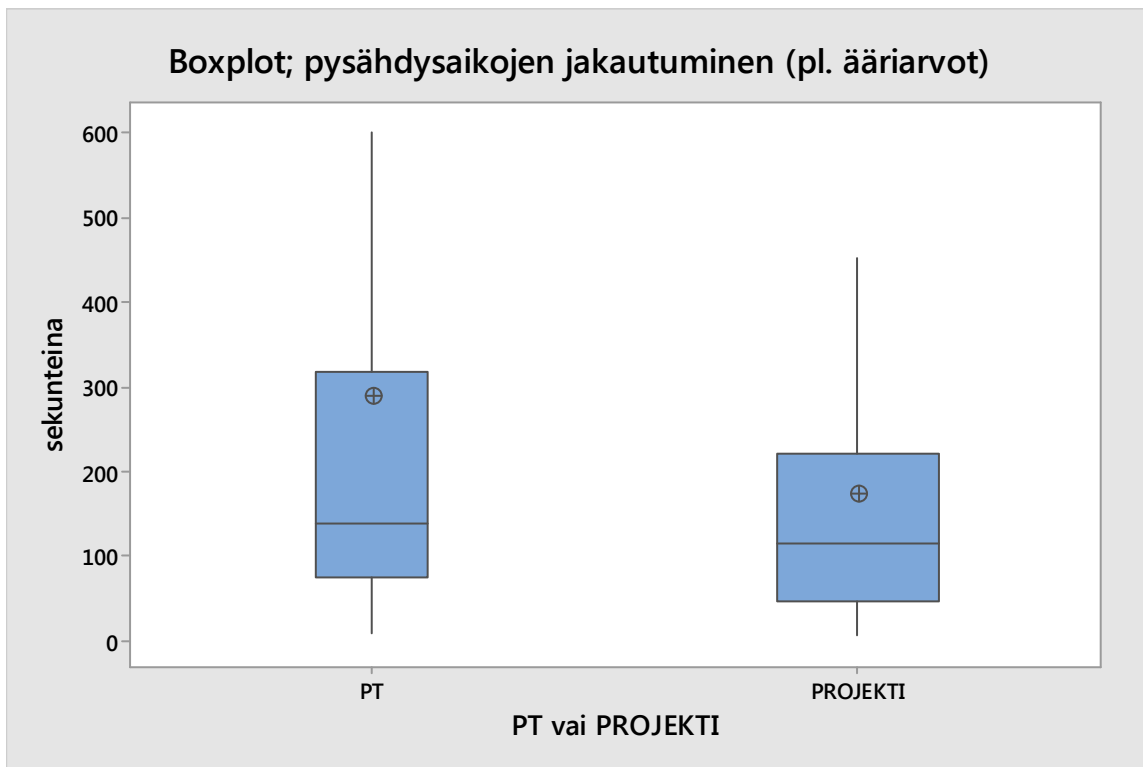


KUVIO 26. Toimitustyyppi-kohtaiset muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumat (PT: N=57, PROJEKTI: N=123)

Tässä kuviossa laatikko-janakaavioon on sisällytetty myös niin sanotut ”out layerit” (vapaasti suomennettuna: ääriarvot), jotka on merkitty tähtimerkeillä. Otos koostuu tiedonkeruujaksolta seitsemän vuoron ajalta kerätyistä pysähdysajoista. Kuvioista nähdään, että pientoimituksilla on muutama erittäin suuri pysähdysaika-arvo. Projektitoimituksilla ei ole näin pitkiä pysähdysaikoja, mutta silti muutamia melko pitkiä pysähdysaikoja, tosin pituudeltaan vain noin puolet pisimmistä pientoimitusten pysähdyksistä. Laatikat sijoittuvat toisiinsa nähden lähes samaan kohtaan pysty akselilla, joten pelkästään tämän kuvan avulla ei voida päätellä otoksilla olevan tilastollista eroa. Yksi tapa eroavaisuuden selvittämiseen on että yritetään piirtää kuvioon vaakaviiva laidasta laitaa niin, että se menee kummankin laatikon läpi. Mikäli tämä onnistuu, kuten tässä tapauksessa, merkittävää eroa ei ole. Ääriarvojen sisällyttäminen kuvioon vaikeuttaa jakaumien motojen arviointia. Siispä jättämällä ne kuvioista pois, voidaan tehdä tarkempia havaintoja. Kuitenkin, ottaen huomioon sen, että otos ei ole kovin suuri, nämä erot äärimmäisissä arvoissa voi johtaa merkittäviin eroihin prosessin toiminnassa.

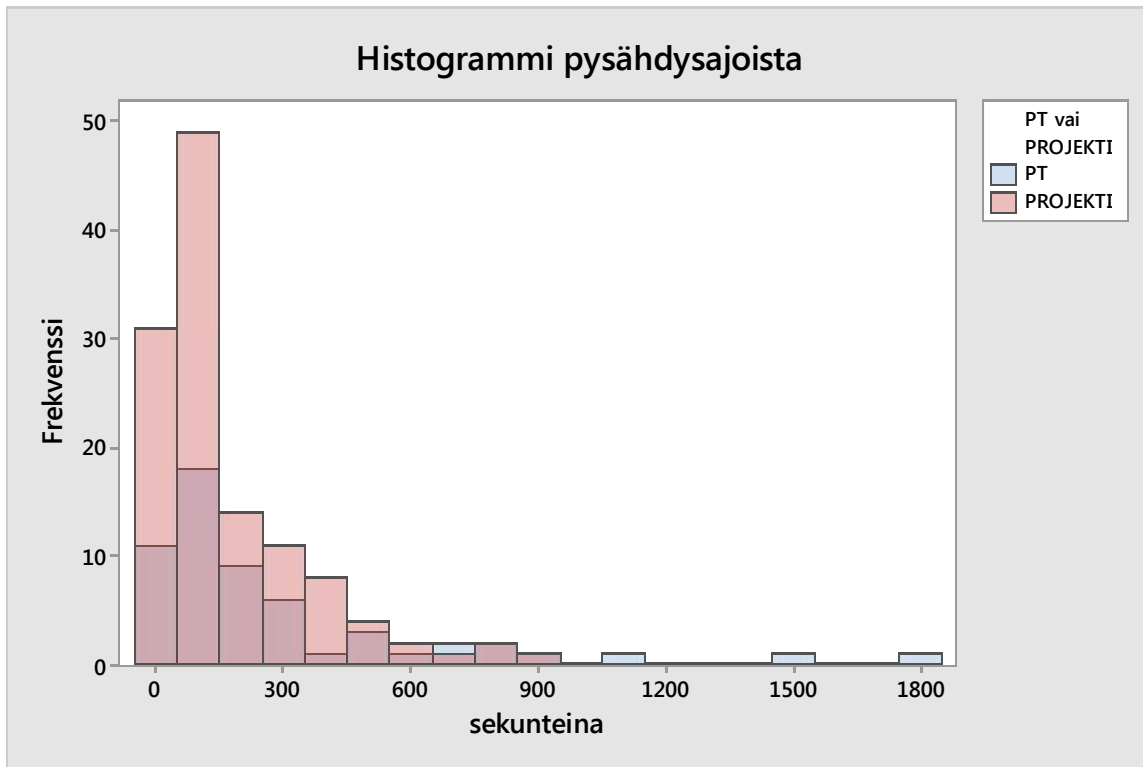
Kun tarkastelusta poistetaan äärimmäiset arvot, jakaumien erot eivät enää ole niin selkeitä. Alla olevasta kuvioista 27 on helpompi hahmottaa jakaumien pääosien erot, jotka siis kattavat likimain 90 % otoksien arvoista. Pientoimitusten kohdalla otos on noin puolet pienempi kuin projektitoimitusten, mikä ilmenee

sen kapeammasta sinisestä laatikosta. Pientoimituksissa muovitusuunin pysähdysten vaihtelu on suurempaa, erityisesti mediaania (kuviossa: vaakaviiva) reilusti suurempia arvoja ilmenee enemmän kuin projektitoimituksilla, mikä nostaa myös jakauman keskiarvoa (kuviossa: pallo, jonka sisällä on risti). Projektitoimituksilla pysähdysaikojen jakauma on symmetrisempi (sininen laatikko, jonka keskellä vaakaviiva), mikä tarkoittaa yksinkertaistettuna sitä, että jokaista lyhyttä pysähdysaikaa kohti on likimain yhtä paljon pidempi pysähdysaika.



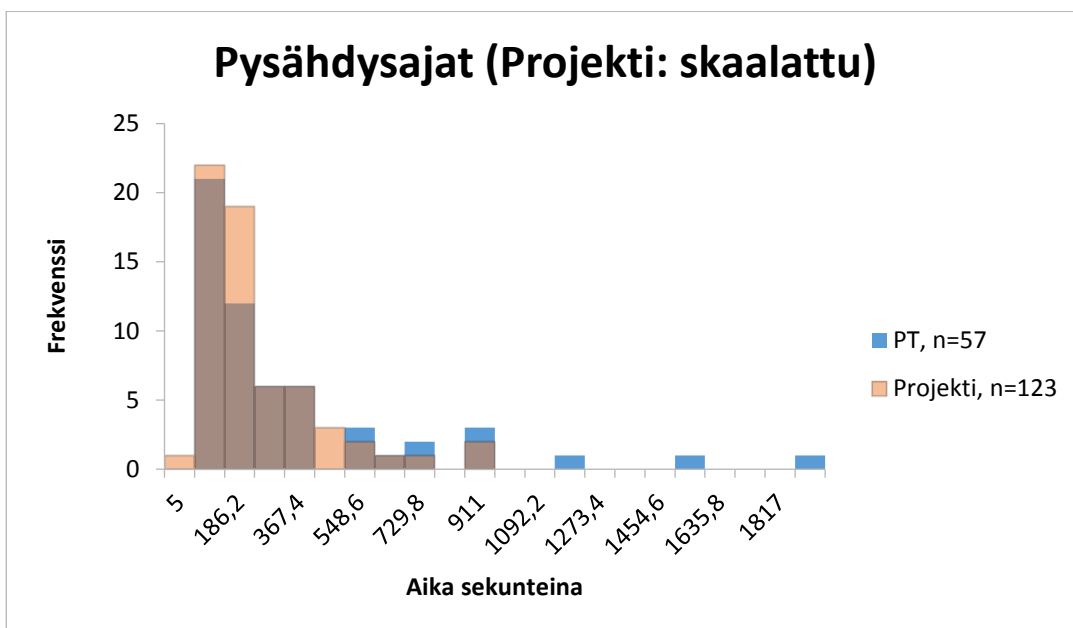
KUVIO 27. Toimitustyyppikohtaiset muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumat (pl. äärimmäiset arvot)

Alla on vielä yksi vertailukuvio (KUVIO 28) toimitustyyppikohtaisista muovitusuunin pysähdysajoista. Tällä kertaa vertailu on tehty histogrammien avulla. Suurin visuaalinen ero histogrammeissa johtuu siitä, että projektitoimitusten otoksen koko oli yli kaksinkertainen pientoimitusten otokseen. Tämän takia punaiset palkit ovat vasemmassa reunassa paljon korkeammat kuin siniset.



KUVIO 28. Toimitustyyppikohtaiset muovitusuunin pysähdysaikojen jakaumat histogrammeilla kuvattuna, N=180.

Punaisten palkkien kokoa voisi skaalata otoksen koon mukaan, niin niistä saadaan paremmin vertailtavat. Alla on kuvio 29, jossa projektitoimitusten palkit on skaalattu pienemmäksi siinä suhteessa, minkä suuruinen ero pientoimitusten ja projektitoimitusten otoksien koolla on.



KUVIO 29. Toimitustyyppikohtaiset pysähdysaikojen jakaumat histogrammeilla kuvattuna, skaalattu

Histogrammien muotoja vertaillessa huomaa, että jakauman vasen laita on lähes identtinen. Palkkien kokoerot pienenevät kuitenkin mediaanista oikealle päin mentäessä ja lopulta punaisia palkkeja ei ole enää ollenkaan, vaan ainoastaa muutama erittäin suuri arvo pientoimituksia kuvaavilla sinisillä palkeilla. Histogrammeja vertaillen päästään samaan johtopäätökseen kuin laatikko-janakaavioita vertaaillessa. Yleisimmät pysähdykset ovat likimain yhtä pitkiä, mutta pientoimituksilla on ajoittain pidempiä, jopa erittäin pitkiä, pysähdyksiä projektitoimituksiin verrattuna. Nämä havainnot sopivat hyvin yhteen alkuperäisten oletusten kanssa.

Kuten histogrammeista selkeästi näkee, pysähdysaikojen jakaumat olivat erittäin epäsymmetrisiä, eikä lähelläkään normaalijakauman muotoa. Tämän takia niiden tilastolliseen vertailuun piti käyttää parametrittomia testejä. Parametrittomat testit toimivat kaikenlaisten jakaumien vertailussa. On kuitenkin muistettava, että jos parametrisia testejä (t-testi, Z-testi, ANOVA ym.) on mahdollista käyttää, ne antavat luotettavempia tuloksia kuin parametrittomat testit. (Pyzdek & Keller 2009, 389-392.) Alla olevassa taulukossa (TAULUKKO 8) on esitelty tässä työssä käyttämäni parametrittomat tilastolliset testit. Vasemman puoleisimmassa sarakkeessa on testin nimi, keskimmaisessä testin kuvaus ja oikeassa sarakkeessa kys. parametritonta testiä vastaava parametrillinen testi.

TAULUKKO 8. Käyttämäni parametrittomat tilastolliset testit (Pyzdek & Keller 2009, s. 390-391[Minitab, Inc. 2000].)

| | | |
|----------------------|---|----------------------|
| Mann-Whitney -testi | Suorittaa hypoteesitestin kahden populaation mediaanien yhtäsuuruudesta ja laskee vastaavan piste-estimaatin ja luottamusvälin | 2-otoksen t-testi |
| Mood's mediaanitesti | Suorittaa hypoteesitestin populaatioiden mediaanien yhtäsuuruudesta yksisuuntaisessa suunnitelmassa. Mood's median -testi on vakaa ääriarvoille ja häiriöille datassa ja sopii erityisesti alustaviin analyysiin. | yksisuuntainen ANOVA |

Toimitustyyppikohtaisten muovitusuunipysähdysaikojen otoksille tehdyn Mann-Whitney -testin mukaan niiden mediaanien erotuksen piste-estimaatti on 31, eli mediaanit eroavat toisistaan arviolta 31 sekunnilla. Mediaanit ovat projektitoimituksilla 115 sekuntia ja pientoimituksilla 138 sekuntia. 95 prosentin luottamusväli mediaanien eroille on 77:stä -6:en. Luottamusväliin sisältyy myös 0-ero, juuri ja juuri. Hypoteesitesti mediaanien yhtäsuuruuksista päätyi 11,22 prosentin merkitsevyyteen. Siispä on 11,22 prosentin todennäköisyys, että havaittu ero on vain sattumaa, eikä todellisesti eroa ole. Merkitsevyytaso ei ole yleisesti tarpeeksi suurena pidetty 5 %, mutta silti mielestäni riittävä. On kuitenkin

huomioitava, että ääriarvot, kuten pientoimitusten pysähdyksien otoksissa on, eivät vaikuta mediaaneihin paljoa, mutta keskiarvoihin ne vaikuttavat merkittävästi. Tästä syystä pelkästään yksinkertainen mediaanien vertailu Mann-Whitney testillä ei välttämättä riitä. Seuraavat taulukot (TAULUKKO 9, TAULUKKO 10) ovat Moodin mediaanitestin vertailun perustana.

TAULUKKO 9. Khii2-testiin syötettävät havaintoarvot

| | havaintojen määrä, yhteinen mediaani=120 | | |
|---------------|--|---------------------|-------|
| Tilaustyyppi | <= yhteinen mediaani | > yhteinen mediaani | summa |
| Pientilaus | 27 | 30 | 57 |
| Projekttilaus | 63 | 60 | 123 |
| summa | 90 | 90 | 180 |

TAULUKKO 10. Khii2-testin odotusarvot

| | vertailutaulukko: odotusarvot | |
|---------------|-------------------------------|---------------------|
| Tilaustyyppi | <= yhteinen mediaani | > yhteinen mediaani |
| Pientilaus | 28,5 | 28,5 |
| Projekttilaus | 61,5 | 61,5 |

Samoilla otoksilla tehty Moodin Mediaanitestin mukaan 95 prosentin luottamusväli mediaanien erotukselle on jopa -23:sta 87:än. P-arvo on 0,631, joten testin mukaan havaittu ero voi hyvinkin olla sattumaa, 63,1 prosentin todennäköisyydellä. Tämä testi jakaa otokset kahteen joukkoon: yhteistä mediaania suurempiin ja maksimissaan yhtäsuuriin. Sitten se vertaa saatuja joukkoja odotusarvoihin khii²-testillä. Kuten taulukoista nähdään, lähes yhtä suuri osa sekä pien- että projektitilausten pysähdyksistä on jakautunut mediaanin molemmiin puolin. Havaittavissa on pieniä eroja, jotka vastaavat aikasempia havaintoja: pientilauksilla on hieman odotusarvoja enemmän mediaania suurempia arvoja ja projektitilauksilla hieman enemmän mediaania pienempiä arvoja. Tätä mediaanitestiä voi pitää parempana, sillä sen pitäisi toimia paremmin sellaisilla ääriarvoilla kuten pientoimituksien pysähdyksissä on. Toisaalta mediaanitesti antaa yleensä aina vähemmän merkitseviä tuloksia. (Arne Buthmann 2007; Pyzdek & Keller 2009, 332-336.)

Näiden testien tulokset saavat epäilemään, onko toimitustyypeillä todella eroja muovituksen pysähdyksien suhteen. Pientoimituksissa havaittuja ääriarvoja on vain muutama kappale, ja muuten jakauma on lähes identtisen näköinen projektitoimituksiin verrattuna. Varmoja ei voida olla, koska tiedonkeruujaksolla mitatut otokset ovat liian pieniä: tilastollisesti ajateltuna havaitut ääriarvot voivat olla vain sattuman aiheuttamia poikkeamia. Jos pientoimituksilla havaitut ääriarvot eivät oikeasti ole sattumaa ja projektitoimituksien kohdalla ei ole sattumaa, että ei ole havaittu yhtäläisiä ääriarvoja, kuten eroavaisuuksista

alun perin oletettiin, niin itse asiassa tämä mediaanitesti voi jopa antaa harhaanjohtavia tuloksia. Kuten sanottua, otoskoon pienuuden ja otoksien sisäisen hajonnan suuruuden takia tämä voi hyvinkin olla mahdollista.

Prosessin toiminnan näkökulmasta pientoimitusten ja projektitoimitusten erot olivat kuitenkin niin selkeät, että pidin niiden eroavaisuuksien huomioimista simulaatiomallissa tärkeänä. Siispä jatkoin simulaatiomallin rakentamista aikaisemmin tässä pääluvussa esittämäni syöttöarvojen ja logiikan mukaan.

6 KEHITTÄMISVAIHE

Six Sigma -toimintamallin DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmän kehittämisvaiheessa etsitään tapoja tehdä asioita paremmin, edullisemmin tai nopeammin. Kehittämismahdollisuuksien arvioimisen perusteella päätetään tärkeimmistä toimenpiteistä. Sitten määritellään parannetun prosessin optimaaliset asetukset analysoituun tietoon pohjautuen. Tilastomatematiikan keinojen avulla parannustoimenpiteet voidaan varmentaa. Vielä kehitysvaiheessakin voi ilmetä parannuksen kannalta merkittäviä uusia asioita, jolloin prosessin parannusten arviointiin on palattava. (Pyzdek & Keller 2009, 393.)

Tässä luvussa kerron simulointimallin soveltamisesta kehittämistoimenpiteiden tarkentamisessa ja rakentamani mallin simulointiajojen suorittamisesta sekä niiden tuloksista. Kerron myös muutamista kehitysehdotuksista prosessiin sekä kehittämisperiaatteista, joita hyödynsin simulointimallin rakentamisessa. Näitä kehittämisperiaatteita voi yhtä lailla soveltaa tuotantoprosessien kehittämiseen. Tässä luvussa eteen tulee myös asiota, jotka vaativat uusien mittausten tekemistä ja niiden tulosten analysointia. Tästä uudesta selvitysprosessista ja sen vaikutuksista kehittämistehtävään tuon esiin joitain huomioita. Tämän luvun lopussa kerron omia päätelmiäni siitä, miten lastausvaihe vaikuttaa tuotantomääriin, kun huomioidaan myös kokoonpanovaihe lastausvaiheen lisäksi. Näihin päätelmiin päädyin tarkastelemalla oletettuja syitä uudelleen.

6.1 Ketterä ja jatkuva kehittäminen

Kehittämisessä ei kannata tehdä toimenpidelistaa, vaan keskittyä jatkuvan parantamisen periaatteen mukaan pieniin nopeisiin parannuksiin aloittaen heti parhaalta tuntuvasta ajatuksesta. Voi olla kokonaisuudessaan tehokkaampaa vain kääriä hihat ja aloittaa parantaminen pienin nopein askelin yhteistyön ja jokapäiväisen tekemisen avulla, jota ohjaa asetettu tavoite, kuin miettiä ja suunnitella kovasti, mitä kannattaa tehdä. Työntekijät tietävät varmasti, mihin pitäisi tehdä muutoksia, jotta asia etenisi, joten tärkeintä olisi vain aloittaa. Helposti kirjataan kehitysideat listaan ajatuksena arvioida niitä ja toteuttaa tärkeysjärjestyksessä. Käytännössä toimenpidelista ei välttämättä ole toimiva menetelmä.

Jatkuva parantaminen perustuu yksittäisten asioiden muuttamiseen. Nämä niinsanotut yhden muuttujan kokeet auttavat työntekijöitä ymmärtämään prosessin toiminnan syyt ja seuraukset. Prosessin parempi ymmärtäminen taas antaa paremmat eväät sen kehittämiseen tulevaisuudessa. Voidaan ajatella, että jos

esim. käytetään juuri mainitsemaani analyttistä tapaa suorittaa toimenpidelistään kirjattuja kehitystoimenpiteitä, ensimmäisen toimenpiteen suorittaminen voi muuttaa prosessia, jolloin loput toimenpiteet eivät välttämättä sovi enää uuteen tilanteeseen. Keskittymällä ja muuttamalla yhtä asiaa kerrallaan koko organisaation on helppoa oppia prosessin toiminnan periaatteita. Syvällisten analyysien avulla voi löytää monimutkaisia toimenpiteitä, joissa muutetaan samalla kertaa monia asioita, mutta tällöin jatkuva parantaminen on yleensä vain yksittäisten kehitystyöntekijöiden suoritettavana. Muiden työntekijöiden voi olla hankala oppia tämälaisista muutoksista ja osallistua parantamiseen. (Rother 2010, 30-31.)

Tämän luvun lopussa on tähän jatkuvan parantamisen henkeen perustuen keksittyjä kehitystoimenpiteitä, jotka pääosin nousivat esiin lastausprosessin työntekijöiden ehdotuksista ja prosessin havainnoinnista. Vaikka toimeksiannon tarkoitus oli selvittää puskurivälivaraston koko, näiden toimenpiteiden on ajateltu toimivan lastausvaiheen kapasiteetin kasvattajina ja vaihtelun pienentäjinä, jolloin tarvittava puskuri voi olla pienempi ja edullisempi.

6.2 Simulointimallin jatkuva parantaminen

Kerroin juuri lyhyen ajatusmallin jatkuvaan parantamiseen liittyen. Tässä alaluvussa tuon esiin joitain muita tähän ajatusmalliin sopivia periaatteita, joita esim. lean-kirjallisuudessa nostetaan paljon esiin. Jatkuvaa parantamista voi soveltaa mihin tahansa suorittamiseen, ja tässä tapauksessa kuvailen simulatiomallin mallintamisessa esiin tulleiden ongelmien ratkaisuprosessia jatkuvan parantamisen periaatteisiin nojautuen.

Simulointimallin tekemisessä suurin osa ajasta kului simulointimallin virheiden ja ongelmien korjaamiseen. Vaikka mallin perustoiminnot olivat pääosin suoraviivaisia mallintaa, niin kokonaisuuksien toimintaan saattaminen oli hankalampaa ja vei paljon enemmän aikaa kuin odotin. Kuitenkin tässäkin tapauksessa oli jatkuvan parantamisen periaatteiden mukaisesta lähestymistavasta hyötyä, kuten puuduttavan säätämisen jälkeen huomasin. Ongelma tai virhe simulointimallissa saatiin nopeimmin ratkaistua käytännössä jokaisessa tapauksessa saman kaavan avulla: ongelman havaitseminen → ongelmakohdan havainnointi → tilanteen analysointi juuri siinä hetkessä, kun ongelman sattuu, eikä jälkikäteisen pohdinnan avulla → muutoksen yrittäminen, yksi asia kerrallaan → koeajo. Tästä esimerkkinä simulointimallin rakentamisessa usein minulle vastaan tullut ongelma: Simuloinnin tapahtumaketju jumittui jostain kohdasta, jolloin simulaatio jatkoi käyntiään, kunnes itse huomasin virheen ruudulla mallin muuttuneen käyttäytymisen takia. Havaitessani ongelman pysäytin simulaation ja tutkin sitä tapahtumaketjun kohtaa, missä ongelman havaitsin. Tässä kohti käytännössä tunnistin ja määrittelin itselleni seurauksen,

mikä ongelmasta syntyi. Jotta ongelman pystyi ratkaisemaan, oli kuitenkin päästävä ongelman lähteelle, eli mahdollisimman lähelle ongelmaan johtanutta syytä. Siispä muokkasin simulointimallia niin, että heti tämän määrittelemäni ongelman seurauksen ilmetessä simulaatio pysäyttää itse itsensä. Joissain tapauksissa ongelma oli määriteltävä uudelleen, koska edellisen määritelmän mukaan pysäytetystä tilanteesta en päässyt asiassa syvemmälle. Olin määritellyt ongelman väärin. Tilanteen ymmärtäminen on tämän takia tärkeää, joten ongelman seurauksesta täytyy saada hyvä kuva havainnoimalla sitä tarkemmin. (Law & Kelton 2000, 270)

Hyvän ongelmanmäärittelyn avulla pääsin tarkastelemaan juuri sitä tilannetta, missä ongelma on syntynyt, eikä siihen johtava pohjimmainen syy ollut kerennyt mennä ohi simulaation tilan muuttuessa ajan edetessä. Tällöin minun oli mahdollista nähdä, mitä juuri silloin tapahtui, kun ongelma syntyi. Usein syy ongelmaan tuli tässä vaiheessa hyvin selväksi yksinkertaisesti havainnoimalla tilannetta ja tarkistamalla syntyneet epäilykset ongelman aiheuttajasta. Tässä vaiheessa viimeistään ohjelmiston ja tietokoneen toimimattomuuteen kohdistuvat epäilyt ongelman aiheuttajina kariutuivat pois. Usein syy oli selkeä puute rakentamassani simulointimallissa, systeemissä, eikä systeemin pyörittäjissä, eli tietokoneessa ja ohjelmassa. Ratkaisu oli siis puutteen korjaaminen. Joskus samaan ongelmaan vaikutti useampi tekijä, jotka ilmenivät puutteen korjauksen jälkeen koeajossa. Kuitenkin kun tietty ongelma oli saatu ratkaistua, palattiin takaisin ensimmäiseen vaiheeseen, eli havainnoitiin mahdollisia uusia ongelmia. Näiden parannuskykyjen läpikäymisellä simulointimallista tuli jatkuvasti vakaampi ja tarkempi, välillä vähän ja joskus paljon kerrallaan.

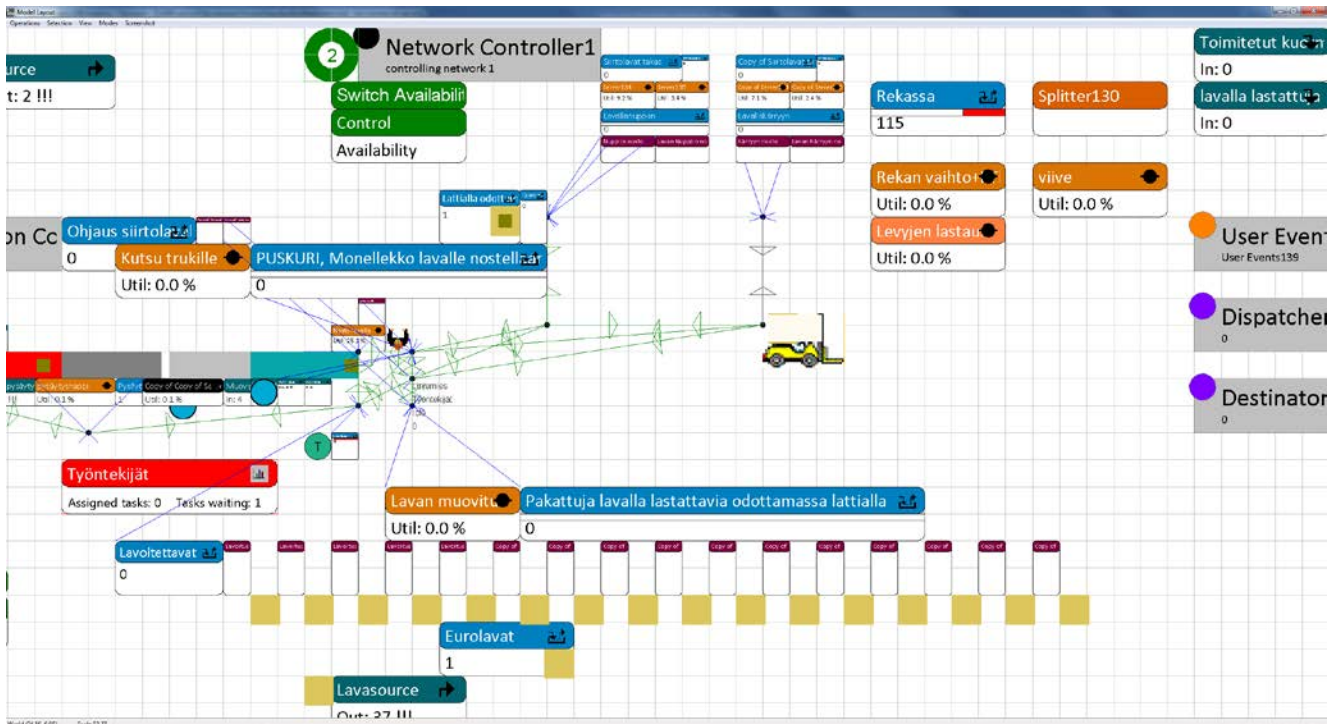
Usein minulla kului merkittävästi ylimääräistä aikaa pyrkiessäni ratkaisemaan ongelmaa heti ongelmanratkaisun toisen vaiheen, eli ongelmakohdan havainnoinnin jälkeen. Tällaisissa tapauksissa sorruin usein käyttämään paikkaavia toimenpiteitä, jotka pitkän säätämisen jälkeen ilmenivät aina hyödyttömiksi. Useissa lean-kirjoissa kuvaillaan tätä samaa sudenkuoppaa, johon toiminnan kehittämisessä langetaan. Tilanteen todellinen ymmärtäminen on avain oikean parannuksen saavuttamiseen.

6.3 Simuloinnin käyttö parannuksen optimoinnissa (osa tekstistä salattu)

Hyvin suunnitellut simulaatiot antavat tietoa monista prosessin tuotoksista, kuten tuotantomääristä, käyttöasteista, odotusajoista ja tuotantovaatimuksista. Tämän kaltaiset tiedot sopivat loistavasti parannusten arvioimiseen. Lisäksi parannusideoiden luonti ja arviointi on erittäin nopeaa simuloinnin avulla. Luovien kehitysratkaisujen apuna käytettäessä simulointi merkittävästi nopeuttaa Six Sigma -kehitysprosessia. (Pyzdek & Keller 2009, 420-423).

Mallin rakentaminen saa alkunsa siis todellisen systeemin tutkimisesta, mitä tein tämän projektin määrittely- ja mittausvaiheessa. Sen jälkeen prosessista luotiin konseptuaalinen malli, jonka tein mittausvaiheessa. Lopulta konseptuaalinen malli sovellettiin simulointiohjelmistoon. Ennen simulointimallin hyödyntämistä parannustoimenpiteiden testaamiseen mallin toimivuus oli testattava. Simulointiprojektin vaiheista verifioiminen ja validoiminen kuuluvat mallin toimivuuden testaamiseen. Verifiointi tarkoittaa sitä, että varmistetaan mallin matemaattisten ja loogisten ominaisuuksien vastaavan konseptuaalista mallia, jonka taas on aikaisemmin varmistettu vastaavan todellista prosessia. Validointi taas puolestaan tarkoittaa sitä, että tarkistetaan mallin toiminnan ja tuloksien vastaavan tutkittavan prosessin toimintaa ja tuloksia. (Banks ym. 2005, 354-381; Law & Kelton 2000, 84; Pyzdek & Keller 2009, 428)

Simulointimalli verifioitiin tarkastelemalla mallin logiikkaa ja syöttöarvoja toimeksiantajan kanssa. Visuaaliset arviot syöttöarvojen jakaumista yhdessä tilastollisten tunnuslukujen kanssa, joita esittelin analysointivaiheen yhteydessä, olivat verifioimisen perustana. Kun mallia pidettiin tarpeeksi hyvin todellista prosessia kuvaavana, testiajoja tehtiin mallin validoimiseksi. Useiden testiajojen ja säätöjen jälkeen simulaatiomallin tuotantomäärät saatiin vastaamaan todellisen prosessin määriä. Kun simulointimallin tuotokset vastasivat tarpeellisilta määrin todellisuuden arvoja, malli oli validoitu. Sitten voitiin aloittaa muutosten testaaminen. Alla olevassa kuvassa (KUVA 6) on vielä kuvankaappaus simulointimallin kaksiulotteisesta visualisoinnista, jossa näkyy lastausprosessi kokonaisuudessaan.



KUVA 6. Kuvankaappaus simulointimallin 2D-visualisoinnista

Simulointimallien kanssa yhdessä voidaan nykyaikaisilla simulointiohjelmistoilla käyttää erilaisia tilastolliseen analysointiin tarkoitettuja ohelmistoja, ja tätä kautta suorittaa koesuunnitteluun perustuvia virtuaalisia kokeita (Pyzdek & Keller 2009, 438). Tässä työssä tarkoituksena oli kuitenkin vain selvittää, kuinka suurituotepuskuri, eli välivarasto, lastausvaiheen alkupäähän kannattaisi rakentaa. Testattavia muuttujia oli vain yksi, eli puskurivarastoon mahtuvien kaappien määrä. Mikäli painotus olisi ollut eri parannustapojen selvittämisessä ja testauksessa, koesuunnittelu olisi tullut kyseeseen. Puskurin avulla tavoitteena oli siis vaimentaa lastausvaiheen vaihtelua tuotannon ylävirtaan päin niin, että lastausvaiheen viivästyksiset eivät merkittävästi vaikuttaisi muuhun tuotantoon. Puskuri oli suunniteltu rakennettavan sellaiseksi, että se helpottaisi myös lastauksen toimintaa. Kyseessä ei siis yksinkertaisesti ollut vain tilan tarpeen selvittäminen, vaan tutkimuksen tuloksen perusteella voitaisiin puskurin rakentamiseksi tehtävän investoinnin määrä mitoittaa oikein.

6.4 Simuloinnin tulokset

Simulaatioajat koostuivat noin kolmestakymmenestä keskimäärin 140 tuotantovuoroa kattavasta simulaatioista. Näistä 25 ajoa oli muutoksia testaavia simulaatioita ja viisi tämänhetkistä prosessia imitoivia simulaatioita, joista sain vertailuarvoja muutetusta mallista tehtyihin simulaatioihin. Muutoksia testaa-

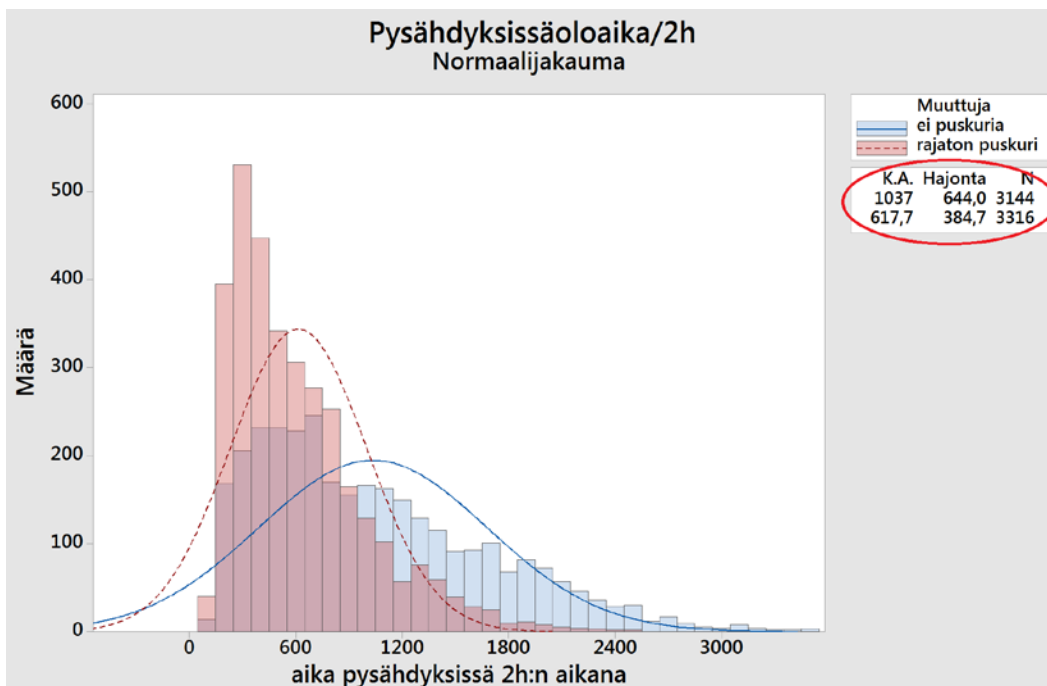
vista simulaatiosta lopulta vain kuusi otin mukaan lopulliseen vertailuun viittä nykytilaa kuvaavia simulaatioita vastaan. Kymmenen muutosta testaavaa simulaatiota testasi erikseen eri puskurirajoituksia, ja neljässä testissä oli epähuomiossa määritetty tiedonkeruu väärin. Tuloksia tulkitessa ilmeni, että erillisten puskurirajoitteiden testaaminen ei ollut tarkoituksenmukaista eikä tuonut lisää arvoa tuloksiin. Kuusi simulaatioajoa, joissa ei ollut puskurirajoitusta, testasivat prosessia ns. rajattomalla puskurivälivarastolla. Puskurivälivaraston täyttymistasoa seuraamalla näissä rajattomissa testeissä oli mahdollista saada arvio tarvittavasta puskurin koosta.

Simulaatioajot olivat n. 140 työvuo-roa pitkiä, minkä arvioin tarpeeksi pitkäksi ajoajaksi vakaata tilaa kuvaavien suorituskykyarvojen tuottamiseen. Mitä lyhempi simulaatioajo on ja mitä vähemmän niitä tehdään, sitä suurempi todennäköisyys on sillä, että jokin simulaatiossa tapahtunut erityistilanne vaikuttaisi tuloksiin niitä vääristäen. Erityistilanteita aina sattuu, mutta pitkät simulaatioajot useasti toistettuna tasoittavat niiden vääristävät vaikutukset pois. Simulaation tulokset kuvaavat tällöin ns. prosessin vakaata tilaa. Vakaa tila saavutetaan silloin, kun simulaation tulokset eivät enää muutu merkittävästi simulointipituuden kasvaessa. (Pyzdek & Keller 2009, 428.)

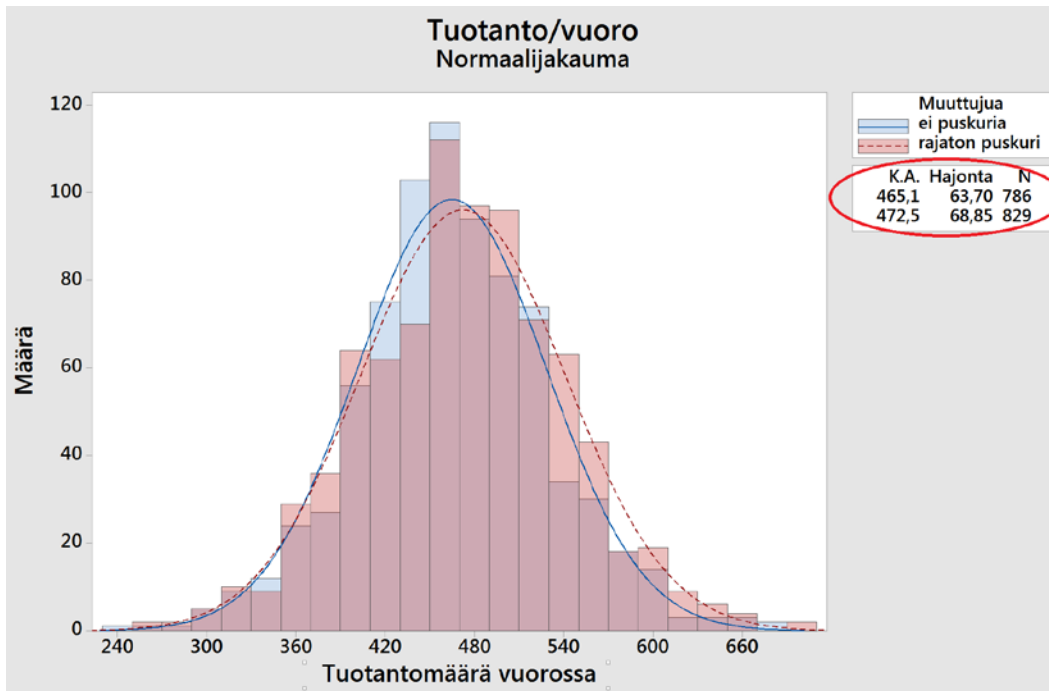
Alla oleviin histogrammeihin (KUVIO 30, KUVIO 31) olen yhdistänyt kuuden muutosta testaavan simulaation ja viiden nykytilaa imitoivan simulaation tulokset, kummankin yhdeksi tulosjoukoksi, joka kuvaa nykytilaa ja muutosta. Ensimmäisessä histogrammissa (KUVIO 30) on äärettömän puskurin vaikutus muovitusuunin pysähdysaikoihin. Yhtenä pysähdysaikaluvaintona käytin samaa kahden tunnin aikajaksoilta kumuloituja pysähdysaikoja kuin mitä todellisen prosessin analysoimisessa käytin. Simuloinnin aikana ohjelmisto keräsi suorituksesta tietoja sen mukaan, mitä olin sen ohjelmoinut keräämään. Simulaatioajan mukaisesti kahden tunnin välein ohjelma tallensi vuorokohtaisesti sen kahden tunnin aikana tapahtuneiden pysähdyksien ajalliset kestot omaan taulukkoonsa. Tästä taulukosta sain siis laskettua yhteenvedot sekä kahden tunnin aikajaksoille että vuorokohtaisesti. Tulokset olivat, että muutetussa prosessissa muovitusuunin pysähdysajat laskivat n. 40 % verrattuna simuloituun nykyisen todellisen prosessin tilaan. Pysähdyksissäoloaika tippui n. 1000 sekunnista, eli 17 minuutista n. 600 sekuntiin, eli kymmeneen minuuttiin. Vaikutus oli oikean suuntainen arvioihin verrattuna, mutta edes ääretön puskurivälivarasto ei yltänyt tavoiteltuun 50 prosentin vähennykseen pysähdysajoissa. Kuviossa punaiset palkit ovat rajattoman puskurin tapauksesta keräytyneet frekvenssit ja siniset palkit ovat nykytilaa imitoivasta simulaatiosta.

Samaan tyyliin seuraavassa kuviossa on simulointien tulokset tuotantomäärinä kuvattuna. Edellisen kahden tunnin välein kumuloituneiden tuloksien sijaan tuotantomäärät ovat vuorottaisia. Tämän takia otos

on pienempi, kooltaan n. 800 kumpaakin tapausta kohti. Yllättäen simuloitun nykytilan ja muutetun prosessin välillä ei olekaan simulointien mukaan merkittävää eroa. Päivittäisen tuotantomäärän keskiarvo kasvoi vain n. seitsemällä kappaleella, mutta tuotantomäärien hajonta kasvoi myös, noin viiden kaapin verran. Tulos ei ole ollenkaan odotetun lainen. Pysähdysaikojen väheneminen ei simulaation mukaan johda tuotantomäärän merkittävään kasvuun.

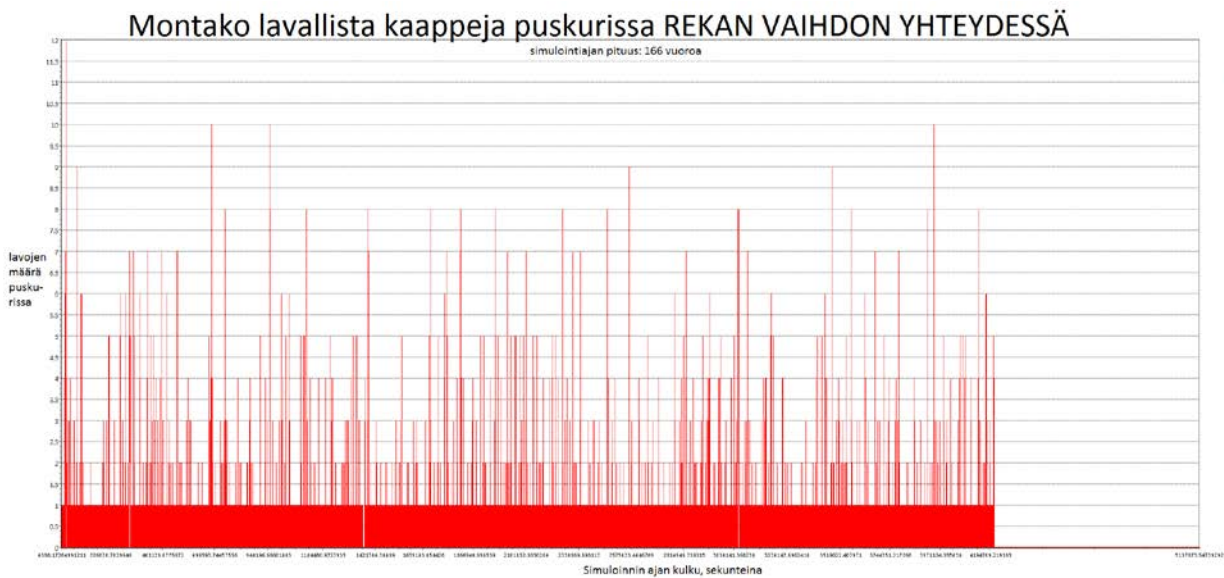


KUVIO 30. Simuloinnin tulokset: muovituksen pysähdysaikojen muutos



KUVIO 31. Simuloinnin tulokset: tuotantomäärien muutos

Seuraavassa puskurivälivaraston käyttäytymistä kuvaavassa kuvassa (KUVA 7) on yhden ajon aikana simulaatiosta tallennetut puskurissa olevien kaapillisten kuormalavojen määrät jokaiselta ajan hetkeltä. Tämä sama kuva on suurempana liitteenä (LIITE 5). Suurimman osan ajasta puskurissa on vain yksi tai ei yhtään lavaa, mikä näkyy kaavion alaosassa. Punaista on kaikista eniten juuri yhden lavan kohdalla. Tässä tapauksessa simuloidun 166 vuoron aikana puskurissa on enimmillään käynyt 12 lavaa, mikä tapahtui yhden kerran, ja 10 lavaa muutaman kerran, mitkä kuvasta nähdään korkeimpina punaisina piikkeinä. Suurimman osan ajasta piikit eivät nouse yli 7 tai 8 lavan, joten jo 7 tai 8 lavan puskurilla saavutettaisiin paras tulos muovikoneen pysäytysten vähentämisessä. Kaikissa rajattomilla puskureilla olleilla samoilla asetuksilla tehdyissä simulaatioissa tulos oli sama. Muovituskoneen pysähdysten vähentäminen ei kuitenkaan tuotantomäärien muutosten perusteella näytä olevan kannattavaa. Voiko tulos pitää paikkansa? Onko tämä tulos validi ja luotettava? Näin suuri muutos simuloinnin perustana oleviin oletuksiin verrattuna vaatii sen, että prosessia tutkitaan tarkemmin. Ensin kuitenkin pyrin löytämään mahdollisen selityksen tähän epä johdonmukaisuuteen aihealueen teorian kautta. Tästä lisää seuraavassa alaluvussa.



KUVA 7. Puskurin käyttäytyminen simulaatiossa

6.5 Tuotantopullonkaulan hallinta

Pullonkaulan läpimenomäärää voi kasvattaa joko kasvattamalla sen nopeutta tai kasvattamalla sen käyttöastetta. Käyttöastetta voi parantaa vähentämällä pullonkaulan kuihtumista ja blokkauksia sijoittamalla puskurivälivaarastoja sen eteen ja/tai jälkeen ja/tai kasvattamalla sen edellä/jäljessä olevien työvaiheiden nopeutta. (Hopp & Spearman 2005, 340.) Jos lastausprosessi on ollut tuotannon pullonkaula, sen eteen sijoitetun puskurin pitäisi kasvattaa sen läpimenomäärää. Näin tapahtui, mutta muutos on erittäin pieni. Kuitenkin lastausprosessi tukki väylän edelliseen prosessin 40 % harvemmin kuin aikaisemmin (muovitusuunin pysähdykset), joten jos lastausprosessi olisi pullonkaula, kokoonpanosta olisi pitänyt tulla tätä tukkimisaikamuutosta vastaava määrä (24 %) enemmän tuotteita lastaukseen. Lastauksen läpimenomäärässä muutos oli kuitenkin vain 1,5 prosenttia. Tämä tulos viittaisi siihen, että pullonkaula voisi myös olla kokoonpanolinjasto.

Simulaation tulos osoittaa, että kokoonpanolinjan käyttöasteen parantaminen lisäämällä puskurivälivaarasto sen jälkeen ei parantaisi sen läpimenomäärää. Tämä viittaisi siihen, että kokoonpanon käyttöasteessa ei ole merkittävästi parannettavaa tai että käyttöasteen parantaminen olisi kiinni sitä edeltävästä prosessista. Tämä jälkimmäinen selitys tuntuu kuitenkin kaukaiselta, koska kokoonpanolinjastoa ennen on toimiva imuohjaussysteemi komponenttien tuotantoon. Siispä simulaation tuloksen mukaan oikea tapa tuotannon kehittämiseen voisi olla kokoonpanolinjaston läpimenomäärän kasvattaminen sen nopeutta kasvattamalla. Toimeksiantaja on kuitenkin sanonut lastauksen nopeuden/kapasiteetin lisäämisen

käyttämällä ylim. työntekijöitä kasvattaneen tuotantomääriä jonkin verran. Kapasiteetin lisääminen kokoonpanolinjaston jälkeiseen vaiheeseen on siis todellisuudessa huomattu parantavan tuotantomääriä. Tämä on ristiriidassa simulaation tulosten kanssa.

Tuotantorajoitteiden teoriasta oli siis mahdollista löytää selitys simulaation tuloksiin. Epäilin silti simulaatiomalliani, sillä ensimmäisenä simulointiprojektinani se voi hyvinkin olla pienistekin syistä käyttökelvoton kehittämisen arviointiin. Kuten Pyzdek ja Keller kirjassaan (2009) kertovat, kehittämisvaiheesakin voi joutua palaamaan mittaus- ja analysointivaiheen toimenpiteisiin tarpeen vaatiessa. Samoin kertoo Kananen kirjassaan Kehittämistutkimus opinnäytetyönä (2012):

Prosessin vaiheet kytkeytyvät tiiviisti toisiinsa. Tutkimusprosessi ei ole lineaarinen, vaihe vaiheelta tiukassa järjestyksessä kohti tavoitetta etenevä prosessi, koska välillä joudutaan palaamaan tutkimusprosessin edelliseen vaiheeseen. (Kananen 2012, 94-97.)

Pohtiessani keräämäni datan perusteella tekemiäni havaintoja, päätin siis vielä palata tutkimaan todellista prosessia. Selvitin lastausvaihetta edeltävän kokoonpanolinjaston loppuosuuden toiminnan tarkemmin. Mittasin sieltä jaksoaikoja ja selvyitin kokoonpanolinjaston keskivaiheelle mahtuvien kaappien määrän. Näiden tietojen perusteella sain laskettua kappalemääräiset ja ajalliset vaatimukset sille, että muovitusuunin pysäyttäminen lastausprosessissa johtaisi kokoonpanolinjaston pysähtymiseen. Sain myös kuulla, että itse asiassa kokoonpanolinjasto tarvitsee näitä pysähdyksiä, jotta työntekijät voivat täydentää linjaston välivarastoja sen aikana. Jos pysähdykset vähenisivät, vaadittaisiin myös kokoonpanolinjaston toimintaan muutos tässä asiassa.

6.6 Syy ja seuraus (osa tekstistä salattu)

Kävin ensimmäiseksi läpi kokoonpanolinjaston dataa tarkemmin. Datasta selvisi, että syys-joulukuun aikana kokoonpanolinja pysähtyi keskimäärin 1,16 kertaan vuoron aikana yli kymmeneksi minuutiksi. Yli 5 minuutin, mutta alle 10 minuutin pysähdyksiä kokoonpanossa oli 236 kertaa, eli keskimäärin 2,5 kertaa vuorossa. 2-5 minuutin pysähdyksiä tällä ajanjaksolla oli 826 kertaa, eli keskimäärin 8,7 kertaa vuorossa. Syys-joulukuun aikana oli kokoonpanolinjadatan mukaan 95 vuoroa. Pienen yhteenlaskun tuloksena vuoron aikana voisi saada tuotettua vähintään 42 kaappia enemmän, jos näitä viivästyksiä ei olisi. Tämän lisäksi vielä vähintään 10 kaappia päivässä jää tekemättä 1,5 – 2 min viivästyksen takia

Kun pohditaan, että miten uunilinjaston pysähtyminen on vaikuttanut kokoonpanolinjaston tehokkuuteen, täytyy huomioida, että uunin pysähtyminen ei heti näy kokoonpanolinjan pysähtymisenä niiden

välissä olevan linjastopuskurin takia. Laskujeni ja simulaation mukaan, jos linjasto ei ole valmiiksi ruuhkainen, muilla kaapeilla kuin komeroilla menee keskimäärin 23 minuuttia aikaa siihen, että ne tukkisivat kokoonpanolinjaston, kun taas komeroilla aikaa tähän menee keskimäärin noin 11 minuuttia. Kaappityyppien jakaumaan perustuen uunilinjaston pitää olla pysähtynyt keskimäärin noin 19,5 minuuttia, jotta se tukkisi kokoonpanolinjaston.

Kun kaikki nämä viivästyksotetaan huomioon, keskimääräinen jaksoaika kokoonpanolinjastolla on nyt yli 56 sekuntia, vaikka jakauman mukaan se näyttäisi olevan lähempänä 45 sekuntia. Jakauman oikea ”häntä” on kuitenkin todella pitkä, mikä kuvaa juurikin näitä harvemmin tapahtuvia pysähdyksien aiheuttamia pitkiä jaksoaikoja. Nämä suuret jaksoajat siirtävät kokoonpanolinjaston keskimääräistä jaksoaikaa merkittävästi suuremmaksi, kuin mitä se jakauman mediaanin mukaan näyttäisi olevan. 56 sekunnin jaksoajalla ja seitsemän tunnin päivittäisellä tehokkaalla työajalla kokoonpanolinjaston tuotantomääräksi tuleekin maksimissaan ”vain” 450 kaappia. Suurin piirtein tähän tulokseen simulaatiokin päätyi. Tuotantomäärä kasvoi vain muutamilla kaapeilla. Jos keskimääräinen jaksoaika olisi viivästykskin huomioituna todellakin se 45 sekuntia, kokoonpanolinjasto pystyisi tuottamaan 560 kaappia vuoron aikana, seitsemän tunnin tehokkaalla työajalla.

Tekemäni selvityksen mukaan kokoonpanolinjastolle mahtui siis 19 komeroa tai noin 45 pienempää kaappia puskuriin sen lisäksi, mitä kokoonpanon ja muovitusuunin väliin mahtuu. Tarkistin kuitenkin layout-piirustuksista linjaston pituuden siitä kohden, mihin puskuria voi kertyä, ja tein layoutin mukaisesti laskelmani ja simulaation pienemmällä tilalla puskurissa: 11 komeroa tai 30 pienempää kaappia. Tämä laskelma perustui siihen, että puskuriin mahtuu enimmillään koko linjaston pituudelta kaksi metriä pitkiä komeroita pitkittäin kyljellään niin, että niitä ei ole nosteltu toistensa päälle. Nämä käyttämäni arviot ovat konservatiivisempia kuin selvitykseni mukaan, jotten yliarvioisi kokoonpanolinjastolle mahduttavan puskurin tukkeutumiseen kuluvaan aikaan.

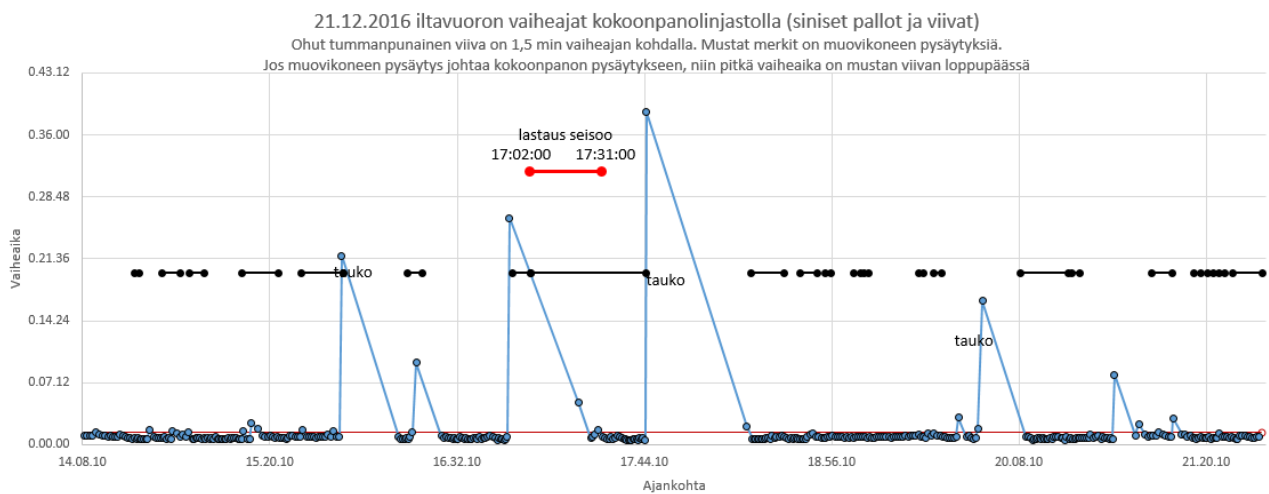
Seuranta-ajanjaksolla kokoonpanolinjastolla oli yhteensä 66 kertaa yli kahden minuutin pysähdyksiä. Jotta uunilinjan pysäytys voisi aiheuttaa kokoonpanolinjastolle yli kahden minuutin pysähdyksiä, pitäisi sen olla pysähtyneenä keskimäärin yli 20 minuuttia, kuten edellisissä kappaleissa päättelin. Seuraamani seitsemän vuoron aikana uunilinjasto pysähtyi vain kaksi kertaa yli 20 minuutiksi (ja 8 kertaa yli 13 minuutiksi). Siispä vain 3 % kokoonpanolinjaston yli kahden minuutin viivästyksistä voidaan varmuudella selittää muovituslinjaston pysähdyksillä. Koska komerot tukkivat linjaston nopeimmin, niiden avulla voidaan määrittää, kuinka monta yli kahden minuutin viivästyksistä voidaan enimmillään selittää muovituslinjaston pysäytyksillä. Selitysosuudeksi tästä saadaan 12 %. Siispä todellinen selitysosuus on

jossain 3 – 12 prosentin välillä. Tämä siis tarkoittaa sitä, että seuranta-aikana keräämäni tiedon mukaan, minkä myös simulaatio vahvistaa, maksimissaan 12 % kokoonpanolinjaston viivästyksistä voidaan selittää muovituslinjaston pysähdyksillä. Kun tuotantomäärien parannuslaskelmat lastaustoiminnan kehittämiseksi tehdään tällä perusteella, niin neljäntoista yli kahden minuutin viivästyksen sijaan kokoonpanolinjastolla olisi vähimmillään kaksitoista yli kahden minuutin pysähdystä vuoron aikana. Näiden kahden viivästyksen poisto saisi aikaan viidestä kuuteentoista kaapin tuotantomäärän kasvun, riippuen siitä, kuinka paljon yli kaksi minuuttia nämä viivästyksiset olivat. Simulaation mukaan tuotannon kasvu oli seitsemän kaappia. Simulaation tulos siis tukee tätä analyysia, mikä perustuu kokoonpanolinjaston tukautumiseen vaadittavaan aikaan.

Näissä esittämissäni yksinkertaisissa laskelmissa ei edes ole huomioitu yhden ja puolen viiva kahden minuutin viivästyksiä, joita syys-joulukuulta saadusta kokoonpanolinjaston datassa koki 2,2 % kaappeista. Tämän mukaan, vielä aikaisemmin esittämien tuotantomenetysten lisäksi, vähintään 10 kaappia päivässä jää tekemättä 1,5 – 2 min viivästysten takia. Tässä olen oletanut, että kokoonpanolinjastolla normaali jaksoaika ei voisi olla ainakaan yli 1,5 minuuttia. Yhteensä vähintään 52 kaappia voitaisiin tehdä enemmän, mikäli näitä viivästyksiä ei olisi. Käytännössä tähän voitaisiin päästä vähentämällä viivästyksiä esimerkiksi 50 %. Vastaavasti simulaatio osoittaa, että vaikka muoviunilinjaston pysäytyksiä vähentää 40 %, parannus tuotannossa on vain seitsemän kaappia. Siispä suuremmat mahdollisuudet ja ongelmat näyttävät olevan kokoonpanolinjastolla, eivätkä lastaamossa.

Tarkistin vielä ajankirjauslaitteella keräämiäni tarkkoja saapumisaikoja lastausprosessiin. Tarkistin, kuinka usein normaalia pidempi saapumisaika (yli 1,5 min) kahden kaapin välissä tapahtuu samaan aikaan kuin ajankirjauslaite oli kirjannut muovituskoneen pysähtyneeksi. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka suuri osa viivästyksistä saapumisajoissa johtui muusta kuin muovitusuunin pysähdyksistä. Datan mukaan ensimmäisen vuoron aikana 45 % kaikista yli 1,5 min viivästyksistä kahden kaapin välillä tapahtui silloin, kun muovituskone oli pysäytetty, kun taas toisen vuoron aikana vastaava osuus oli 61 %. Selkeästi suurempi korrelaatio verrattuna edellisissä kappaleissa analysoimiini kokoonpanolinjaston viivästyksiin tässä kohdassa prosessia oli odotettavissa. Heti muovikoneen vieressä linjaston päässä muovikoneen pysäytys näkyy tietenkin parin kymmenen sekunnin päästä, kun taas kokoonpanolinjasto pysähtyy vasta 10 – 20 minuutin päästä. Vaikka kokoonpanolinjaston päässä kyse oli näin lyhyestä vasteajasta, siltikin noin puolet kaikista viivästyksistä siellä tapahtuneista yli 1,5 minuutin viivästyksistä ei johtunut siitä, että muovituskone oli pysäytetty. Tämä tukee entisestään sitä, että kokoonpanolinjasto itsessään aiheuttaa merkittävämpiä viivästyksiä tuotantoon kuin lastaamosta johtuvat muovituslinjaston pysäytykset.

Seuraavassa kuvassa (KUVA 8) on lisää tietoa seuranta-aikana keräämästäni datasta. Kuvasta näkee sinisten merkintöjen piikeistä, kuinka paljon viivästyksiä kokoonpanolinjastolla näiden päivien aikana tapahtui ja kuinka kauan ne kestivät. Olen vielä lisännyt kuvaan ajankirjauslaitteella keräämäni tiedot muovikoneen pysähdyksistä kyseisenä päivänä. Tästä näkee vielä visuaalisesti sen, onko muovikoneen pysäytyksillä vaikutusta kokoonpanolinjastoon. Johtopäätökseni tämänkin kuvan perusteella on, että ei ole suurta vaikutusta. Muovituskoneen pysähdyksien kohdalla ei suurimman osan ajasta ole kokoonpanolinjaston vaiheajojen merkinnöissä muutosta normaaleista vaiheajoista. Siniset merkit pysyvät punaisen viivan alapuolella, vaikka muovitusuuni on pysähtynyt.



KUVA 8. Yhden vuoron aikaisia viivästyksiä eri tuotannon vaiheissa

Tämän tutkimuksen tuloksena onkin yllättäen päätelmä, jonka mukaan kokoonpanolinjasto itse aiheuttaisikin suurimman osan omista viivästyksistään. Päätelmä ei kuitenkaan ole kovin vankalla pohjalla, sillä en projektin aikarajoitusten takia kerennyt tekemään syvällisempiä analyysyjä muuttuneisiin olokuksiin liittyen. Lisäksi ne pika-analyysit, joita sain tehtyä, perustuivat monelta osin melko pieniin otoksiin, esim. yhden vuoron tietoihin, joten tulosten yleistettävyyys tutkittavaan prosessiin pitkällä aikavälillä on huono. Opinnäytetyön viimeisessä luvussa käyn vielä lisää läpi sitä, mitä olisi voinut tehdä eri tavalla parempien tuloksien saavuttamiseksi. Seuraavaksi tuon kuitenkin esiin joitain parannustoimenpiteitä tutkittavana olleeseen prosessiin.

6.7 Kehitysideoita lastaukseen

Tietyllä tavalla lastausprosessi itse tasoittaa omaa tuotostaan, eli lastattujen kaappien määrää. Kyse on siitä, että kun lastataan rekka tarkasti täyteen, jotta minimoidaan yksikkökuljetuskustannukset, rekkaan menee enemmän tavaraa, ennen kuin pitää vaihtaa tyhjä rekka tilalle. Tämä tarkoittaa siis pienempiä kuljetuskustannuksia ja suurempaa tehollista työaika lastaamossa, koska rekkoja vaihdellaan vähemmän. Kuitenkin seurannassani olen huomannut, että etenkin kun pientilaisuuskuorma on mitoitettu tarkoin mahtumaan rekkaan koko rekan tilan tarkasti hyödyntäen, lastaamon työntekijöillä kuluu merkittävästi enemmän aikaa rekan lastaamiseen kuin jos rekkaa ei tarvitsisi lastata niin täyteen. Lastaajilla riittää tekemistä rekan lastauksessa ja heidän ei tarvitse paljon rekan vaihtoja odotella, mutta muovikone joudutaan näissä tapauksissa pysäyttämään usein kymmeneksi minuutiksi. Tämä tapahtuu sen takia, että linjastolta ei voida nostella kaappeja ja pitää odotella, kun viimeisiä kaappeja ahdataan rekkaan. Kun rekka lastataan hyvin täyteen, rekkaa ei tarvitse vaihtaa yhtä usein, mutta silloin muovikone pitää pysäyttää. Siispä kun asiaa tarkastelee koko tuotantolinjan näkökulmasta, niin rekan täyteen lastaaminen ei olekaan niin yksiselitteisen hyödyllistä.

Toimeksiantaja toi keskusteluissamme esiin samankaltaisija havaintoja. Painotettiin sitä, että rahtauksen kannalta on tärkeä saada rekan etukonttiin mahtumaan mahdollisimman paljon kaappeja. Mitä enemmän etukonttiin on lastattu, sitä vähemmän rekkakuskin pitää siirrellä niitä peräkärystä pois rekan purkamista varten. Useissa tapauksissa koko rekalla ei pääse toimitusosoitteeseen, vaan peräkäräy pitää jättää kauemmas odottamaan. Ylimääräiset siirrot vievät nekin aikaa ja ovat riski tuotteiden laadun kannalta. Toisaalta lastaajilta on tullut kritiikkiä siitä, että rekan lastaaminen ääriään myöten hidastuttaa toimintaa, kuten seurannassani huomasin. (Hietala 2016b.) Jos tehdään muutoksia siihen, että miten tuotteet pakataan rekkaan, keskusteluja tulee käydä kuljetusyriityksen kanssa ja tehdä päätökset yhdessä (Hietala 2017).

Lastauksessa käytettävät siirtolavat kannattaisi vaihtaa renkaallisiksi, ilman trukkia siirrettäviksi lavoiksi. Lavoissa pitää olla jarrut, jotta ne pysyvät paikoillaan lastattaessa ja purettaessa. Tällä hetkellä trukki on lastauksessa pullonkaulana, joten aina kun sitä tarvitaan joidenkin muiden lavojen siirtelyyn, niin linjastolta ei voida nostella kaappeja lastattavaksi. Jos lavat olisivat pyörillä, niitä voisi siirrellä vapaasti pois edestä niiden täytyessä ja ottaa uusi tilalle. Helposti siirreltävät lavat muodostaisivat tällä tavalla itseksensä myös tietynlaisen puskurin esim. rekan vaihdon ajaksi.

Uusien siirtolavojen testaus voitaisiin helposti toteuttaa tekemällä tehtaan pajalla muutamia lavoja, joihin kiinnitetään renkaat. Pitäisi myös huomioida lavojen ohjattavuus, ainakin lopullisessa versiossa, jotta käyttö ei vaikeuttaisi työtä turhaan ja olisi turvallisempaa. Myös jarrujen pitäisi lopulta olla helppokäyttöiset, nopeat ja varmat. Voi olla, että peruspyörät eivät ole tarpeeksi hyviä. Pitää myös huomioida, että vaikka lavoilla on rullat, niitä pitäisi pystyä siirtelemään myös trukilla, mikä on toiminut hyvin projektitilauksissa ja mikä auttaa ergonomian kanssa. Myös pitäisi huomioida lavojen säilytys lopullisessa versiossa, eli että ne eivät veisi paljon tilaa ja että voitaisiin pakata päällekkäin tms. silloin, kun niitä ei tarvita. Idea ergonomiasyistä käytettävistä erikorkuisista lavoista erilaisille kaapeille voisi olla hyvä. Ongelmana voi olla, että ne veisivät paljon enemmän tilaa, että ne olisivat hankalampia toteuttaa ja että ne vaatisivat prosessissa enemmän työtä, esim. enemmän liikuttelua käytössä.

Lastaajille voisi olla hyödyllistä selkeästi nähdä jonkin varoituslampun tai vastaavan avulla, että muovikone on pysäytettynä. Muutamissa tapauksissa linjasto oli pitkään pysäytettynä, vaikka sen olisi voinut käynnistää. Tämä voisi olla hyvin yksinkertainen tapa satunnaisten turhien viivästyksien poistamiseen. Juuri tämänlaiset pienet muutokset voivat auttaa huomaamaan prosessille ominaisia ongelmia. Työntekijä saattaa helposti havaita, että ”eipä olisi muuten muistanut käynnistää konetta heti, jos valo ei olisi vilkkunut”. Onkohan prosessissa muita tämänkaltaisia kehittämismahdollisuuksia, jotka perustuvat visuaaliseen viestintään?

Pientilauksissa aina uuden kuorman lastaamista aloitettaessa lastaajilla menee kymmenestä kahteenkymmeneen minuuttia aikaa irtolevyjen lastaamiseen rekkaan. Kätevintä olisi, jos irtolevyt olisi valmiiksi pakattu lavalle siinä järjestyksessä kuin ne tullaan jakamaan eri kohteisiin. Tällöin lavan voisi yksinkertaisesti nostaa rekkaan kaikkine levyineen parissa minuutissa. Kun lava on ensimmäisenä aseteltu konttiin, se voidaan sijoittaa niin, että se on helposti saatavilla kuorman purkamista ajatellen. Sen toimituskohteen levytavara olisi pakattuna lavalle päälimmäiseksi, mihin ensimmäinen toimitus tehdään. Seuraavaan toimituspaikkaan menevät toiseksi päälimmäiseksi, jne. Seuraavassa vielä huomioita liittyen välivarastopuskurin käyttämiseen kapasiteetin kasvattamisessa.

Jos tuotantomääriä kasvatetaan pelkästään kasvattamalla välivarastoitavia määriä eikä muita parannuksia prosessiin tehdä, työntekijöiden on muutoksen jälkeen tehtävä kovemmin töitä, jotta tuotantomäärät todella kasvaisivat. Puskuri muuttaa prosessia niin, että lastauksen työntekijöiden ei tarvitse niin usein odotella seuraavia lastaukseen tulevia kaappeja kuin ennen. Täten työntekijöillä tulee olemaan vähemmän aikaa tehdä muita asioita. Tällä hetkellä linjastokaappien lastaaminen tapahtuu ehkä vain noin 55

prosentin ”tehokkuudella”, eli työssä on paljon odottelua ja pysähdyksiä. Siispä lastausmäärän kasvaminen vain välivarastoitavia määriä kasvattamalla samalla vaatii, että työtä tehdään kovemmin, mikä saattaa olla vaikea muutos työntekijöille, jotka ovat tottuneet nykyiseen työtahtiin.

6.8 Six Sigma DMAIC, ohjausvaihe

Six Sigma -toimintamallin DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmän viimeinen vaihe, ohjausvaihe, rajattiin tästä työstä heti alussa pois. Tarkoitus oli vain tutkia prosessia ja tehdä kehittämistä varten selvitys tehtävistä toimenpiteistä. Esittelen tässä luvussa kuitenkin hyvin lyhyesti joitain ohjausvaiheeseen liittyviä asioita. Näin koko DMAIC tulee sisällytettyä tähän työhön.

Ohjausvaiheen tärkeimmät tavoitteet ovat:

- Parannetun prosessin toiminnan taso on tilastollisesti todettava vastaavan tavoiteltua tasoa ja tuloksia, joihin projektin avulla tähdättiin.
- On kehitettävä ja otettava käyttöön prosessin ohjaussysteemi, jolla pyritään varmistamaan saavutettujen tulosten pysyvyys.
- On dokumentoitava projektissa opitut asiat tulevaisuudessa hyödynnettävään tietopankkiin.

(Pyzdek & Keller 2009, 453.)

Prosessin hallinnassa tilastollisen prosessinhallinnan työkalut ovat avainasemassa. Näistä kerroin mitausvaiheen yhteydessä. Ehkä tärkeintä kuitenkin on, että muutos saadaan iskostumaan koko organisaatioon.

7 POHDINTAA

Tutkimuksella ei saatu vastausta ensisijaiseen tutkimuskysymykseen: ”Kuinka paljon puskurointia työvaihe optimaalisesti vaatisi siinä esiintyvän vaihtelun vaimentamiseen, jotta työvaihe ei heikentäisi koko tuotantoprosessin suorituskykyä?” Tutkimustuloksen mukaan kysymys on irrelevantti, sillä mikään määrä puskurointia ei tutkimuksen mukaan saa aikaan haluttuja vaikutuksia. Tämä tulos on kuitenkin ristiriidassa käytännössä saatujen kokemusten ja kokeilujen kanssa.

Toinen tutkimuskysymys oli myös irrelevantti: ”Miten kyseinen työvaihe voitaisi tasapainottaa muiden prosessin vaiheiden kanssa?” Tämän tutkimuksen mukaan lastausprosessi on kapasiteettinsa mukaan tasapainossa muiden prosessivaiheiden kanssa. Yhtä lailla kokoonpanolinjasto ei välillä pysy lastauksen perässä ja lastaus ei välillä pysy kokoonpanon perässä. Tämä johtuu siitä, että kumpikin toimii hyvin projektitoimituksissa. Pientoimituksissa vain kokoonpanolinja toimii hyvin, sillä sitä pyöritetään juuri samalla tavalla kuin projektitoimituksissa. Kolmanteen tutkimuskysymykseen saatiin joitain ideoita, joita esitettiin edellisessä pääluvussa.

Hypoteesitesteissä olisi ehkä pitänyt miettiä nollahypoteesin valintaa tarkemmin. Onko esim mediaanitestissä pakko olla nollahypoteesina, että mediaanit ovat yhtä suuria? Tässä työssä oletus oli, että ne eivät ole yhtä suuria. Tarkemmin sanottuna oletus oli, että pientoimitusten kanssa on enemmän ongelmia. Tämä voi tarkoittaa sitä, että yleensä toiminta on samanlaista, mutta ajoittain sattuu erikoistapahatumia, millä on suuri vaikutus toimintaan mutta mitkä eivät vaikuta mediaaniin paljoa. Mediaanitesti ei kerro, onko tämä hypoteesi tosi vai ei.

7.1 Projektisuunnitelman eläminen

Kuva aikataulusta projektin keskivaiheilta löytyy liitteenä (LIITE 10). Simulointimallia tehdessäni huomasi ajan kuluvan nopeasti. Vaikka mallin rakentaminen tuntui etenevän järjestelmällisesti, niin huomasi aikataulun tarkistuksen yhteydessä projektin valmistumisen myöhästyvän tavoitteesta. Tämän takia jäljellä olevat tehtävät oli pariinkin otteeseen uudelleen suunniteltava ja tekemättömien tehtävien ositus ja aikataulutus päivitettävä. Aikataulua oli syytä päivittää ja pitää tarkasti silmällä etenkin tavoitteiden saavuttamisen vuoksi. Tilannekatsauksen yhteydessä kävi selväksi, että simulointimallin rakentaminen oli ajallisesti vasta puolessa välissä, eli siihen tulisi kulumaan huomattavasti enemmän aikaa kuin oli arvioinut aikaisemmin, eli edellisellä aikataulutarkistuskerralla. Ilman tätä työajan lisäystäkin

olin arvioni mukaan toista viikkoa aikataulusta jäljessä. Tässä vaiheessa projektia kiinnitin tilannekatsauksessa tarkempaa huomiota projektin viimeisiin työvaiheisiin ja niiden aikataulutukseen, jotka aikaisemmin perustuivat yksinkertaisiin arvioihin. Aikataulliset vaatimukset antoivat suuntaa ja selkeyttivät loppuprojektin suunnittelua huomattavasti. Projektin alussa pohtimani ns. ylimääräiset työtehtävät projektin loppuun pystyin helposti poistamaan ja suunnittelemaan tehtävät ja ajankäytön niin, että saisin kaiken oleellisen ja tarpeellisen tehtyä alkuperäisen aikataulun puitteissa.

Vaikka suunnitelmiin ja aikatauluun tekemäni muutokset lisäsivät simulointimallin rakentamiseen ylituplasti enemmän aikaa kuin alun perin oli tarkoitus, eivät muutokset venyttäneet projektin arvioitua valmistumista yhtään kauemmaksi aikaisemmista arvioista, eikä projektin alussa määritettyihin pääasiallisiin rajauksiin tarvinnut tehdä muutoksia. Projekti olisi aikataulumuutosten jälkeen edelleen vain puolitoista viikkoa aikataulusta jäljessä, vaikka simulointimallin rakentamiseen tulisin nyt käyttämään 10 päivää enemmän kuin aikaisemmissa arvioissa. Tässä vaiheessa myös projektin aikataulun osalta pohdin ratkaisua myöhästymiseen liittyviin ongelmiin. Päädyin siihen, että projektin toiminnallinen osuus tulisi valmistumaan toimeksiantajan hyödynnettäväksi alkuperäisessä aikataulussa. Keskittyin siis ensin vain tulosten saavuttamiseen, ja vasta projektin toiminnallisen osuuden jälkeen opinnäytetyön kirjalliseen puoleen, jonka valmistumisessa minulla ei enää tässä vaiheessa ollut tiukkaa aikarajaa.

Palasin projektin aikataulutukseen useita kertoja. Suunnitellut työtehtävät muuttuivat sitä mukaa, kun käsitykseni projektin laajuudesta ja painotuksesta kirkastuivat. Loppujen lopuksi projektiin sisällytettävät asiat simuloinnin lisäksi olivat melko erilaisia verrattuna siihen, mitä projektin alussa olin kuvitellut. Projektin päätavoite pysyi koko ajan kirkkaasti mielessä, mutta projektin konteksti opinnäytetyösuorituksen ja kehittämistyön periaatteiden ja arviointiperusteiden pohjalta muotoutui projektin loppua kohden hieman eri suuntaan kuin olin alussa ajatellut.

7.2 Mitä olisi pitänyt tehdä toisin?

Heti tutkimuksen alussa olisi pitänyt tarkistaa onko muovitusuunin pysäytyksillä ja tuotantomäärillä todellista (tilastollista) yhteyttä. Nyt huomio tähän kiinnittyi vasta simulaatioajojen jälkeen. Jotta tuotantotoimintaan pystyisi tekemään merkittäviä parannuksia, pitäisi perehtyä paremmin kokoonpanolinjastoon, sekä sen ja lastaamon vuorovaikutukseen eli siihen, mitä niiden välissä tapahtuu eri tilanteissa. Työni rajattiin koskemaan vain lastaamoja, ja työn edetessä keskittyminen lastaamoon syventyi. Nyt simulaation ja sen jälkeisen pohdinnan jälkeen ajatellen suurin hyöty olisi luultavasti saatu hieman eri

tavalla. Nyt keskittyminen syventyi entistä enemmän lastaamon toimintaan ja siihen, mitä siellä voisi tehdä paremmin muovituskoneen pysähdyksien välttämiseksi.

Työntekijöiden mukaan saaminen projektiin aiheutti haasteita etenkin videokuvaamisen takia. Tiedonkeruulomakkeiden jalkauttamisessa tuotantoon työntekijöiden vastuulle olisi myös parantamista. Nyt paperit vain vietiin työntekijöille ja kerrottiin, mitä täytyy tehdä. Täten tiedonkeruun onnistuminen lomakkeiden osalta jäi aivan työntekijöiden oman motivaation varaan. Mielestäni projektitiimin pitäisi tehdä kaikkensa tehdäkseen tiedonkeruun (lomakkeet jne.) mahdollisimman helpoksi työntekijöille. Kehitysprojektitiimin pitäisi mielestäni valmistella kaikki tiedonkeruun järjestelyt valmiiksi, eikä työntekijöiden tarvitsisi normaalin työnsä lisäksi vastata tästä järjestelytyöstä. Jos näin käy, järjestelyihin ei välttämättä löydy aikaa tai jos työntekijöiden saaminen mukaan projektiin on ollut vajavaista, ei välttämättä ole motivaatiota miettiä tai huolehtia järjestelyistä pitkälle. Projektitiimin pitäisi miettiä ja järjestää tiedonkeruu esim. niin, että lomakkeet ovat näkyvillä ja hyvin saatavilla, mutta ei kuitenkaan työnteon edessä. Niiden täyttämisen ja käyttämisen ergonomia pitäisi olla myös huomioitu. Jonkinlainen teline, joka sijaitsee keskeisellä paikalla, olisi hyvä, mutta teline ei saisi olla edessä. Siihen tulis olla asetettu kaikki tiedon kirjaamiseen tarvittavat välineet ja tiedonlähteet vaivattomasti saataville. Jos pitää kirjata kellonaikoja, telineessä olisi syytä olla synkronoitu kello ja kynä. (Pyzdek & Keller 2008, 37, 195-196)

Kuten määrittelyvaiheesta kertoessani painotin, on erittäin tärkeää, että kaikki projektiin osallistuva yksiselitteisesti ymmärtävät, mitä heidän täytyy tehdä tai tavoitella, ja myös mielellään miksi. Kerroin, että tämän asian kanssa eteeni tuli ongelmia. Vastuuhenkilöiden pitäisi mielestäni paremmin varmistaa se, että tehdään oikeita asioita, eikä aikaa tuhjata. Heidän tulisi varmistaa, että tehdään sitä, mitä pitää, eikä mitään ylimääräistä. Erityisen tärkeää tämän kaltaisessa simulointiprojektissa on onnistunut briefaus, eli projektin tavoitteen asettaminen ja rajaus, koska ne vaikuttavat merkittävästi työn määrään. Tässä tapauksessa alkuperäinen toimeksianto oli selvittää puskurin koko ja tyyppi, jotta lastausvaihetta voisi kehittää niin, että lastausmäärät (tuotantomäärät) kasvaisivat. Simuloinnin avulla saadaan varmuutta päätöksien tekemiseen, jotta varmistetaan kehitysinvestoinnin tarpeellinen vaikuttavuus. Vaikka tavoitteena on lastausvaiheen kehittäminen, niin simuloinnin tarkoitus oli siis selvittää yksinomaan puskurivaraston koko ja miten se vaikuttaa lastausmääriin (tuotantomääriin). Itse en aluksi osannut rajata simulointimallin tarkkuutta tarpeeksi tiukasti. Tein mallista liian tarkkaa ajatellen, että sillä voisi sitten tehdä muutakin kuin testata puskurivarastoa. Ajatuksenani oli, että mallilla voisi testata muita parannustoi-

menpiteitä ja mallia voisi jopa käyttää tuotannon suunnittelussa ja ennustamisessa yleensäkin. Kuitenkaan nämä eivät olleet alkuperäinen tarkoitus, enintään vain toissijaisia painoalueita, mikäli ylimääräistä aikaa jää. Ylimääräistä aikaa ei todellakaan jäänyt.

Koko projekti oli ehkä aivan liian raskaasti suoritettu. Näin paljon vaivaa seurannan ja simulaation tekemisessä, kun oikeastaan kaiken olisi voinut hoitaa ”ketterästi” kokeilemalla hetimiten paikan päällä. Jotkin ideat tulivat toki vasta kuukauden pari projektin aloittamisen jälkeen, mutta ideoita olisi voinut alussa luoda nopeammin keskustelemalla, olemalla läsnä ja tarkemmin pohtimalla prosessia. Työntekijät varmasti tiesivät, mitkä kaikki asiat hidastivat kaappien lastausta, mutta mielestäni vain pieni osa niistä tuotiin minulle esille, vaikka keskustelin paljon heidän kanssaan ja tuntui, että keskusteluyhteys oli hyvä. Jotta asiat tulisi esille, pitäisi ilmapiirin ja yrityskulttuurin olla ongelmanratkaisuun ja jatkuvaan parantamiseen kannustavia. Loppujen lopuksi esim. digitaalinen mittaus osoittautui aika arvottomaksi. Toisaalta sen avulla voidaan nyt tästä eteenpäin pienellä vaivalla tehdä uusia mittauksia ja tutkia muutoksia prosessissa.

LÄHTEET

- Banks, J., Carson II, J., Nelson, B., Nicol, D. 2005. Discrete-Event System Simulation. 4. painos. New Jersey, Yhdysvallat: Pearson Education, Inc.
- Berkun, S. 2005. Projektinhallinnan taito. The art of project management. Helsinki, Suomi: Readme.fi.
- Buthmann, A. Understanding the Uses for Mood's Median Test. saatavilla: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/hypothesis-testing/understanding-uses-moods-median-test/>, luettu 4.11.2017.
- Henkilötietolaki. 22.4.1999/523. Saatavissa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990523#L7P34>. Viitattu 19.12.2016
- Hietala, T. 2016a. Henkilökohtainen tiedonanto. Teemahaastattelu 7.12.2016
- Hietala, T. 2016b. Henkilökohtainen tiedonanto. Teemahaastattelu 21.12.2016
- Hietala, T. 2016c. Henkilökohtainen tiedonanto. Sähköpostikeskustelu 2016
- Hietala, T. 2017. Henkilökohtainen tiedonanto. Palaveri 10.2.2017
- Hitomi, K. 1996. Manufacturing Systems Engineering. A unified approach to manufacturing technology, production management and industrial economics. 2. painos. Bristol, Yhdistynyt Kuningaskunta: Taylor & Francis Inc.
- Hopp, W., Spearman, M. 2008. Factory Physics. 3. painos. Illinois, Yhdysvallat: Waveland Press, Inc.
- Järvenpää, M., Länsiluoto A., Partanen V., Pellinen J. 2013 Talousohjaus ja kustannuslaskenta. 2. painos. Helsinki, Suomi: Sanoma Pro Oy.
- Kananen, J. 2012, Kehittämistutkimus opinnäytetyönä - kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännönopas. Jyväskylä, Suomi: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Karjalainen, L. 2004. Tilastomatematiikka. 8. painos. Mikkeli, Suomi: Pii-kirjat Ky.
- Laki yksityisyyden suojasta työelämässä. 13.8.2004/759. Saatavissa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20040759#L5>. Viitattu 19.12.2016.
- Law, A., Kelton, D. 2000. Simulation Modeling and Analysis. 3. painos. Boston, Yhdysvallat: McGraw-Hill cop.
- Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät: Varianssianalyysi. saatavilla: <http://math.tkk.fi/opetus/sov-toda/oppikirja/Varanal.pdf>. Viitattu 16.2.2017.
- MOT Englannin tekniikka ja kauppa © Kielikone Oy. viitattu 21.12.2016
- Pinto, J. 2010. Project Management: Achieving Competitive Advantage. 2. painos. Boston, Yhdysvallat: Prentice Hall

- Pyzdek, T., Keller, P. 2009. The Six Sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels. 3. painos. New York, Yhdysvallat: the Mc Graw-Hill companies
- Rother, M., Shook, J. 2003. Learning to See. 3. painos. Massachusetts, Yhdysvallat: The Lean Enterprise Institute, Inc.
- Rother, M. Suom: Niemi, M. 2010. Toyota KATA. Helsinki: Readme.fi.
- Ruuska, K. 2008. Pidä projekti hallinnassa: Suunnittelu, menetelmät, vuorovaikutus. 7. painos. Helsinki, Suomi: Talentum Oyj.
- Räihä, J. 2016. Henkilökohtainen tiedoksianto. Teemahaastattelu 7.12.2016.
- Räihä, J., Rahkola V.-M. 2016. Henkilökohtainen tiedoksianto. Teemahaastattelu 8.12.2016.
- Tuotantotehokkuuden kehittäminen: Lapua ketjut: Tehokkuus paremmaksi ilman suuria rahallisia panostuksia. Promaintlehti. 20.9.2017. saatavilla: <http://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Lapua-ketjut-Tehokkuus-paremmaksi-ilman-suuria-rahallisia-panostuksia>. Viitattu 22.9.2017
- Vahlberg, T, 2017. Otoskoon arviointi. Korva-, nenä- ja kurkkutaudit – pään ja kaulan kirurgia ry. Julkaistu 2017-06-21. Saatavissa: http://www.orl.fi/wp-content/uploads/2017/06/Tilastotiede_Otoskoko.pdf. Viitattu 24.10.2017
- Womack, J., Jones, D. 1998. Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation. Lontoo, Yhdistynyt Kuningaskunta: Simon & Schuster UK Ltd.

SALATTU

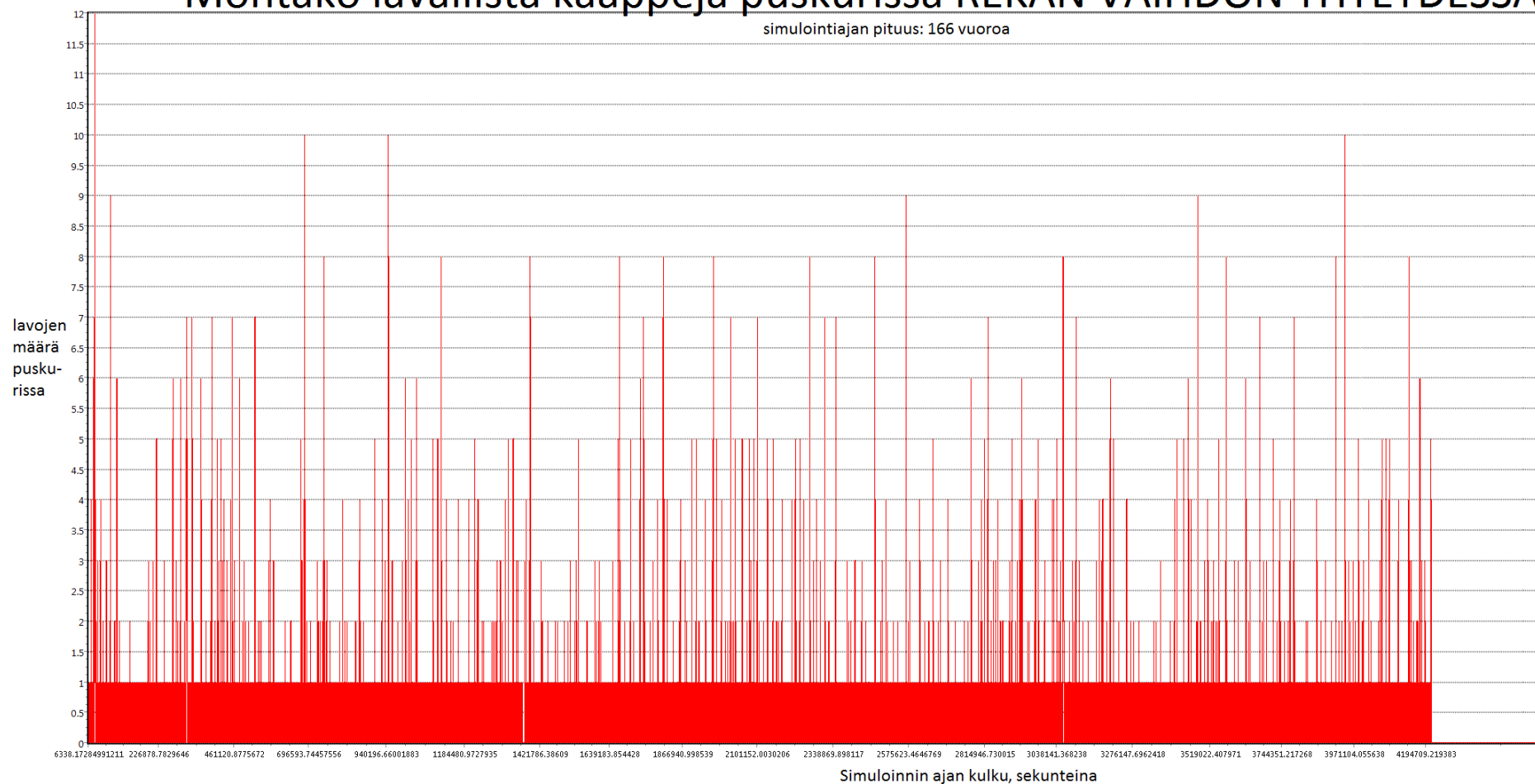
SALATTU

SALATTU

SALATTU

SALATTU

Montako lavallista kaappeja puskurissa REKAN VAIHDON YHTEYDESSÄ



SALATTU

SALATTU

| |
|---|
| OPINNÄYTETYÖPROJEKTI |
| Aikataulu |
| Opinnäytetyö |
| Aloituspalaveri |
| Valmistautumisjakso |
| Projektsuunnittelu |
| MS Project opettelu |
| Tehtävien ositus |
| Aikatauluttaminen |
| Tarkista aikataulu ja tehtävät |
| Opparin kirjoittaminen |
| Suunnittelu |
| Viitteiden keruu |
| Kirjoittaminen |
| Viimeistely/jäsentäminen |
| Kehitystutkimuksen DMAIC suoritus |
| Määrittelyvaihe |
| Määrittystutkimus |
| Käynnin suunnittelu |
| Tutustumiskäynti |
| Teemahaastattelut |
| Kamera, logger ja valo |
| Havainnointi |
| Sidosryhmävaatimusten ja CTX tunnistaminen |
| Projekti -Charterin teko |
| SIPOC teko |
| Tulosodotusten määrittäminen (CTX) |
| Tarkista aikataulu ja tehtävät |
| Käynti 2 |
| Mittausvaihe |
| Prosessin määrittäminen (logiikka) |
| Nykytilanteen määrittäminen ja CTX tekijät (prosessin tila) |
| Datan läpi käynti ja erottelu |
| Johtopäätökset/määrittäykset |
| Datakeräyssuunnitelman ja mittareiden määrittäminen |
| Mittauksen järjestely |
| Tee MSA (ja SOP eli mittaustarkoitus?) |
| Simulointikonseptin luonti |
| Simulointi inputtien (ja outputtien) mallintaminen |
| Tarkista aikataulu ja tehtävät |
| Analysointivaihe |
| VSM ja VSA, lean vs. six sigma |
| Vaihtelun lähteiden tunnistaminen ja kategorisointi |
| Prosessin kyvykkyyden määrittäminen, focusoidaan (parannusmahdollisuudet) |
| Simulointimallin luonti |
| Simulointimallin testaaminen |
| Vaihtelun lähteiden (EDA) priorisointi (testit, regressio), vaikutukset Y:hyn (focus) EDA=tutkitaan seurauksesta syyhyn |
| Suorituskykytavoitteiden asettaminen ja varmistaminen testeillä |
| Tarkista tulosodotukset/ syy-seurasuhteet |
| Tarkista aikataulu ja tehtävät |
| Kehitysvaihe |
| Harvot potentiaaliset syyt kehityskohteessa |
| Kirjaa (hallittavat) muuttujat, vaikutukset toisiinsa, muuttujien tasot, |
| Simulointi DOE |
| Simulointien valmistelu ja suorittaminen |
| Tarkista tulosodotukset/ syy-seurasuhteet |
| Tee käyttöönottoesitys |
| Tarkista aikataulu ja tehtävät |
| Ohjausvaihe |
| Define and validate measurement system Xs (inputs) |
| Determine process capability |
| Implement process control |
| Review deliverables |
| Obtain process owner signoff |
| Tarkista aikataulu ja tehtävät |
| DMAIC Projekti valmis |
| Opinnäytetyö valmis |

