Tampereen ammattikorkeakoulu

Alikokoonpanon läpimenoaika ja suorituskyky

Topias Tolonen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka

TOLONEN, TOPIAS:
Alikokoonpanon läpimenoaika ja suorituskyky

Opinnäytetyö 41 sivua
Toukokuu 2023

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä suomalaisen teknologiateollisuudessa toimivan raskasta kalustoa valmistavan yrityksen kanssa. Opinnäytetyössä selvitettiin ja kartoitettiin alikokoonpanon läpimenoaikaan vaikuttavat tekijät sekä määritettiin sille suorituskyky. Läpimenoaikaa halutaan lyhentää kyseisen laitemallin toimitusvarmuuden parantamiseksi. Suorituskyvyn mittaamisella varmistetaan tuotannon kyky vastata asiakkaan tarpeisiin riittävällä tasolla.

Alikokonpanon tuotannon työntekijöitä haastateltiin nykytilan kartoittamiseksi. Päivittäisestä prosessista havaittiin hukkaa, joiden juurisyitä saatiin selville tutkimalla prosessia. Kehitysehdotusten vaikuttavuudesta ja toteutuskelpoisuudesta tehtiin arviot. Vanhojen töiden jaksonaikojen dataa tutkittiin suorituskyvyn määrittämiseksi.

Työn tuloksena saatiin alikokoonpanon modulointien kehittämisen lisäksi uusia esivarusteltuja kokoonpanoja, joita pystytään valmistamaan ennen varsinaista kokoonpanoa, vähentäen kokoonpanoon tarvittavaa efektiivistä työaikaa. Kartoitettujen moduulien lisäksi osa esivarustelluista kokoonpanoista pystyttiin pilotoimaan. Saatujen tulosten myötä voidaan todeta niiden lyhentävän alikokoonpanon läpimenoaikaa.

Laitteen loppukokoonpanon lisäksi alikokoonpanojen suorituskyvyn ja lattia-ajan seuranta laajentuu kohdeyrityksen tuotannon työkaluksi kyseisen laitemallin kohdalla. Opinnäytetyön myötä suorituskyvyn seurannan laajentaminen nähtiin tarpeelliseksi myös muiden laitemallien alikokoonpanojen kohdalla. Tuotannon suunnittelussa tulee paremmin huomioida myös alikokoonpanojen varaama aika tuotantotiloissa.

Kohdeyrityksen pyynnöstä luottamuksellinen materiaali on poistettu opinnäytetyöstä, joten kriittiset yrityksen toimialaan liittyvät tekijät ja liitteet on poistettu julkisesta versiosta.

Asiasanat: läpimenoaika, suorituskyky, lean-ajattelu

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

TOLONEN, TOPIAS:
Sub-assembly Lead Time and Process Capability

Bachelor's thesis 41 pages
May 2023

The subject of the thesis was to identify and map out the factors affecting the lead time of the sub-assembly and to determine its process capability. The aim was to reduce the lead time in order to improve the reliability of delivery of the final product. This thesis was made in cooperation with technology industry company producing heavy equipment in Finland.

This thesis describes a project that gathered cycle time data from previous statistics and staff interviews. The data was then analysed by qualitative and quantitative methods. Furthermore, the thesis describes in brief the main methods and theories involved in production engineering.

As a result of this project, new preassemblies were created while developing modularisation strategies in subassemblies. Some of the preassemblies were piloted and the results obtained show that they considerably reduce the lead time of the sub-assembly. These findings indicate that process capability tracking can be applied to the assembly of other products.

At the request of the commissioning company, all confidential material including critical elements related to the company's business sector have been removed from the public version.

Key words: leadtime, process capability, lean thinking

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6
2 TEORIA 8
2.1 Lean ja sen työkalut 8
2.1.1 Arvovirtakaavio 9
2.1.2 Virtaustehokkuus 10
2.1.3 Jatkuva parantaminen 12
2.1.4 5S 13
2.1.5 Kanban 14
2.1.6 Standardize work 14
2.2 Six Sigma 15
2.2.1 DMAIC 16
2.2.2 Ohjauskortti 20
2.2.3 Vaihtelu ja sen vähentäminen 21
2.2.4 Suorituskyky 22
2.3 Läpimenoajan määritelmät 23
3 NYKYTILAN KARTOITTAMINEN 26
3.1 Tutkimusongelman asettelu ja taustat 26
3.2 Nykyiset toimintatavat 27
3.2.1 Käytössä olevat Lean työkalut 28
3.2.2 Työn mittaaminen 29
3.3 Suorituskyvyn laskeminen 30
4 TYÖN TOTEUTUS 34
4.1 Kehityskohteiden kartoittaminen 34
4.1.1 Hukka 34
4.1.2 Kokoonpanon pilkkominen 35
4.2 Parannuskohteiden pilotointi 36
4.3 Palautteet ja seuranta 36
4.4 Tulokset 37
5 POHDINTA 39
LÄHTEET 41

LYHENTEET JA TERMIT

COPQ	Cost of Poor Quality, huonon laadun kustannukset
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve & Control, ongelmanratkaisumenetelmä
DOE	Design of Experiments, koesuunnittelu
ERP	Enterprise Resource Planning, eli toiminnanohjausjärjestelmä
JIT	Just In Time, tuotannon ohjausstrategia
LSL	Lower Spesification Limit, alempi spesifikaatioraja
MES	Manufacturing Execution System, tuotannon toteutusjärjestelmä
NVA	Non Value Added, asiakkaalle arvoa lisäämätön toiminto
PDCA	Plan, Do, Check & Act, jatkuvan parantamisen sykli
PPM	Parts Per Million, virheiden määrän vertaaminen miljoonaan mahdollisuuteen
SPC	Statistical Process Control, tilastollinen prosessinohjaus
USL	Upper Spesification Limit, ylempi spesifikaatioraja
VA	Value Added, asiakkaalle arvoa lisäävä toiminto
VMS	Value Stream Mapping, arvovirtakartta

1 JOHDANTO

Teknologiateollisuuden kovan kilpailun johdosta yritykset käyttävät jatkuvan parantamisen menetelmiä kilpailukykynsä ylläpitämiseksi. Laitteiden osien ja kokoonpanojen laadulliset vaihtelut voivat aiheuttaa toimituksen myöhästymisen, joka aiheuttaa yritykselle taloudellista haittaa. Kokonaisuuden lisäksi on hyvä tarkastella yksittäisen moduulin läpimenoaikaa ja sen vaihtelua, sillä myöhässä oleva moduuli aiheuttaa hukkaa, kuten odottamista ja ylimääräisiä työvaiheita.

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Suomessa toimivan raskaita työkoneita valmistavan teknologiateollisuuden yrityksen kanssa. Työ keskittyy yhden laitteen moduulin läpimenoajan ja ennustettavuuden parantamiseen. Lopputuote on suhteellisen uusi laitevalikoimassa ja sen yksittäisen moduulin läpimenon lyhentämiseen ei ole priorisoitu erillistä projektia. Laitteiden moduulien suorituskykyä ei ole mitattu ja tämä työ voi toimia esimerkkinä muille moduuleille.

Työssä tutustutaan Leanin ja Six Sigman periaatteisiin, joita käytetään hyvin yleisesti teollisuudessa. Lean Six Sigma on yhdistelmä kahdesta vanhasta visiosta tehdä täydellisiä tuotteita ja palveluita. Molempien tavoite on saada vaihtelua ja hukkaa pienemmäksi, jotta voidaan taata asiakastyytyväisyys ja menestyksekäs liiketoiminta. Leanin perusarvona on aika ja sen suorituskyky, jolloin tavoitteena on saada lyhyt jaksonaika ja toimitusvarmuus. Prosessia parannetaan poistamalla asiat, jotka eivät lisää arvoa tuotteelle. Six Sigma pyrkii tilastolliseen nollavirheeseen tarkastelemalla prosessin ominaisuuksia ja niiden suorituskykyä. Näiden kahden ideologian välillä on kuitenkin ollut ristiriita tuottavuuden ja tehokkuuden välillä. Ristiriita saadaan purettua yhdistämällä Lean ja Six Sigma. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 48–49.) Tämän lisäksi tutkitaan tuotannon läpimenoajan ja suorituskyvyn vaikutusta tuotantoon ja tuotannon suunnitteluun.

Tavoitteena on alikokoonpanon läpimenoajan lyhentäminen ja sen suorituskyvyn selvittäminen. Läpimenoajan lyhentämisellä saadaan rahallisen säästön lisäksi parempaa toimitusvarmuutta. Näiden lisäksi vaihteluiden tunnistamisella pystytään karsimaan hukkaa aiheuttavat tekijät, jolloin voidaan parantaa koko tuotantoprosessin ennustettavuutta.

Alikokoonpanon suorituskykyä arvioidaan kvantitatiivisesti menneiden jaksonaikojen perusteella. Prosessin nykytilasta tehdään kvalitatiivinen kartoitus haastattelemalla työntekijöitä ja pohditaan nykytilan ongelmien juurisyitä. Kehityskohteiden vaikuttavuus ja toteutuskelpoisuus arvioidaan, sekä suoritetaan pilotointi tuotannossa. Jaksonaikaa lyhennetään poistamalla hukkaa Leanin työkaluilla ja hyödyntämällä modulointia.

2 TEORIA

2.1 Lean ja sen työkalut

Lean valmistusfilosofia on johdettu enimmäkseen Toyotan tuotantojärjestelmästä. Se tarkoittaa, että tuotteiden valmistamiseen käytetään vähemmän hukkaa, tuotantotilaa, työkaluja, epämiellyttävää työtä ja saadaan nopeampi suunnittelun läpimenoaika verrattuna normaaliin massatuotantoon. Leanissa keskitytään seitsemän hukan poistamiseen. (Wang 2011, 1–2.) Alkuperäiset Toyotan seitsemän hukkaa ovat:

1. **Ylituotanto:** Tuotteiden valmistaminen ennen varsinaista tarvetta.
2. **Liiallinen varasto:** Virheellisten tuotteiden piiloutuminen varastoon, vikojen havaitsemisen vasteaika pidentyy ja vikojen alkuperän selvittäminen vaikeutuu.
3. **Odottaminen:** Turha odottelu työvaiheiden välillä pidentää läpimenoaikaa. Tämä johtuu tavallisesti materiaalien ja informaation huonosta virtauksesta.
4. **Siirtely:** Ylimääräinen siirtely ei lisää tuotteen arvoa ja kasvattaa tuotteiden vaurioitumisen riskiä.
5. **Ylimääräinen liike:** Työntekijöiden ja koneiden tarpeeton siirtely voi aiheuttaa tuotteiden vaurioitumista, työntekijöiden väsymystä ja turvallisuusongelmia.
6. **Ylikäsittely:** Kalliiden resurssien ylimääräinen käyttäminen tuotteen arvoa nostamatta.
7. **Virheet:** Laadulliset virheet aiheuttavat lisää työtä tai hävittämiseen liittyviä kustannuksia, kuten varaston uudelleentarkistaminen, uudelleenkäsittely ja kapasiteetin menettäminen. (Wang 2011, 1–2.)

Prosessia pitää tarkastella asiakkaan näkökulmasta, jotta tunnistamme prosessin hukan. Asiakas päättää, onko prosessin tuloksena syntynyt tuote tai palvelu hintansa arvoinen. Läpimenoajan lyhentäminen ei ole missään prosessin vaiheessa järkevää, mikäli se vähentää asiakkaalle tuotettua arvoa. Tämä pätee riippumatta siitä, tavoitellaanko prosessin parantamista sisäisen vai ulkoisen hyödyn vuoksi.

Mikäli tuotteen tai palvelun arvoa asiakkaalle vähennetään paremman sisäisen liiketoiminnan vuoksi, voi yrityksen liiketoiminta vaarantua. Jos jossain prosessin vaiheessa ei tehdä mitään tuotteen arvon lisäämiseksi asiakkaalle, niin sitä vaihetta voidaan lyhentää tai se voidaan kokonaan poistaa prosessin toimitusajan lyhentämiseksi. (Bradley 2015, 38.)

Lean-prosessivaiheiden alapuolelle voidaan merkitä arvoa tuottava (Value Added) ja arvoa tuottamaton aika (Non Value Added). Sitä kuvataan siksak-viivalla, jossa arvoa lisäämätön työaika merkitään viivan huipulle ja arvoa lisäävä työaika merkitään viivan syvänteisiin. Samalla tasolla olevat työajat voidaan laskea yhteen, jolloin saadaan prosessin arvoa tuottavan ja tuottamattoman työajan määrä. Näistä luvuista voidaan laskea prosenttiosuus kokonaisläpimenoajasta, jolloin tuloksena saadaan arvonlisäysaste. Monien prosessien arvonlisäysaste on yhden prosentin luokkaa ennen Lean-järjestelmän käyttöönottoa. On siis tärkeä kartoittaa, analysoida ja parantaa prosessia tai sen vaiheita, jotka eivät vaikuta tuotteen tai palvelun haluttavuuteen asiakkaan kannalta. (Bradley 2015, 38–39.)

Hukkaa ei synny ainoastaan silloin, kun tuotteet ja asiakkaat odottavat prosessivaiheiden välissä, mutta sitä muodostuu myös prosessoinnin sisällä. On yleinen harhaluulo, että kaikki prosessivaiheen toiminnot ovat VA-aikaa. Tuotteen valmistusprosessissa työvaiheen sisällä voi esiintyä NVA-aikaa, kuten asetusaika ennen työstöä. Näiden aikojen tarkempaa analysointia varten luodaan arvovirtakaavio, jonka avulla tunnistetaan prosessin vaiheet, jotka eivät tuota asiakkaalle lisäarvoa. (Bradley 2015, 40–41.)

2.1.1 Arvovirtakaavio

Arvovirtakaavio eli VMS (Value Stream Mapping) on graafinen työkalu, jossa näytetään materiaalien ja tiedon kulku prosessissa. Tuotantoympäristöstä valitaan kartoitettava tuote tai keskeinen osakokoonpano, jolla on merkittäviä kustannuksia. Arvovirtakaavion kartta antaa kuvan prosessista tiettynä ajankohtana, jolloin se perustuu todelliseen tilanteeseen tietokannasta haetun sijaan. Arvovirtakartoituksessa havainnoidaan matka raaka-aineesta valmiiseen tuotteeseen

asiakkaalle, mukaan lukien kaikki VA- ja NVA-prosessit. Arvovirtakartoitusta suositellaan ensimmäiseksi työkaluksi kustannusten vähentämisessä, mikäli laatutaso on hyvä ja se täyttää asiakasvaatimukset. (Lane 2007, 97.)

Tämä työkalu tuo esiin monia parannusehdotuksia, joista merkittävin on läpimenoajan lyhentäminen, koska läpimenoajat vaikuttavat eniten kustannuksiin ja oikea-aikaiseen toimitukseen. Arvovirran varrella olevien eri varastojen kustannukset otetaan myös huomion, jotta varmistetaan taloudellisia säästöjä tuottava polku. Kartan avulla voidaan myös havainnollistaa, missä suurinta osaa varastosta säilytetään. (Lane 2007, 98–99.)

Arvovirtakartoitus on alun perin tarkoitettu suuren ja keskisuuren volyymin tuotantoihin, vaikka sitä voidaan myös soveltaa pienen volyymin tuotannossa. Seuraavia strategioita suositellaan pienen volyymin tuotannoissa: Jaottelu arvovirta tuoteperheisiin, jotka kulkevat samanlaisten käsittelyvaiheiden tai yhteisen koneen läpi. Perustason kartoituksen toteuttaminen ja kohdentaminen joihinkin suuremman volyymin osiin. Keskittyminen parhaiten myyviin tuotteisiin. Erillisten karttojen laatiminen kriittisille komponenteille tai osakokoonpanoille. (Lane 2007, 99–100.)

2.1.2 Virtaustehokkuus

Keskeneräisen tuotteen jalostus kohti lopputuotetta on arvon siirtymistä. Jalostusta vaativaa tuotetta kutsutaan virtausyksiköksi, joka voi olla materiaalia, tietoa tai ihmisiä. Prosessia pitää tarkastella virtausyksikön näkökulmasta, jotta ymmärretään prosessin todellinen virtaustehokkuus. Toiminnan näkökulmasta prosessi voi näyttää tehokkaalta, mutta virtausyksikkö voi joutua odottamaan pitkiäkin aikoja pääsyä jatkokäsittelyyn. Läpimenoajan ja arvoa tuottavan ajan suhdetta kutsutaan virtaustehokkuudeksi. Tämä kattaa resurssin ja virtausyksikön välillä siirtyvän arvon tiheyden, joka ei tarkoita arvon siirtymisen nopeuttamista. Arvoa tuottamattomien toimintojen karsimisella maksimoidaan arvon siirtymisen tiheys, jolloin hukkien poistamisen takia tehokkuuden suhdeluku kasvaa ja kokonaisläpimenoaika pienenee. (Modig & Åhlström 2016 17–30.)

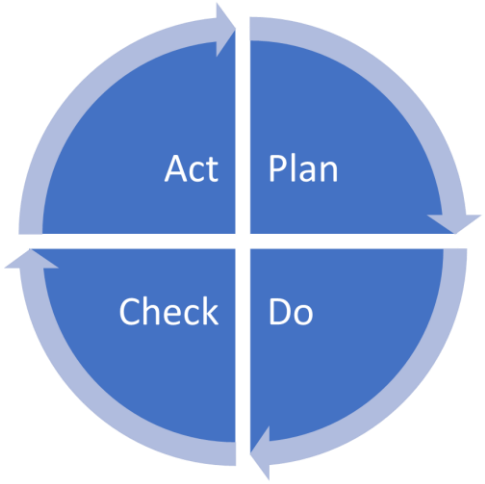
Hyvän virtaustehokkuuden ylläpitämiseksi tulee varmistaa, että jokin resurssi siirtää aina arvoa virtausyksikköön, näin pitäen yllä virtausta. Tämän vuoksi virtaustehokkuuden ja resurssitehokkuuden välillä on riippuvuussuhde. Hyvässä virtaustehokkuudessa arvoa tuottava osuus on pitkä verrattuna kokonaisläpimenoaikaan ja hyvässä resurssitehokkuudessa resurssit antavat mahdollisimman paljon arvoa tiettynä aikana. Hyvän virtauksen ylläpitämiseksi on siis tärkeää huolehtia, että resurssilla on aina virtausyksikkö jalostettavana. (Modig & Åhlström 2016, 20–21.)

Suurten materiaalivirtojen varmistaminen ilman ylimääräisiä keskeneräisiä töitä vaatii tuottavuuden parantamista. JIT (Just In Time) -systeemi tarvitsee monipuolista osaamista työntekijöiltä, jotta materiaalivirtaa kyetään ylläpitämään ilman yksittäisen koneen kuorman lisäämistä. Tämä lisää joustavuutta luonnostaan jäykkään prosessiin, jossa on tarve vastata tuotannon äkillisiin poikkeustilanteisiin. Työntekijöiden ristiin koulutuksen lisäksi osaamista voidaan ylläpitää työtehtäviä kierrättämällä. Tämä pitää taidot tuoreena, vähentää työhön kyllästymistä, lisää työntekijän arvostusta muiden työtehtäviin ja mahdollistaa uusien ideoiden syntymisen prosessin parantamiseen. (Hopp & Spearman 2010, 163–164.)

Jatkuvan virtauksen tuotanto pakottaa käyttämään puskurivarastoja, jotta virtausyksiköiden loppuminen ei aiheuttaisi resurssille tuotannon katkosta. Varastopuskurit ja vaiheiden väliset aikavälit suojaavat loppupään prosesseja alkupään prosesseilta. Varastopuskureilla minimoidaan toimittajan toimitusongelmien vaikutusta tuotantoon. Lean-filosofiassa varaston tasoja on kuitenkin alennettava mahdollisimman pieniksi. Virtaavassa tuotannossa prosessi pysähtyy herkästi ongelman ilmestyessä. Tämä motivoi kaikkia asianomaisia korjaamaan ongelmaa, jotta virtaus saadaan jatkumaan. Varastopuskureiden pienentäminen tuo materiaalien ongelmat helpommin esiin, jolloin vastatoimiin ryhdytään aikaisemmin. (Liker 2020.)

2.1.3 Jatkuva parantaminen

Kaizen on Lean-järjestelmässä vakiintunut menetelmä, joka tarkoittaa japaniksi jatkuvaa parantamista. Menetelmällä parannetaan jatkuvasti laatua, teknologiaa, prosesseja, yrityskulttuuria, tuottavuutta, turvallisuutta ja johtamista. Kaizen on intensiivinen ja kohdennettu lähestymistapa prosessin parantamiseen, sillä tulokset ovat reaaliaikaisia ja toteutuksen on tarkoitus tapahtua viikon kuluessa. Työkaluina toimivat Lean-valmistuksen työkalut kuten työpisteen organisoinnin ja standardisoinnin 5S-työkalut, soluperiaate, Kanban-järjestelmä, asetusajan vähentäminen ja työkuorman tasoittaminen. Kaizen-menetelmä edellyttää loputonta parannuspyrkimystä, johon osallistuvat kaikki organisaatiossa työskentelevät johtajista työntekijöihin. Yritykselle Kaizen tarjoaa välittömiä ja konkreettisia tuloksia, motivaatiota ja itseään ylläpitävää jatkuvaa parantamista. (Wang 2011, 7.)



KUVIO 1. Demingin-sykli (Lean Enterprise Institute n.d, muokattu)

PDCA (Plan, Do, Check, Act) on parannussykli, joka perustuu tieteelliseen menetelmään, jossa ehdotetaan muutosta prosessiin, toteutetaan muutos, mitataan tulokset ja tehdään tarvittavat muutokset. Tämä myös Demingin-syklinä tunnettu menetelmä toimii Kaizenin perustana (kuvio 1). Tässä syklissä asetetaan tavoitteet vakaata suorituskyvyn perustasoa vasten. Toteutetaan parannuksia tavoitteiden saavuttamiseksi. Mitataan ja arvioidaan suorituskykyä suhteessa tavoitteeseen. Lopuksi tehdään muutoksia tai todetaan mitattavissa olevan parannuksen saavutetuksi ja standardoidaan uusi menetelmä vakaan parannuksen varmistamiseksi. (Lean Enterprise Institute n.d.)

2.1.4 5S

Materiaalien ja työkalujen etsimiseen kulutettu aika ei yleensä tuota lisäarvoa asiakkaalle. Työpaikan organisointiin ja ylläpitoon käytetään 5S-menetelmää, jolla työpiste pidetään järjestyksessä. 5S toteutetaan järjestyksessä: lajittele (Sort), suorista (Straighten), kiillota (Shine), standardoi (Standardize) ja ylläpidä (sustain). Menetelmä tulee ottaa käyttöön, mikäli tunnistetaan epäjärjestyksen vuoksi menetettyä aikaa tuotantotyössä, asetuksissa, kunnossapidossa tai tavanomaisessa toimistotyössä. (Lane 2007, 134–135.)

Lajittele

Ensimmäisessä vaiheessa tarpeettomat asiat poistetaan työpisteeltä. Tarpeettomiksi todetut kohteet merkitään, jolloin kaikki näkevät selvästi poistettavat kohteet. Tällöin tiimistä voidaan todeta poistettavan kohteen olevan tarpeellinen ja merkintä poistetaan. (Lane 2007, 134–135.)

Suorista

Jäljelle jääneille tarvittaville asioille merkitään omat paikat, jossa niitä säilytetään. Jokainen tiimin jäsen tietää tavaroiden oikeat paikat ja tarvittavan esineen löytäminen on helppoa. Merkinnässä voidaan hyödyntää värikoodausta, jolloin saman kategorian asiat löytyvät halutusta paikasta. Työkaluseinissä voidaan käyttää varjotaulua, jossa jokaisen esineen ääriviivat piirretään taululle. (Lane 2007, 134–135.)

Kiillota

Otetaan käyttöön päivittäiset siivousrutiinit ja määritetään puhdistettavat kohteet. Siivoukseen tarvittavat välineet hankitaan ja laaditaan seurantakaavio, jossa vastuut on merkitty selvästi (Lane 2007, 134–135).

Standardoi

Tahratonta työpaikkaa pidetään yllä ja tiimiä muistutetaan turhista esineistä, liasta ja tavaroiden palauttamisesta oikeille paikoille (Lane 2007, 134–135).

Ylläpidä

Viimeisessä vaiheessa otetaan visuaalinen valvonta käyttöön. Puhtauden ylläpitämiseksi työpistettä tarkastetaan listan avulla, johon kuuluu pisteytysjärjestelmä. Ongelmat voidaan huomata yhdellä silmäyksellä katsomalla tarkastuksen tulospisteitä ja tilannetta voidaan verrata aikaisempiin tuloksiin. (Lane 2007, 134–135)

2.1.5 Kanban

Kanban on signaalijärjestelmä, joka ilmoittaa tietyn tuotteen tarpeesta. Perinteisesti järjestelmässä käytetään kortteja, mutta myös muita apuvälineitä, kuten Kanban-ruutuja tai -palloja. Tyhjää ruutua tai kuljetusvaunua voidaan käyttää käynnistämään kappaleiden siirto, tuotanto tai toimitus tehtaassa. Kanban ohjaa resurssien virtausta tuotantoprosessissa korvaamalla uuden resurssin kulutetun tilalle. Tämä aikatauluttaa tuotantoa prosessin sisäisen kysynnän mukaan ennusteiden sijaan, kuitenkin asiakastilauksiin perustuvien tuotantoaikataulujen mukaisesti. Kanbanin käyttöönotto poistaa hukkaa tuotteiden käsittelystä ja varastoinnista sekä asiakkaalle toimittamisesta. (Wang 2011, 7.)

2.1.6 Standardize work

Standardoidulla työllä tarkoitetaan tällä hetkellä tehokkainta ja vaikuttavinta ihmisen, materiaalin ja laitteiden yhdistelmää työn suorittamiseksi. Tämä viittaa nykyhetken parasta tunnettua tapaa, jota voidaan kuitenkin vielä parantaa. (Liker 2020.) Jokaisella työntekijällä on vaikutusta työn lopputulokseen, mikäli työ tehdään joka kerralla eri tavalla. Tämä vaikuttaa tuotteen laatuun ja prosessin vaihteluun. Siksi onkin tärkeää luoda standardisoitu työtapa, jotta työ tehdään oikein ja mahdollisimman tehokkaasti joka kerta. Työtapaan tehtyjen parannusten tulee vakiintua, jotta jokainen työntekijä käyttää samaa työtapaa. (Lane 2007, 74–77 135–137.)

Tuotannossa on hyvä olla yleisiä ohjeita, jotka koskettavat kaikkia työntekijöitä. Kuitenkin informaation määrän vähentämiseksi tulee panostaa työntekijöiden perehdyttämiseen, jossa työtapa vakiinnutetaan hyvin yleisellä tasolla. Erilaiset

tuotteet ja tuoteperheet on hyvä tunnistaa ja ryhmitellä sekä luoda niille omat työtavat, jotta ohjeet työn tekemiselle olisivat tarpeeksi tarkat. Tämä on hyvin tyypillisesti työvaiheelle kohdistettu työohje, jossa määritellään tapa valmistaa tuote mahdollisimman laadukkaasti ja turvallisesti. Työohjeessa voidaan mainita tyypilliset laadulliset virheet niiden välttämiseksi, esimerkiksi kuvat oikeasta ja väärästä lopputuloksesta, jotta virheiden toteaminen olisi mahdollisimman visuaalista ja selkeää. Tämän lisäksi on hyvä osoittaa tärkeimpiä mitoituksia, turvallisuushuomioita ja tyypillinen työhön kuluva aika. Läpinäkyvä oletettu työhön kuluva aika mahdollistaa työntekijöiltä tulevan impulssin työmenetelmien parantamiselle, mikäli huomataan työhön kuluvan ajan olevan jatkuvasti oletettua pitempi. Työjärjestys voidaan vakiinnuttaa, jotta varmistetaan kriittisten vaiheiden suorittaminen oikeassa järjestyksessä ja vältetään esimerkiksi yksittäisen työvaiheen unohtuminen. (Lane 2007, 74–77, 135–137.)

2.2 Six Sigma

Six Sigman tavoitteena on tuottaa tuotteita ja palveluita paremmin, nopeammin ja kustannustehokkaammin, keskittyen asiakasvaatimuksiin, virheiden ehkäisyyn ja läpimenoajan lyhentämiseen. Tämän filosofian avulla siis tunnistetaan ja poistetaan asiakkaalle lisäarvoa tuottamattomat laadulliset kustannukset erilaisilla tilastollisilla menetelmillä. Six Sigman vaatimustasolla toimiva prosessi tuottaa noin kolme kertaa miljoonasta virheellisen tuotteen. Virheiden määrän vertaaminen miljoonaan mahdollisuuteen eli PPM (Parts Per Million) kuvastaa Six Sigman pyrkimystä virheettömään prosessiin. Tasot ovat esitettynä taulukossa 1, jossa esitetään sigmatason virheiden määrän lisäksi onnistumisprosentti. Sigmatasojen laskiessa virheiden määrä nousee eksponentiaalisesti, jolloin sigmatasojen välillä voi olla miljoonien eurojen arvosta laatukustannuksia tai paremmin sanottuna kustannuksia huonosta laadusta eli COPQ (Cost Of Poor Quality). Sigma on pohjimmiltaan prosessien laatutavoite, jossa sigma on prosessin vaihtelun tilastollinen mitta. (Pyzdek & Keller 2014, 3–5, 8.)

TAULUKKO 1. Sigmatasojen taulukko (Piirainen 2014, 39, muokattu)

Sigmataso	Prosenttia rajojen sisällä	PPM
6	99,9997 %	3,4
5	99,98 %	233
4	99,4 %	6210
3	93,3 %	66807
2	69,1 %	308537
1	30,9 %	691462

Prosessin tärkeää osa-aluetta havainnoidaan ja havaintojen perusteella tehdään ilmiön selittävä hypoteesi, jonka perusteella tehdään ennustus, joka vaikuttaa prosessiin toivotulla tavalla. Six Sigman filosofian takana on periaate, jossa on pyrkimys todistaa hypoteesi, jolloin ennustetta testataan tekemällä kokeita ja lisää havaintoja. Vaihtelun kohinasta erotellaan signaalit tilastollisilla menetelmillä, jolloin erityissyyt paljastuvat. (Pyzdek & Keller 2014, 6–7)

2.2.1 DMAIC

Six Sigma projekteissa käytetään DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) ongelmanratkaisumenetelmää tietojen hankkimiseen ja keräämiseen. Tämä toimii käänteisenä menetelmänä perinteiselle ongelmanratkaisulle, sillä faktan sijaan etsitään menetelmää tai ideaa ratkaisun saavuttamiseksi. DMAIC rytmittää työkalut osakokonaisuuksiksi, jotta niitä käytetään oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Prosessin ulostulot ovat riippuvaisia sisälle menevistä tekijöistä ja siksi on keskeistä löytää merkittävimmät lopputulokseen vaikuttavat tekijät tai niiden yhdistelmät. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 216–219.) Seuraavaksi avataan DMAIC- lyhenteen termit ja niiden tehtävät ongelmanratkaisuprosessissa.

Määritä (Define)

Määritelmävaiheessa luodaan perusta, joka toimii ohjaavana tekijänä syklin edetessä. Tässä osuudessa määritetään projektin laajuus, tehtävät, tavoitteet, riskit, aikataulu, ryhmän jäsenet ja sidosryhmät. Määritelmässä tulee selkeästi esiin käsiteltävä ongelma ja sen vaikutukset. (Zhan & Ding 2016, 57–59). Nykyiseen prosessiin ja asiakastarpeisiin perehdytään, jotta saadaan selkeä kuva

parannettavasta kohteesta ja tavoitetilasta. Tämän päämäärän mukaan luodaan mittarit, joiden avulla seurataan projektin edistymistä. Kirjalliset tavoitteet auttavat projektin ohjaamista oikeaan suuntaan sekä ne toimivat vertailukohtana projektin onnistumisen tai etenemisen arvioinnissa. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 227, 236). Määrittelyvaiheessa tarkasteltavasta kohteesta voidaan havaita useita ongelmia. Tällöin voidaan jaotella ongelmat erillisiksi osiksi, joille luodaan omat ongelman- ja tavoiteasetukset tai niille perustetaan omat projektit. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 242.)

Mittaa (Measure)

Mittausvaiheen tarkoituksena on kerätä tietoa kehitettävän prosessin tilan määrittämiseksi. Dataa käsitellään ja analysoidaan seuraavassa vaiheessa. Ennen mittausvaihetta on laadittava suunnitelma tiedonkeruusta ja määritettävä otantamenetelmä. (Zhan & Ding 2016, 60.) Tavoitteena on saada tietoa prosessista ja siihen vaikuttavista tekijöistä, jotta ymmärretään kuinka prosessi toimii ja kuinka hyvin se toimii. Tämän lisäksi mittausvaiheen tehtävänä on selvittää mittauksen kyky mitata prosessin ulostulon muutoksia, jotta voidaan arvioida prosessin muutoksen olevan parannus. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 244–245)

Teolliset prosessit voivat olla todella monimutkaisia tarkasteltavan ongelman suhteen, joten prosessinkuvaus voi olla liian laaja ensimmäiseksi työkaluksi. Aivoriihimenettelyn avulla voidaan tuottaa ideoita suurella volyymilla tehokkaalla ajankäytöllä. Menettelyn aikana kaikki ideat kirjataan muistiin ilman kritiikkiä ja ideat arvioidaan vasta lopuksi. Seuraava looginen vaihe on syy ja seuraus eli muodostetaan kalanruoto diagrammi (Ishikawa). Tämä graafinen työkalu generoi, tunnistaa ja organisoi ulostuloon vaikuttavat tekijät helposti esitettävään ja analysoitavaan muotoon. Prosessin ulostulo on syiden seuraus, jolloin tämä asetetaan ruodon päähän. Keskellä olevasta selkäruodosta haarautuu pieniä ruotoja, joihin kirjoitetaan seuraukseen johtaneita syitä. Ruodot jaetaan usein neljän M:n kategorioihin, joita ovat materiaalit (Materials), koneet (Machines), ihmiset (Man) ja menetelmät (Methods). Näiden neljän M:n lisäksi voidaan käyttää myös ympäristöä (Mother nature) ja Mittausta (Measurement) kategorioina. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 255–256.)

Ongelmia voidaan priorisoida XY-matriisilla, johon sijoitetaan ideat tai löydetyt tekijät ja ulostulot. Näille ulostuloille määritetään painoarvot asiakkaan näkökulmasta ja arvioidaan muuttujien vaikutusta lopputulokseen. Näin matriisin ideoiden prioriteetti saadaan selville ja ideat voidaan laittaa tärkeysjärjestykseen. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 260–261.)

Analysoi (Analyze)

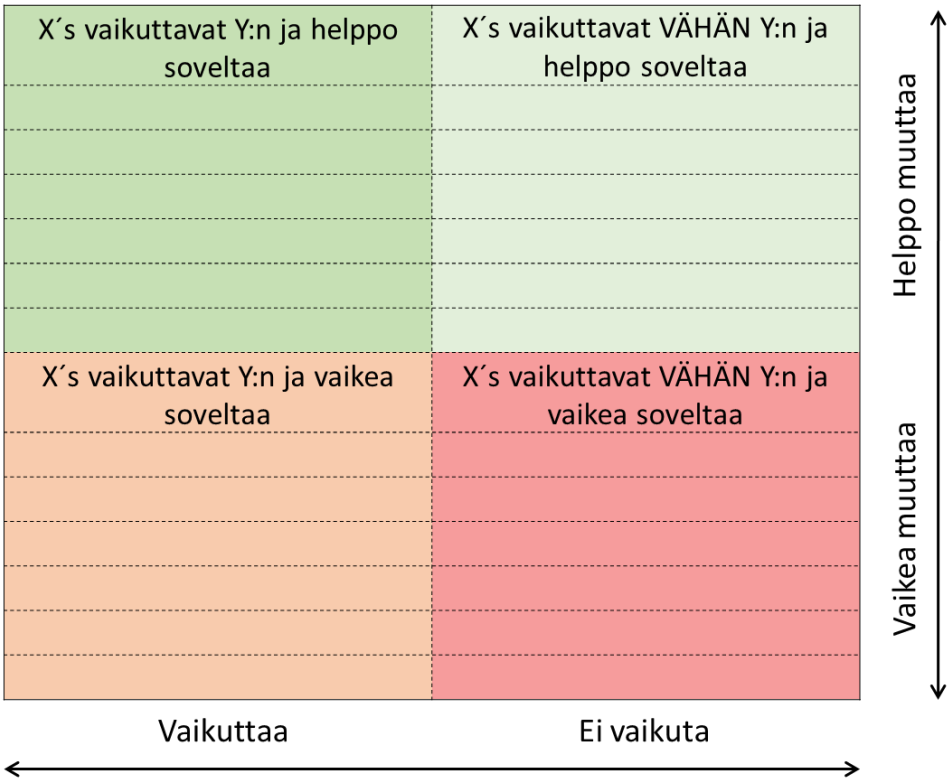
Tässä vaiheessa testataan hypoteesia haastamalla se mittausvaiheessa saaduilla tiedoilla ja tunnistetaan ongelman perimmäiset aiheuttajat. Vaiheen lopussa hypoteesi validoidaan tai palataan mittausvaiheeseen keräämään puuttuvaa tietoa. (Zhan & Ding 2016, 60–63.) Keskeisimpien juurisyiden löytämiseksi ongelmanasettelua voidaan tarkentaa edelleen analysointivaiheessa, jotta analyysi olisi mahdollisimman tehokas prosessin ulostulon parannuksen aiheuttavien muutosten ideoimiseksi. Tavoitteena on löytää muutokset, jotta tuloksena on parannus. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 281.)

Lean Six Sigman myötä analysointivaihetta voidaan jakaa kahteen eri tapaan: Prosessi- ja datalähestymistapaan. Prosessilähestymistavassa pyritään paikantamaan parannuskohde prosessista käyttämällä Lean-työkaluja. Prosessinkuvaukset, kuten arvovirta-analyysi, ovat erinomainen tapa löytää pullonkauloja ja hukkaa monimutkaisista prosesseista. Keskeisin ongelma prosessilähestymistavassa on objektiivinen mittaaminen, koska hyvän ja huonon toteaminen jää tutkijan mielipiteiden varaan. Datalähestymistavassa tämä perustuisi prosessiteoriaan tai johonkin arvoon. Ongelman erityissyitä suljetaan pois kysymys kerrallaan, jolloin systeemin vika eli juurisyy voidaan tunnistaa. Tässä voidaan käyttää viisi kertaa miksi-menetelmää, jolloin samaa kysymystä toistetaan taso kerrallaan juurisyyn löytämiseksi. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 282–283.)

Data-analyysimenetelmässä juurisyitä tutkitaan hypoteeseilla, joita haastetaan tilastollisilla työkaluilla ja tekniikoilla. Normaalista vaihtelusta eli kohinasta etsitään signaalia. Tätä kohinaa pitää suodattaa, jotta normaalia kohinaa ei tunnistettaisi signaaliksi. Normaalin vaihtelun syille tehdyt turhat toimenpiteet saattavat kasvattaa vaihtelua entisestään. Data-analyysissä on kahdenlaista virheellistä tapaa tulkita signaalia: väärän signaalin eli normaalin kohinan tunnistaminen ja sen

toteaminen prosessin muutossignaalina tai signaalin toteaminen osaksi normaalia kohinaa, jolloin signaali menetetään. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 283–284.)

Normaalissa tuotantodatassa operaation sivutuotteena on syntynyt dataa jossain määrin vakiotilanteessa. Lähes stabiilissa tilassa olevassa prosessissa ulostulot ovat ohjausrajojen sisäpuolella. Epästabiilissa prosessissa erityissyyt vaikuttavat prosessin ulostuloihin, jolloin ohjausrajoja ylitetään. Nämä erityissyyt on poistettava ensimmäisenä, sillä ennustamattomat syyt eivät anna pohjaa parannukselle. Systeemin parantamiseksi etsitään ohjausrajojen sisäpuolelta olevista ulostuloista suunnittelemattomia muutoksia, jotka antaisivat vihjeen ratkaisulle. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 285.)



KUVIO 2. Nelikenttäanalyysi (Karjalainen & Karjalainen 2020, 292, muokattu)

Analyysivaiheen lopputuloksena on ulostuloon vahvasti vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen. Tekijöitä voidaan luokitella nelikenttään, jossa arvioidaan niiden vaikutusta ulostuloon ja muutoksen vaikeuden mukaan. Nelikenttä (kuvio 2) kostuu neljästä laatikosta, jossa x-akselilla arvioidaan vaikuttavuutta ja y-akselilla muutoksen vaikeutta. Nelikentän vihreään kulmaan sijoittuvat tekijät vaikuttavat

prosessin ulostuloon merkittävästi ja ovat helppoja muuttaa. Vaikeasti toteutettavat ja vaikuttavat tekijät voivat mahdollisesti tarjota toivotun muutoksen, mutta muutoksen vaikeus voi vaatia esimerkiksi teknisen- tai kustannuksellisen ratkaisun ennen hyväksyntää. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 292–293.)

Paranna (Improve)

Parannusvaiheessa kehitetään ratkaisuja analyysivaiheessa esiin tulleiden juurisyiden vaikutusten vähentämiseksi tai poistamiseksi. Ennen parannusten toteuttamista ratkaisut ja niiden vaikutukset arvioidaan. Parannusratkaisun tehokkuutta voidaan arvioida pilotoinnilla ennen tämän laajempaa käyttöönottoa. Oletetut juurisyyt validoidaan parannuksen käyttöönoton jälkeen saaduilla tiedoilla. (Zhan & Ding 2016, 63.) Koesuunnittelun ajatuksena on löytää juurisyyt ja mallintaa kriittisimmät vaihtelun lähteet sekä kuvata numeerisesti parannuksen vaikutus prosessin ulostuloon. Koesuunnittelu eli DOE (Desing of Experiments) luo ennusteen regressiomallilla prosessin tulevaisuuden käyttäytymisestä. Mallissa selvitetään matemaattisesti prosessin tekijöiden ja ulostulojen välisiä suhteita ja niiden syy-seuraussuhteita. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 295.)

Ohjaa (Control)

Syklin viimeisessä vaiheessa vertaillaan parannettua prosessia lähtötilanteeseen käyttäen määrittelyvaiheessa asetettuja mittareita ja laaditaan suunnitelma parannusten ylläpitämiseksi. Suunnitelmassa uusi prosessi dokumentoidaan ja vakiinnutetaan, sekä valvotaan SPC:n (Process Control Chart) kaltaisen työkalun avulla. Onnistuneen projektin parannuksia voidaan soveltaa myös organisaation muissa osissa vaikutusten moninkertaistamiseksi. (Zhan & Ding 2016, 63.)

2.2.2 Ohjauskortti

SPC eli Ohjauskortti on tehokas tapa havaita erityissyyvaihteluita kolmen sigman poikkeaman avulla. Kortin analysoinnissa tutkitaan prosessin ulostulon epänormaaleja tiloja seuraavilla luokituksilla: Keskiarvosiirtymässä havainto on poikkeavasti yli kolmen sigman päästä keskiviivasta tai havainnot painottuvat yhdelle puolelle keskiviivaa peräkkäisissä otannoissa. Trendissä useat pisteet nousevat tai laskevat peräkkäin. Värähtelyssä pisteet vuorottelevat keskiviivan ylä- ja

alapuolella. Sekoittumisessa pisteet ovat systemaattisesti yhden tai kahden sigman päästä keskiviivasta. Pienentyneessä vaihtelussa useat pisteet ovat yhden standardipoikkeaman sisällä keskiviivan molemmilla puolilla. (Piiroinen 2014, 58–59.)

2.2.3 Vaihtelu ja sen vähentäminen

Normaalia vaihtelua on mahdotonta välttää. Muodostamalla tilastoja satunnaisesta otannasta huomaamme suurimman osan histogrammeista jakautuvan tasaisesti. Tämä kellomuotojakauma esiintyy kaikkialla luonnossa ja sitä kutsutaan yleensä normaalijakaumaksi tai normaalikäyräksi. Minkä tahansa normaalijakauman keskustaa kutsutaan keskiarvoksi ja jakauman leveys ilmoitetaan keskihajonnalla tai sigmalla. Keskustan molemmilla puolilla on täsmälleen kolme sigmaa. (Relyea 2011, 8.) Keskihajonta σ voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(x_i - \mu)^2}{n-1}}, \qquad (1)$$

jossa μ on mittaustulosten keskiarvo, x_i on yksittäinen arvo ja n arvojen lukumäärä.

Vaihtelun pienentämisellä tarkoitetaan toimitusketjun sisäisen ja ulkoisen vaihtelun pienentämistä. Ulkoiset vaihtelut vaikuttavat kysyntään määrällisesti, ajallisesti ja laadullisesti. Sisäiset tekijät vaikuttavat läpimenoon, jaksonaikaan ja varastointiin. Vaihtelun pienentäminen mahdollistaa prosessin, jossa tarvitaan vähemmän resursseja kuten aikaa, varastoja ja kapasiteettia vaihtelun hallintaan. Vaihtelua voidaan myös hallita, jolloin nykyisen vaihtelun aiheuttamia toimitusketjun tehokkuus- ja tuottavuusongelmia minimoidaan päätöksillä ja toimenpiteillä. (Piiroinen 2014, 122.)

Vaihtelun pienentämisen keinona voidaan myös pyrkiä ymmärtämään ennustettavan prosessin ulostulon ja tekijöiden välisiä riippuvuussuhteita. Lopputulokseen vaikuttaviin tekijöihin voidaan toteuttaa parannus vaihtelun pienentämiseksi. Vaihtelu voidaan jakaa kahteen eri luokkaan. Stabiilissa vaihtelussa satunnaiset

vaihtelut syntyvät systeemin muuttujien välisistä riippuvuussuhteista eri olosuhteissa, joita ei tunnisteta erillisinä. Erityissyy vaihtelussa yksittäinen tekijä vaikuttaa erityisen paljon vaihteluun. (Piiroinen 2014, 13, 44.)

Suunniteltujen rajojen ja vaatimusten ylittävät syyt tutkitaan ja toteutetaan korjaava toimenpide. Vaihtelun liiallinen pienentämisen toimenpiteiden avulla, saattaa äärimmäisessä tapauksessa aiheuttaa lisää vaihtelua. Tämän satunnaisen vaihtelun havainnointi tapahtuu SPC:n avulla. Tällöin prosessin rajat perustuvat suunniteltujen rajojen sijaan laskettuihin kolmen sigman rajoihin. Tämän menetelmän avulla prosessi stabiloituu, koska ylimääräinen reagointi lopetetaan. Satunnaisvaihteluiden syiden poistamiseksi tarvitaan syvällisempi ymmärrys prosessin syyseuraussuhteista ja keskinäisistä vaikutuksista. Tähän on kehitetty työkalu Six Sigma, jolla tutkitaan ennustettavan prosessin syy-seuraussuhteita. (Piiroinen 2014, 135.)

Laadullisten ongelmien aiheuttamat korjaustyöt lisäävät tuotannon vaihtelua. Mikäli työn tarkastamiseen ja korjaamiseen käytettävä käsittelyaika koetaan ylimääräiseksi prosessointiajaksi, työn vaihe ei ole ennakoitu katkos. Tällöin käsittely vie kapasiteettia sekä aiheuttaa mahdollisesti tuotannon ruuhkautumista vaikuttaen suuresti prosessiajan vaihteluun koko tuotannossa. (Hopp & Spearman 2010, 277.) Prosessin suoritustavan vaihtelun vähentäminen parantaa tuotteen ominaisuuksien vaihtelua, mikä vähentää vikoja ja virheitä, jotka puolestaan parantavat tuotteen laatua. Asiakastyytyväisyyden parantamisen lisäksi laadun parantaminen vähentää virheistä johtuvaa hukkaa. (Bradley 2015, 49.)

2.2.4 Suorituskyky

Nykyisen prosessin korjaaminen ei välttämättä paranna prosessin tulevaisuutta. Kuitenkin parantaminen ennaltaehkäisee prosessin jatkuvaa korjaamista tulevaisuudessa. Tulevaisuutta voidaan ennustaa suorituskyvyllä, jossa mitataan prosessin stabiilisuutta ja vaihtelua. (Karjalainen ja Karjalainen 2020, 90.) Suorituskyky ilmoittaa prosessin vaihtelun ominaisuutta määrätyllä toleranssialueella. Prosessin toleranssirajat määritellään asiakaslähtöisessä prosessissa asiakkaan toiveiden mukaisesti. Suorituskykyisessä prosessissa asiakas saa

haluamanlaisensa tuotteen, jopa ilman odottamista. Asiakasvirran kasvaessa prosessin suorituskykyä pitää parantaa, jotta estetään asiakkaan kokeman laadun heikkeneminen. (Sandholm 2000, 101–102.)

Suorituskykyä mitataan seuraavilla indekseillä: C_p on prosessin vaatimuksen ja vaihtelun välinen suhde (kaava 2), jossa T_+ on spesifikaatioalueen yläraja, T_- on spesifikaatioalueen alaraja ja σ saadaan laskemalla kaavasta 1.

$$C_p = \frac{(T_+ - T_-)}{6\sigma} \tag{2}$$

C_{pk} on spesifikaatioalueen ja todellisen vaihtelun välinen suhde sisältäen keskiarvon sijainnin suhteen spesifikaatiorajoihin nähden (kaava 3) (Karjalainen & Karjalainen 2020, 377).

$$C_{pk} = \min \frac{(\mu - T_\pm)}{3\sigma} \tag{3}$$

Normaaleita suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat työkoneet, työkalut, materiaalit ja operaattorit. Siksi onkin tärkeää tarkastella prosessin toimintaa vakio-olosuhteissa, jotta mittaustulokset ovat mahdollisimman todenmukaiset. Jatkuvassa tuotannossa on myös välttämätöntä huomioida kaikkien vuorojen väliset vaihtelut. Tutkimusta suorittaessa prosessia tulee seurata tarkasti, jolloin vaihteluita aiheuttavat olosuhteet tulee kirjata ylös mahdollisten tekijöiden tunnistamiseksi. (Sandholm 2000, 103–104.) Six Sigman vaatimus suorituskyvylle on $C_p \geq 2$ ja $C_{pk} \geq 1{,}5$ (Karjalainen ja Karjalainen 2020, 90).

2.3 Läpimenoajan määritelmät

Yleisesti läpimenoaika (lead time) ja jaksonaika (cycle time) ovat yhtenäisiä Leania harjoittavissa yrityksissä. Nämä termit sekoittuvat kuitenkin herkästi keskenään. Joissain yrityksissä termiä jaksonaikaa käytetään tarkoittamaan sitä, mitä Leanissa kutsutaan läpimenoajaksi. Asian varmistaminen on väärinkäsityksien välttämiseksi suotavaa. (Bradley 2015, 34.)

Jaksonaika on prosessin tuotteen viettämä aika alkupisteestä loppupisteeseen. Läpimenoaika on suunniteltu arvo, joka luvataan asiakkaalle. Sen laskentaan tarvitaan jaksonajan lisäksi keskimääräinen vaihtelu. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 77.) Yksittäisen työn jaksonaika koostuu useista eri vaiheista arvoa tuottavan työn lisäksi. Työstettävää kappaletta liikutetaan vaiheesta toiseen ja mahdollisesti prosessin aikana. Lisäksi on siirtymisen jälkeistä odotusaikaa ennen seuraavan vaiheen aloittamista ja työstettävän kappaleen valmistelua toteutettavaa työtehtävää varten. Tuotantoerässä yksittäisen tuotteen jaksonajassa huomioidaan myös tuotteen odotus prosessointiin pääsemiseen, loppuerän valmistumiseen ja koko tuotantoerän odotus seuraavaan työvaiheeseen. (Hopp & Spearman 2010, 327.)

Lyhyt läpimenoaika mahdollistaa lyhyiden toimitusaikojen lisäksi tuotannon ohjattavuutta töiden ajoitusten tasoittamisella. Läpimenoajan ja toimitusajan ollessa yhtä suuret, myynti tahdittaa tuotannon työmäärää aiheuttaen ylikuormitusta ja huonoa tulosta. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 55.) Jaksonaikaa voidaan lyhentää asemien päällekkäisyyksillä, koska samanaikaiset työt vähentävät koko työprosessiin menevää aikaa. Prosessia voidaan pilkkoa erillisiksi työvaiheiksi, joita suorittamalla samanaikaisesti lyhennetään koko prosessiin kuluvaa jaksonaikaa. (Hopp & Spearman 2010, 344.)

Pullonkaula on prosessin vähiten läpimenoa tuottava työvaihe, joka tunnistetaan tyypillisesti prosessin mittaamisella. Tämä ei tarkoita aina hitainta tai alhaisimman käyttöasteen vaihetta, sillä se on riippuvainen raa'asta prosessiajasta ja käyttöasteesta. Arvon muodostumisen nopeus eli läpimeno tarkoittaa keskimääräistä valmistusnopeutta määritellyllä ajanjaksolla. Mittayksikkönä käytetään tavallisesti kappalemäärää per aikayksikkö. Tämä muodostuu käytettävissä olevan aikaresurssin ja tehollisen ajan suhteesta. Valmiiden tuotteiden määrä on verrannollinen raakaan prosessiaikaan. (Piiroinen 2014, 85, 87.)

Odotusaikojen lyhentämiseksi voidaan pienentää käyttöastetta kasvattamalla tehokkuutta pullonkaulassa. Tämä voidaan saavuttaa kaluston lisäämisellä, asetusaikojen lyhentämisellä tai työntekijöiden taukojen porrastamisella. Käyttöastetta voidaan pienentää myös ohjaamalla tuotannon virtausta pullonkaulojen ohi reitityksillä ja aikataulutuksella. Epätasaiset vaiheelle saapumiset ja

prosessiaikojen vaihtelut lisäävät jonoutumista. Epätasaista saapumista voidaan vähentää aikataulutuksella, pienentämällä aikaisemman työvaiheen vaihtelua, tehostamalla tuotannon valvontaan tai parantamalla materiaalivirtausta. (Hopp & Spearman 2010, 344.)

Kokoonpanot vaikeuttavat tuotannon virtausta, sillä yhteensovittaminen vaatii jokaisen tarvittavan osan ”läsnäoloa” ennen työn aloittamista. Liukuhihnamaisessa tuotannossa yksittäisen osan puuttuminen voi lamaannuttaa kokoonpanon aiheuttaen häiriötä myös seuraavissa työvaiheissa. Tämän vuoksi on yleistä aikatauluttaa ja ohjata tuotantoa alemmilla tasoilla. Kokonaisuuden hallitsemiseksi loppukokoonpanon aikataulun määrittäminen tahdittaa tuotantoa ”takaperin”. (Hopp & Spearman 2010, 328.) Prosessi voidaan purkaa osiin ja aikatauluttaa yksittäisiä työvaiheita, jolloin vaiheiden seurannassa huomataan seuraaviin vaiheisiin vaikuttavat poikkeamat. Tällöin koko tuotannon virtaukseen vaikuttavan pullonkaulan aikataulua voidaan peilata muihin työvaiheisiin. (Hopp & Spearman 2010, 538.)

3 NYKYTILAN KARTOITTAMINEN

3.1 Tutkimusongelman asettelu ja taustat

Tuotannon suunnittelussa on havaittu laitteen jaksonajassa pulssimaista läpimenoa. Laitteita valmistuu välillä suunniteltua aikataulua nopeammin, kun taas joskus laite valmistuu läpimenoajan ylimmän spesifikaatiorajan tuntumassa. Tuotannossa on huomattu laitteen alikokoonpanon tekevän samanlaista pulssimaista jaksonaikaa. Alikokoonpano voi olla myöhässä tarvepäivämäärästä, kun taas joskus niitä kertyy varastoon varaten kaikki kuljetustelineet. Tällaisessa tilanteessa seuraavien alikokoonpanojen valmistuminen estyy ja tuotannon virtaus pysähtyy.

Alikokoonpanossa on siis havaittu vaihtelua, joka vaikuttaa koko laitteen valmistusaikatauluun loppukokoonpanosta säätöön ja testaukseen. Tämä vaikeuttaa tuotannon suunnittua ja aiheuttaa tuotannossa jatkuvaa reagointia, kuten resurssien siirtämistä ja tuotannon aikataulutuksen hienokuormittamista. Laitteiden suorituskykyä on seurattu tuotannonsuunnittelussa ja -johdossa, mutta laitteiden moduuleihin ei ole kohdistettu suorituskyvyn seurantaa. Tämä opinnäytetyö voi mahdollistaa tarpeen suorituskyvyn seurannan laajentamiselle muihin moduuleihin ja laitemalleihin.

Alikokoonpanon jaksonajan on huomattu laskevan tasaisesti jatkuvan parantamisen keinoilla. Kuitenkin kyseiseen kokoonpanoon ei ole kohdennettu omaa parannusprojektia, joten potentiaalista optimointia voi olla vielä jäljellä. Lisäksi kehitysehdotusten ja suunnittelumuutosten läpimenon kesto on saattanut vähentää motivaatiota puuttua havaittuihin epäkohtiin.

Kyseinen laitemalli on vakiinnuttanut paikkansa kohdeyrityksen tuotevalikoimassa ja valmistuksen volyymia on saatu nostettua tasaisesti. Jatkuvan parantamisen toimenpiteillä ja työtapojen vakiinnuttamisella laitteen jaksonaikaa on saatu lyhennettyä tasaisesti. Laitteen nousevan kysynnän johdosta valmistuksen volyymin noston lisäksi tehokkuuden tulee parantua, jolloin pyritään lyhentämään kokoonpanon läpimenoaikaa. Tutkimusongelmasta voidaan johtaa seuraava tutkimuskysymys, sekä tarkentavat lisäkysymykset:

- Millä keinoilla saadaan parannettua alikokoonpanon tehokkuutta?
    - Voidaanko läpimenoaikaa lyhentää?
    - Mikä on alikokoonpanon suorituskyky?
    - Mitä hukkaa kokoonpanossa esiintyy?

Tutkimusmenetelmänä toimivat kvalitatiivinen eli laadullinen ja kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus. Työntekijöitä, johtohenkilöitä ja muita sidosryhmiä haastatellaan ja kerätään näkökulmia työnteon toimivuudesta. Alikokoonpanon suorituskykyä mitataan tilastollisilla menetelmillä, jolloin mitattavaa dataa kerätään kohdeyrityksen järjestelmästä. Työn toteutuksessa hyödynnetään DMAIC-parannusprosessin runkoa ja sen antamia työkaluja.

3.2 Nykyiset toimintatavat

Kokoonpanon jaksonaikaan voidaan vaikuttaa levittämällä kokoonpanoa rinnakkaisiksi tehtäviksi, osakokoonpanoiksi tai osavalmistuksen ja osien ohjautumisen kehityksellä (Lapinleimu ym. 1997, 58). Kyseinen alikokoonpano on irrotettu laitteen kokoonpanosta erilliseksi työvaiheeksi, joka on asennettavissa laitteelle ilman varsinaisen kokoonpanon häiriintymistä. Valmistunut alikokoonpano voidaan asentaa suoraan laitteelle tai varastoida odottamaan sen tarvetta.

Alikokonpanon vaiheelle varautuu nimikkeitä, jotka ovat erillisiä osia, letkuja ja osakokonpanoja. Nimikkeet keräillään työnumerolle materiaalivarauksen tarvepäivämäärään mennessä. Tämä päivämäärä on ennen varsinaista työn aloitusta, jolloin keräilyt ovat valmiina työn aloituksessa odottelun välttämiseksi ja virtauksen ylläpitämiseksi. Työn vaiheen alkaessa logistiikka tuo keräilyt asemaan tai sovittuun paikkaan. Suurimmat ja loppuvaiheessa tarvittavat kokoonpanot ovat erilliskeräiltäviä, jotka tilataan erikseen haluttuna ajankohtana. Lopputuotteeseen asiakas valitsee laitteen suoritukseen liittyvien ominaisuuksien lisäksi lisävarusteita, joita kutsutaan optioiksi. Nämä lisäävät varusteita tuotteeseen, mutta myös joissain tapauksissa ne muuttavat tai jopa sulkevat pois muita nimikkeitä. Yleisesti ottaen nämä lisäävät työn määrää kokoonpanossa, joten tämä on huomioitu työkuorman suunnittelussa.

Asentajat käyttävät toiminnanohjausjärjestelmää (Enterprise Resource Planning) päivittäisessä työssään. Tästä ERP-järjestelmästä löytyy työlista, josta nähdään laitteen alikokoonpanon aloitus- ja lopetuspäivämäärien lisäksi myös laitteen toimituspäivä. Näin asentajat voivat priorisoida saman päivän aloituksesta aikaisemmalla toimituspäivämäärällä olevan työn myös ilman erillistä työnohjausta. ERP-järjestelmästä asentajat voivat tarkastella keräilylistojen tilaa, ilmoittaa osapuutteista ja tarkastella laitteeseen tilattuja optioita, jotka on tärkeä huomioida jo työn aloituksessa. Kokoonpano varustellaan MES-järjestelmässä (Manufacturing Execution System) olevan työlistan mukaisesti. Järjestyksestä voidaan poiketa, mikäli huomataan työnteon pysäyttävä este. Työssä on kuitenkin pakollisia työvaiheita, joita ei voida suorittaa väärässä järjestyksessä.

Alikokoonpano on eriytetty loppukokoonpanosta erilliseksi soluksi osaamisen keskittämiseksi. Solu on tiettyyn osaan tai osakokoonpanoon erikoistunut valmistusyksikkö, jolla on oma tiimi, alue ja kalusto (Lapinleimu ym. 1997, 85). Tilanpuute aiheuttaa haasteita keräilyjen säilytyksen muodossa, sillä alueella on kolme kokoonpanotelinettä. Lisäksi suurien kokoonpanojen asennuksen ajaksi viereisen kokoonpanon asentajat joutuvat keskeyttämään työnsä työturvallisuuden takaamiseksi. Alikokoonpano rakennetaan siihen tarkoitetulla telineellä, jolloin tuotannon aikataulutus on suhteutettava telineiden määrään ja niiden kuormittamiseen. Tämä on rajoittava tekijä, sillä häiriötilanteessa keskeneräinen työ on seuraavan tiellä. Keskeneräistä työtä ei voida siirtää pois telineestä, vaan ongelma on ratkottava työpisteellä.

3.2.1 Käytössä olevat Lean työkalut

Jokaisella asentajalla on mahdollisuus tehdä ilmoitus laadullisista poikkeamista jatkuvan parantamisen järjestelmään. Yleisimpiä poikkeamia ovat osien yhteensopimattomuus ja valmistusvirheet alihankinnan kokoonpanoissa. Tuotannossa on Kaizen-taulu, jonne asentajat voivat tuoda paperisia parannusehdotuksia kokoonpanoon liittyen. Kehitysehdotukset liittyvät yleensä työkaluihin, nostoapuvälineisiin ja vaiheistuksiin. Kaizen-taulu on sijoitettuna loppukokoonpanossa keskeiselle paikalle, jotta jokainen kokoonpanosolu voi ehdottaa ja tarkastella ehdotuksien etenemistä.

5S-menetelmät ovat osa työntekijöiden jokapäiväistä rutiinia. Solu on selkeästi rajattu, jolloin alueen ulkopuolella olevat keräilyt ja tyhjät lavat poistetaan. Alueen sisäpuolella jokaiselle kokoonpanon apuvälineelle, työkalulle ja keräilyille on merkattu tietty paikka. Uusille työntekijöille koulutetaan 5S-perusteet ja tarkastuksia suoritetaan viikoittain. Kanban-järjestelmää sovelletaan pääasiassa nimikkeiden varastoinnissa. Osakokoonpanosolu saa signaalin valmistaa nimikkeitä, mikäli varaston saldo vähenee alle määrätyn rajan. Solussa on käytössä 2-laatikkojärjestelmä, jossa varastoidaan yleisiä nimikkeitä. Tyhjä laatikko on signaali tilata lisää nimikkeitä toisen laatikon ollessa työntekijöiden käytettävissä (Logistiikan maailma n.d).

3.2.2 Työn mittaaminen

On hyvin tyypillistä seurata kokoonpanon kuormaa tietyllä vaiheella ja tämä kohdeyritys ei ole asiassa poikkeus. Kuorman seurannalla saadaan selville olemassa olevien työtehtävien riittävyys palkattujen asentajien määrään verrattuna. Tämä ei kuitenkaan kerro totuutta kokoonpanon kestosta työpisteellä. Lisäksi kuorman määrän kertyminen on riippuvainen työntekijöiden aikaleimauksista työaikajärjestelmässä. Työntekijä voi olla leimautuneena väärällä vaiheella pitkiäkin aikoja, jolloin asennusta tehdään uudella työllä vääristäen kuorman kertymää.

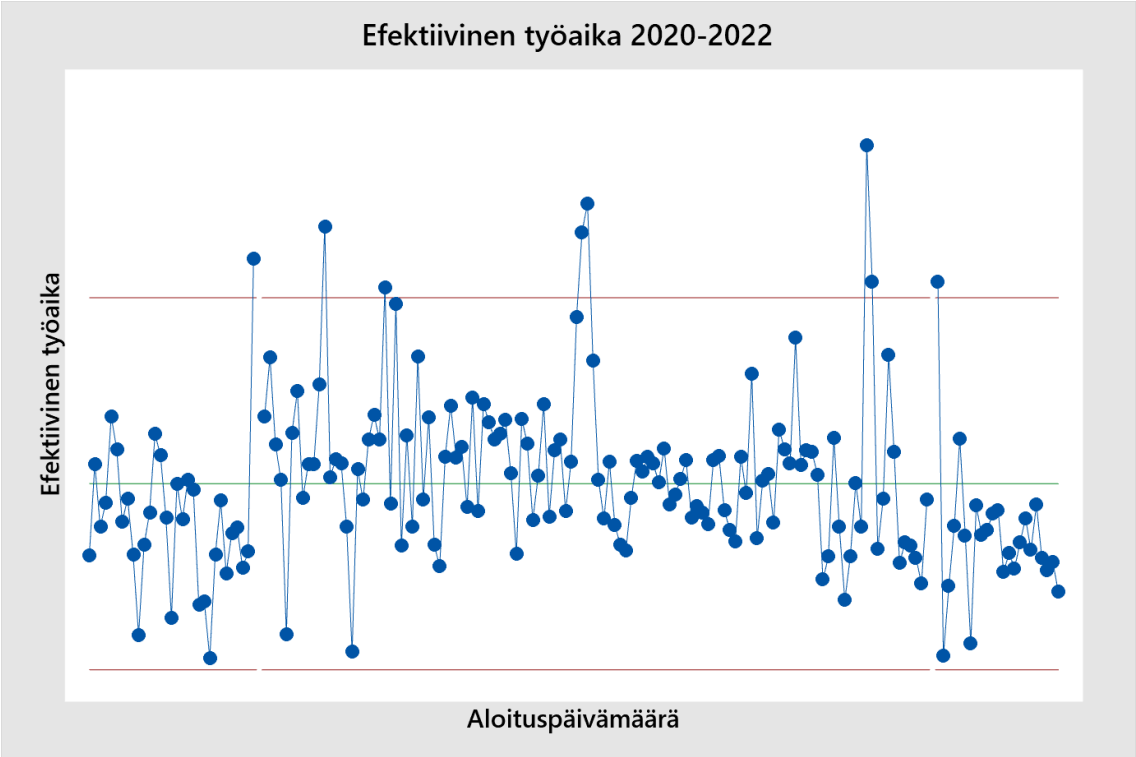
Tarkin lattia-ajan varaamiseen kuluvan ajanmittari on efektiivinen työaika. Efektiivinen työaika eli todellinen työaika lasketaan resurssin kalenterista todellisen aloitushetken ja päättymishetken avulla. Tämä kello käynnistyy, kun työ aloitetaan ERP-järjestelmästä. Ensimmäisien keräilyjen saaminen työlle edellyttää työn aloittamista, jolloin työn aloituksen ajankohta voidaan olettaa hyvin tarkaksi. Mittaamisen tuloksena ajan määrä saadaan tunteina, jolloin jokaisesta työpäivästä kertyy kaksivuorotyössä 16 h työaikaa. MES-järjestelmän työlistan mukaisesti viimeisen työvaiheen suorittamisen jälkeen työ voidaan merkata valmiiksi ja efektiivisen työajan mittari pysähtyy. Työn lopettaminen on siis riippuvainen viimeisestä työtehtävästä. Efektiivinen työaika voi jatkaa kertymistä, mikäli työn päättäminen estyy. Esteitä voivat olla esimerkiksi aktiiviset käsittelemättömät laatupalautteet tai fyysinen este, jolloin valmista työtä ei voida siirtää pois kokoonpanosta.

3.3 Suorituskyvyn laskeminen

Suorituskyvyn laskemiseksi tulee määrittää alikokoonpanon spesifikaatiorajat. Yläraja määritettiin tuotannon suunnittelun asettaman siirtoajan mukaan. Siirtoajaksi on määritelty n. 115 % läpimenoajasta, jolloin ylempispesifikaatoraja on yli kaksi kertaa läpimenoaikaa suurempi. Siirtoaikana alikokoonpano varastoidaan siihen tarkoitetussa kuljetustelineessä. Kun jaksonaika ylittää tämän ylärajan, kuljetustelineet ja varastointikapasiteetti loppuu kesken. Tällöin alikokoonpanosolusta ei voida nostaa valmistuneita töitä pois kokoonpanotelineestä.

Alarajan määrittäminen on hieman teoreettisempaa, mutta se kuitenkin tarvitaan suorituskyvyn laskemiseksi. Alikokoonpanon valmistuminen suunniteltua aikataulua nopeammin on positiivinen asia, kuitenkin seuraavan kokoonpanon osat pitää olla valmiiksi kerättynä ennen uuden työn aloittamista. Alarajaksi määritettiin 50 % läpimenoajasta, jolloin logistiikka on ehtinyt keräämään aloitukseen tarvittavat nimikkeet ja tuotannon virtaus säilyy.

ERP-järjestelmästä kerättiin kaikkien kohdeyrityksen omaan tuotantoon kuormitettujen alikokoonpanojen efektiiviset työajat, jotka on esitetty kuviossa 3 Minitab-ohjelman avulla. Ensimmäisenä datasta rajattiin pois ensimmäisen vuoden työt, sillä alussa tuotannossa vakiinnutettiin työtapoja, perehdytettiin uusia työntekijöitä sekä osien revisioihin tehtiin muutoksia. Seuraavaksi karsittiin työt, joille tunteja ei ollut kertynyt ollenkaan.



KUVIO 3. Raakadata alikokoonpanon efektiivisestä työajasta

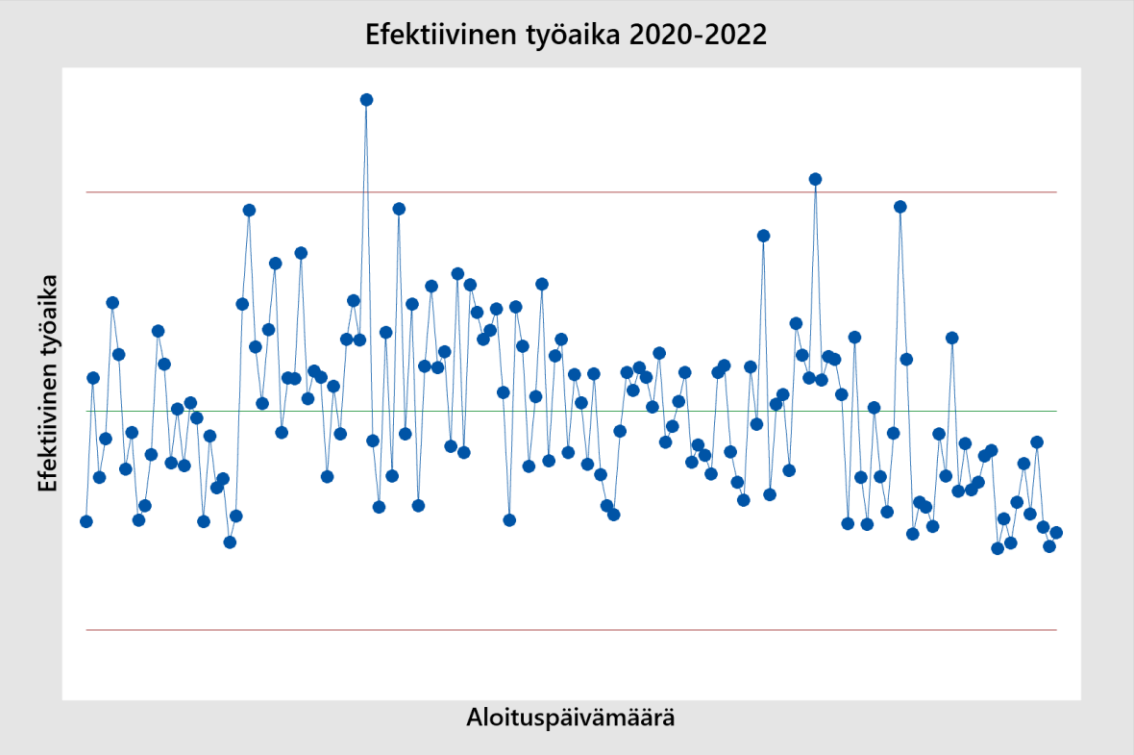
X-akselilla on vaiheen aloituspäivämäärä ja järjestys on nouseva vasemmalta oikealle. Y-akselilla on toteutunut työaika tunteina alhaalta ylöspäin nousevasti. Vihreä viiva keskellä on tuloksien keskiarvo ja punaiset viivat ovat kolmen sigman poikkeamat keskiarvosta. Suurin osa pisteistä sijoittuu spesifikaatiorajojen sisäpuolelle, mutta yli kolmen sigman rajan ylityksiä on useita.

Kolmen sigman poikkeamien lähettyvillä olevien töiden dataan tutustuttiin tarkemmin, jotta kokonaistulokseen vaikuttavien mittapisteiden todenmukaisuus voitiin todeta. Tarkasteltiin paremmin työntekijöiden työaikaleimauksia, laatupalautteita ja ajankohtia. Selkeästi vähäisien lukemien työt kyettiin poistamaan, sillä työtunteja oli kertynyt enemmän ja useammille päiville. Efektiivistä työaikaa ei ole kertynyt, koska työtä ei ole aloitettu ERP-järjestelmässä tai se ei ole rekisteröitynyt järjestelmään esimerkiksi teknisen ongelman vuoksi.

Myös alemman rajan tuntumassa olevia töitä jouduttiin karsimaan, sillä niitä on tehty myös viikonloppuna. Todella alhaisilla työtunneilla valmistuneita töitä voitiin todentaa myös työlle tilattujen optioiden määrästä. Alhaisimmat jaksonajat olivat lähestulkoon kaikki ilman optioita. Ylemmän spesifikaatiorajan tuntumassa oleville töille oli usein tapahtunut virhe työn aloituksessa tai työn lopetuksessa. Näille

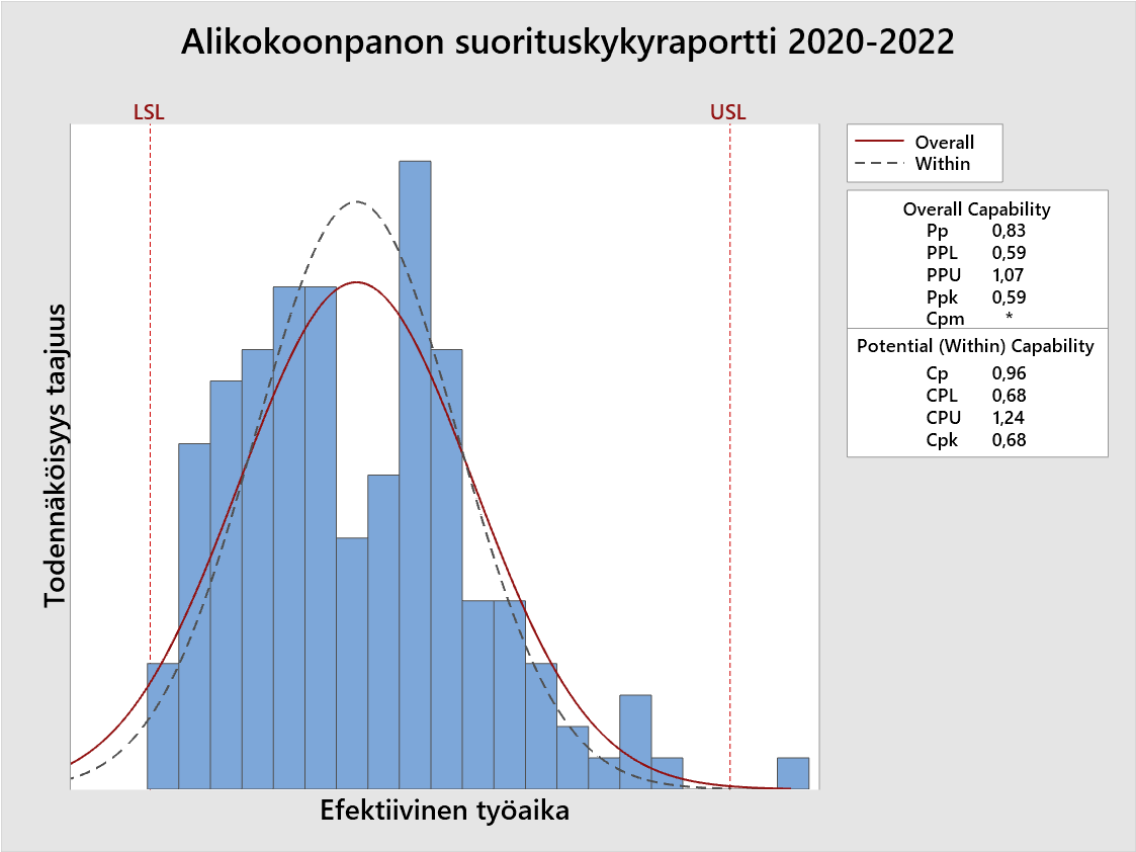
töille kertyi normaali määrä työkuormaa eikä vakavia laadullisia ongelmia esiintynyt. Koulutuksiin käytetyt ja alihankintaan siirretyt työt saatiin karsittua, sillä niihin ei ollut kertynyt työtunteja työaikaleimausjärjestelmään.

Kuviossa 4 näkyy SPC-kaavio karsittuna virheellisestä datasta. Kaaviosta nähdään jaksonaikojen olevan kuuden sigman sisäpuolella ja ylempi raja ylitetään vain kahdesti. Rajan ylittävien työnumeroiden perusteella kyettiin tunnistamaan erityissyitä, jotka vaikuttivat alikokoonpanon jaksonaikaan. Kyseisiin syihin on reagoitu tuotannossa korjaavilla ja ennaltaehkäisevillä toimenpiteillä. Kuviosta 4 nähdään pisteiden trendin olevan laskusuunnassa puolenvälin jälkeen. Tämä on seurausta jatkuvan parantamisen prosessista, sillä parannusprojektia kyseiselle alikokoonpanolle ei ole suoritettu.



KUVIO 4. Suodatettu data alikokoonpanon efektiivisestä työajasta

Siivotun datan perusteella voidaan laskea alikokoonpanon suorituskyky, joka on esitetty kuviossa 5 Minitab-ohjelman avulla. Punaiset katkoviivat ovat alempi spesifikaatioraja LSL (Lower Spesification Limit) ja ylempi spesifikaatioraja USL (Upper Spesification Limit). Punainen käyrä kertoo kaikkien tuloksien jakauman ja harmaa katkoviiva kertoo spesifikaatiorajojen sisäpuolella olevien tuloksien jakauman.



KUVIO 5. Alikokoonpanon suorituskykyraportti

Suorituskyvyn tuloksiksi saadaan C_p= 0,96 ja C_{pk}=0,68. Kyseiset arvot eivät pääse niihin annettuihin tavoitearvoihin, mutta kokoonpanon suuruuden ja läpimenoajan pituuteen nähden kokoonpanoa voidaan pitää varsin suorituskykyisenä. Käyrä ei ole sijoittunut keskelle spesifikaatiorajoihin nähden, jolloin C_{pk} -lukema heikentyy. Käyrä kuitenkin painottuu lähemmäs alempaa spesifikaatiorajaa, joka on tuotannon näkökulmasta hyvä asia.

4 TYÖN TOTEUTUS

4.1 Kehityskohteiden kartoittaminen

Kehityskohteet tunnistettiin kokouksessa asentajien kanssa. Palaverissa käsiteltiin kahta eri aihetta: hukan poistamista ja alikokoonpanon modulointia. Eli mitä arvoa tuottamattomia työvaiheita alikokoonpanossa nähdään ja mitkä asiat aiheuttavat odottelua. Tiedoista koostettiin lista, jossa kerrotaan tiivistetysti ongelma ja sen vaikutus kokoonpanoon. Ongelman ratkaisu on suuntaa antava, sillä ongelma voi olla moniulotteinen tai monen tekijän summa. Listaukseen kirjataan jatkossa kommentit asian etenemisestä tai valmistumisesta. Asentajia myös haastateltiin ideoita kokoonpanon pilkkomiseen moduuleiksi. Tärkein saatu tieto oli toteutuskelpoisuus, sillä alikokoonpanoa on jouduttu purkamaan suurempina komponentteina poikkeustilanteessa. Työturvallisuusasiat myös nousivat esille jokaisessa ideassa.

4.1.1 Hukka

Kokoonpanossa havaitut hukat voidaan jakaa karkeasti viiteen eri aihealueeseen. Jokaisen asentajan tulee ilmoittaa havaitsemansa kehityskohteet jatkuvan parantamisen järjestelmän kautta. Osa havaituista epäkohdista voivat olla jo suunnittelun prosessissa näkyen tuotannossa vasta myöhemmin. Tällaisille suunnittelun muutoksille pyritään hankkimaan ohituskaista, jotta havaitut hukat saataisiin karsittua mahdollisimman nopeasti.

Turha liike

Turhaa liikettä tapahtuu päivittäin 2-laatikkonimikkeiden hakemisessa. Alikokoonpanon ja loppukokoonpanon asentajat joutuvat ajoittain hakemaan toistensa soluista nimikkeitä. Hyllypaikkojen ja uusien nimikkeiden hankinta on nopeaa ja yksinkertaista, mutta vanhat tottumukset ja kiire on jättänyt useita laatikoita alkuperäisille paikoilleen. Ratkaisuna 2-laatikkojärjestelmän hylly käydään huolella läpi ja jokaisen nimikkeen tarve kyseenalaistetaan. Revisiomuutosten myötä joitain nimikkeitä ei enää tarvita, jolloin ne vievät solun hyllystä tilaa ja vaikeuttavat

oikean nimikkeen etsintää. Lisäksi sähköjen kytkentää varten olevat 2-laatikko-nimikkeet ovat vain loppukokoonpanossa. Tähän ratkaisuksi perustetaan sähkötarvikkeille oma salkku, johon täydennetään 2-laatikkojärjestelmästä tarvikkeita.

Työkalut ja välineet

Päivittäisistä raskaista nostoista tehdään sujuvampaa ja turvallisempaa nostoapuvälineillä. Solussa on käytössä joitain nostoapuvälineitä, mutta palautteesta huomattiin myös uusia tarpeita. Lisäksi on mahdollista, että alikokoonpanon moduulit saattavat tarvita myös uusia nostoapuvälineitä.

Laatu ja suunnittelu

Laadulliset virheet alihankinnan osissa ja kokoonpanoissa ovat vähentyneet ajan myötä, mutta revisiomuutosten ja yleistyneiden optioiden myötä uusia yhteensopivuusongelmia on esiintynyt. Virheellisiin osiin joudutaan tekemään muokkauksia, kunnes virhe korjautuu toimittajalla. Suurissa virheissä ja aikataulun salliessa osia voidaan lähettää toimittajalle korjaukseen, mikäli osa on valmistettu piirustusten vastaisesti.

Vaiheistukset

Osien tuleminen väärälle vaiheelle työllistää asentajia ylimääräisen työn muodossa. Osat voivat tulla vaiheille, jotka ovat ennen alikokoonpanoa tai vasta loppukokoonpanossa, jolloin tarvepäivämäärä on tulevaisuudessa. Tämä voi johtaa ylimääräisiin osapuutepyyntöihin, joka työllistää myös logistiikkaa osien keräämisen lisäksi ylimääräisten osien käsittelyn muodossa. Havaitsimme useita osia ja letkuja, joita keräillään väärille vaiheille. Vaiheistuksen muuttaminen voidaan tehdä käsin ERP-järjestelmän kautta, jolloin muutos näkyy tuotannossa nopeasti. Kuitenkin pysyvä muutos ja automaattinen ohjautuminen tapahtuu rakennekäsittelyn kautta, jolloin järjestelmä varaa osan halutulle työvaiheelle.

4.1.2 Kokoonpanon pilkkominen

Alikokoonpanoa mietittiin jakautuvan kuuteen eri moduuliin. Näistä kaksi on jo osakokoonpanoja, mutta niitä varusteltaisiin kypsemmiksi kokoonpanoiksi. Tällöin alikokoonpanon solussa tapahtuisi vähemmän työtä ja vaiheelle kerättäisiin

vähemmän nimikkeitä. Jokaiselle idealle kehiteltiin 2–3 ratkaisua, joista päätettiin vaikuttavin ja toteutuskelpoisin nelikenttäanalyysiä hyödyntäen. Valmiit osakokoonpanot varastoidaan nimikkeiksi varastoon, jolloin nimikettä varaava työ saa keräilyn mukana tarvitsemansa osan. Ongelmaksi ilmeni, että kokoonpanoja voidaan varustella vain tiettyyn pisteeseen saakka optioiden takia, joka vaikeuttaisi tuotteen rakennekäsittelyä. Yksi ideoista olisi osakokoonpanojen varustelu työkohtaisiksi eli esivarustelukokoonpanoiksi, jolloin työn optio riippuvaisia osia olisi asennettuna ennen varsinaista kokoonpanoa. Tällöin valmis kokoonpano viedään suoraan seuraavalle vaiheelle varastoinnin sijaan.

4.2 Parannuskohteiden pilotointi

Pilotointia varten valittiin olemassa oleva työvaihe, jolle materiaalit varattiin. Vaiheen aloituksen tulee olla ennen alikokoonpanon tarvepäivämäärää. Alueen työnjohtajan kanssa sovittiin sopiva työ, jolle pilotoinnista valmistuneet kokoonpanot ohjattiin. Ennakkotietona annettiin alikokoonpanossa käytössä olevat työohjeet ja järjestettiin perehdyttäjä ensimmäisille piloteille. Mahdollisiin tuotannollisiin ongelmiin varauduttiin varaamalla tarpeeksi aikaa esivarusteluvaiheen aloituksesta tarvepäivämäärään. Tällaiset ongelmat voivat olla esivarustelusolun aikataulun pitäminen kuormaan nähden tai puuttuvat ja puutteelliset osat.

4.3 Palautteet ja seuranta

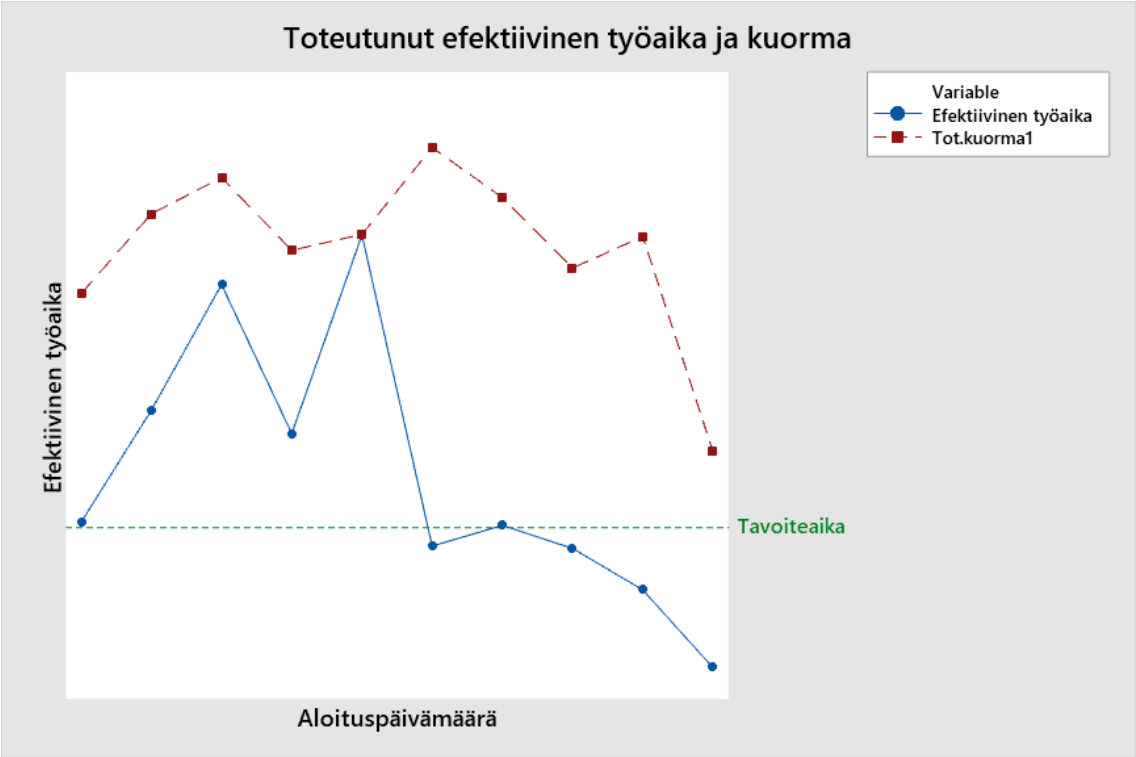
Pilotointivaiheen jälkeen alueen työnjohto ja työntekijät täyttivät palautelomakkeen, jossa kartoitettiin osapuutteet, tarvittavat letkumuutokset, toteutunut aikataulu ja toteutunut kuorma sekä mahdollinen hankintatarve työkaluille ja nostoapuvälineille. Alikokoonpanon jaksonajan voidaan todeta lyhentyvän esivarusteluvaiheiden verran. Todellinen tavoitteiden saavuttaminen voidaan todeta vasta, kun alikokoonpanossa kaikki esivarustelukokoonpanot on saatu toteutettua yhdellä laitteella. Palautteiden perusteella tilattiin tarvittavat nimikkeet 2-laatikkojärjestelmään, joita kyseisissä soluissa ei ollut saatavilla. Pilotointia varten tarvittavia nimikkeitä järjestettiin soluun tarvittava määrä. Vaiheiden keräilylistoihin ei tehty muutoksia, sillä pilotointien aikana osapuutteita ei todettu. Myöskään

letkujen ominaisuuksiin ei tehty muutoksia, sillä reititykset pysyivät samoina. Pilotointien tuloksena yhdelle esivarustelukokoonpanolle tilattiin varusteluteline, jotta työ voidaan tehdä mahdollisimman turvallisesti.

4.4 Tulokset

Ensimmäinen pilotointi alikokoonpanolla, johon esivarustelukokoonpano asennettiin, sai erinomaisia tuloksia. Toteutunut efektiivinen työaika oli suunniteltua työaikaa 30 % vähemmän ja työlle kertynyt kuorma oli 18,5 % suunniteltua kuormaa vähemmän. Viimeisen esivarustelukokoonpanon pilotointi tapahtuu vasta opinnäytetyön jälkeen. Sen suunnittelu ja toteutus siirrettiin alihankinnan vastuulle, sillä heillä on usean vuoden kokemus vastaavien kokoonpanojen toteutuksista. Toisessa alikokoonpanon pilotissa testataan kaikkien kokoonpanomuutosten käytännöllisyyttä ja vaikutusta jaksonaikaan.

Viimeisen kymmenen alikokoonpanon efektiivinen työaika ja kuorma on esitetty kuviossa 6. X-akselilla on esitetty työt aloituspäivämäärien mukaisessa järjestyksessä ja Y-akselilla näkyy toteutuneet tunnit alhaalta ylös nousevasti. Sininen viiva kuvastaa toteutunutta efektiivistä työaikaa ja punainen katkoviiva toteutunutta kuormaa. Vihreä vaakaviiva kuvaa alikokoonpanon tavoiteaikaa efektiiviselle työajalle. Viimeisen neljän pisteen trendi on laskeva, joista viimeisin on pilottialikokoonpanona varustettu työ. Toteutunut työaika laskee, mutta erityisen huomattavaa on kuorman jyrkkä lasku edelliseen työhön verrattuna.



KUVIO 6. Toteutunut efektiivinen työaika ja kuorma

Kaikkien esivarustelukokoonpanojen toteutuksen myötä alikokoonpanon nimikkeiden määrä vähenee keräilyssä 21,6 %. Nimikkeiden määrän väheneminen yksinkertaistaa vaiheen kokoonpanoa ja pienentää puuttuvien tai viallisien osien todennäköisyyttä alikokoonpanon vaiheella. Hydrauliletkujen määrä vähenee 33,8 %, jolloin letkujen etsintä ja käsittely helpottuu.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli alikokoonpanon läpimenoajan lyhentäminen ja sen suorituskyvyn selvittäminen. Työn tuloksena kokoonpanon efektiivistä työaikaa saatiin laskettua 30 % tavoiteaikaa alemmas ensimmäisen pilotin osalta. Alikokoonpanon tuotannosta poistettiin hukkaa siirtämällä nimikkeitä esivarusteluun ja parantamalla solun 5S-tasoa. Alikokoonpanossa tunnistettiin osakokoonpanojen kypsempien varusteluiden lisäksi tarve kahdelle uudelle esivarustelukokoonpanolle. Kypsempien osakokoonpanojen ja uuden esivarustelukokoonpanon pilotoinnit saatiin suoritettua ja niiden palautteiden kautta tehtiin tarvittavat muutokset. Työn tuloksena luotiin myös kokonaan uusi esivarusteluvaihe. Suurin esivarusteltukokoonpano ei kuitenkaan ehtinyt näkyä tuotannossa tämän opinnäytetyön aikana aikataulullisten haasteiden takia, sillä kyseinen esivarustelukokoonpano vaatii paljon suunnittelua ja useita pilotointeja ennen sen käyttöä.

Suorituskyvyn mittausta varten tarkasteltiin valmistuneiden töiden dataa, joista karsittiin leimausvirheelliset työt spesifikaatiorajojen lähettyviltä. Suorituskyvyn tuloksena saatiin C_p lukemaksi 0,96 ja C_{pk} lukemaksi 0,68. Tavoitearvoihin alikokoonpano ei pääse, sillä vaihtelua on paljon ja keskijakauma ei ole spesifikaatiorajojen välissä. Vaikka työssä ei suoraan käsitelty vaihtelua aiheuttavien tekijöiden vähentämistä, vaihtelua aiheena ei voitu olla käsittelemättä, sillä se liittyy oleellisesti muihin työssä käsiteltyihin tekijöihin. Suorituskykyinen valmistus hallitsee vaihtelua niin, että asiakas on tyytyväinen. Asiakas voi olla lopputuotteen asiakas tai prosessin sisäinen asiakas eli seuraava vaihe. Myös vaihtelulla on huomattava merkitys määriteltyjen läpimenoaikojen toteutumiselle. Prosessin vaiheiden vaihtelun vähentäminen lyhentää prosessin keskimääräistä läpimenoaikaa, vaikka prosessin läpimenon lyhentämiseen ei tähdättäisi (Bradley 2015, 49). Vaihtelun vähentämiseen tulee panostaa, joten se ansaitsisi täysin oman työnsä tulevaisuudessa.

Jatkuvan parantamisen prosessi jatkuu opinnäytetyön jälkeen normaalisti kohdeyrityksen prosessin mukaisesti. Kyseisen tuotteen läpimenoajan parannusprojekti jatkuu ja alikokoonpanon jaksonaikaa seurataan. Viimeinen esivarustelukokoonpano saadaan tuotantoon vasta opinnäytetyön jälkeen, jolloin projektin

kokonaisvaikutus läpimenoajan lyhentymiseen voidaan todeta vasta useiden valmistuneiden alikokoonpanojen jälkeen. Perustetulle alikokoonpanon esivarusteluvaiheelle voidaan ohjata uusia kokoonpanoja, mikäli niitä tunnistetaan tämän opinnäytetyön jälkeen. Efektiivisen työajan seurantaa laajennetaan myös muiden laitemallien alikokoonpanoille, sillä sen seurannan tärkeys on todettu tässä työssä merkittäväksi. Tuotannon leimauskäytäntöihin tehdään muutoksia erillisellä projektilla todenmukaisempien mittaustuloksien saamiseksi.

Työn suurimpana haasteena voidaan mainita alikokoonpanon jaksonajan suuruus. Esivarustelut kokoonpanot halutaan ohjata tietylle työlle, jotta sen vaikutusta voidaan seurata. Tuotannon, logistiikan ja oston ylimääräisen kuormituksen välttämiseksi osat pitää vaiheistaa kyseiselle työlle tarpeeksi ennakkoon, jotta työ valmistuu ennen tarvepäivämäärää. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden esivarustelukokoonpanon vaikutukset tuloksiin saadaan vasta viikkojen päästä.

Tämän opinnäytetyön aihe on ollut esillä kohdeyrityksessä jo ennen, kun se on tullut ajankohtaiseksi. Tämä kertoo siitä, että huoli kokoonpanon tehokkuudesta on ollut ilmeinen. Läpimenoajan lyhentäminen oli aiheena kiehtova, etenkin konkreettisten vaikutusten seuraaminen kokoonpanossa. Lopputuotteen rakenteessa on hyödynnetty paljon modulointia lattia-ajan vähentämiseksi, joten on loogista hyödyntää tätä myös alikokonpanoissa.

LÄHTEET

Bradley, J. 2015. Improving business performance with Lean. 2. painos. New York: Business Expert Press.

Hopp, W.& Spearman, M. 2008. Factory physics. 3. painos. New York: McGraw-Hill.

Karjalainen, E.& Karjalainen, T. 2020. Lean Six Sigma 2.0 ja laatuteknologia. 1. painos. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Lane, G. 2007. Made-to-Order Lean. 1. painos. New York: Productivity Press.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V.& Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Liker, J. 2020. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. 2. painos. New York: McGraw-Hill.

Modig, N.& Åhlström, P. 2016. Tätä on Lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin. 6. painos. Tillman, M. (suom.) Tukholma: Rheologica Publishing.

Piirainen, A. 2014. Vaihtelu. 1. painos. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Plan, Do, Check, Act (PDCA). n.d. Verkkosivu. Lean Enterprise Institute. Viitattu 11.2.2023. https://www.lean.org/lexicon-terms/pdca/

Pyzdek, T.& Keller, P. 2014. The Six Sigma handbook. 4. painos. New York: McGraw-Hill.

Relyea, D. 2011. Practical Application of the Process Capability Study. 1. painos. Boca Raton: CRC Press.

Sandholm, L. 2000. Total quality management. 2. painos. Lund: Studentlitteratur.

Visuaalinen ohjaus. n.d. Verkkosivu. Logistiikan maailma. Viitattu 24.4.2023. https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/materiaalinohjaus/visuaalinen-ohjaus/

Wang, J. 2011. Lean manufacturing: business bottom-line based. 1. painos. Boca Raton: CRC Press.

Zhan, W. & Ding, X. 2016. Lean Six Sigma and statistical tools for engineers and engineering managers. 1. painos. New York: Momentum Press.