

Jaakko Kärkkäinen

Intraoraalituotteiden valmistuskapasiteetin kasvattaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

7.5.2017

Tekijä Otsikko	Jaakko Kärkkäinen Intraoraalituotteiden valmistuskapasiteetin kasvattaminen
Sivumäärä Aika	31 sivua 7.5.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	terveydenhuollon tekniikka
Ohjaaja	lehtori Esko Tattari tuotantopäällikkö Reima Ollila
<p>Insinööriyön tavoitteena oli kasvattaa Kavo Kerr Group Finlandin intraoraalituotteiden röntgensäteilylähteiden valmistuskapasiteetti vastaamaan ennusteiden mukaista maksimitarvetta. Valmistuskapasiteetin pullonkauloiksi nimettiin intraoraalituotteiden suurjännitemuuntajan valmistus ja suurjännitekortin kokoonpano.</p> <p>Valmistuskapasiteettia kasvatettiin lean-ajattelutavan mukaisesti etsimällä prosessien hukat ja vähentämällä niitä. Työ aloitettiin kartoittamalla nykytilanne, määrittämällä tavoite ja muodostamalla ongelmalauseke nykytilan ja tavoitteen välillä. Ongelma pystyttiin rajaamaan nykytilan kartoituksen perusteella suurjännitemuuntajan valmistusprosessiin. Suurjännitemuuntajan valmistusprosessin hukkaa tutkittiin tarkemmin videoanalyysin, havainnoinnin ja pareto-analyysin avulla.</p> <p>Nopeana vastatoimenpiteenä päädyttiin muuttamaan tuotantosolun rakenne kolmen työpisteen mallista kahdeksi kahden työpisteen tuotantosoluksi. Tasapainottamalla tuotantosolun työkuorma, saatiin poistettua hukkaa odottamiseen kuluvan ajan muodossa suurjännitekortin kokoonpanon työpisteiltä. Tuotantosolun tasapainottamisen lisäksi tarvittiin toimenpiteitä suurjännitemuuntajan valmistusprosessin osalta.</p> <p>Tutkimusten perusteella korjaaviksi toimenpiteiksi valittiin käämintälaitteiden ohjelmien muutokset, käämilangan eristeen kuorinta, eristeen syöttäminen ja käämilangan käsittely. Korjaavien toimenpiteiden toteutuksia tutkittiin ja kokeiltiin etsimällä tietoa vaihtoehtoisista materiaaleista, työkaluista ja työskentelytavoista. Tulevaisuuden vaihtoehtona tutkittiin suurjännitemuuntajan automatisoitua valmistusprosessia.</p> <p>Tuotantosolun tasapainotuksen ja operaattoreiden harjaantumisen johdosta tavoitteena oleeseen valmistuskapasiteettiin päästiin. Suurjännitemuuntajan valmistusprosessin korjaavista toimenpiteistä vain käämintälaitteiden ohjelmien muutos toteutettiin.</p>	
Avainsanat	lean, ongelma, röntgensäteilylähde, tuotantosolu, jaksoaika, valmistuskapasiteetti, prosessi

Author Title	Jaakko Kärkkäinen Increasing Manufacturing Capacity of Intraoral Assembly Line
Number of Pages Date	31 pages 7 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Medical Engineering
Instructors	Reima Ollila, Production Manager Esko Tattari, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to increase the manufacturing capacity of intraoral x-ray tubehead assembly line. The bottlenecks in production were in winding of the high voltage transformer and the assembly of the high voltage board.</p> <p>Manufacturing capacity was increased according to lean production principles by identifying the wastes of the processes and eliminating them. The work started by mapping the current state and by making the problem statement between the current state and the target state. The problem could be defined to the winding of the high voltage transformer. The wastes of the high voltage transformers manufacturing process were investigated more thoroughly with video analysis, observation and pareto analysis.</p> <p>As a quick counter-measure the structure of the manufacturing cell was changed from a three work place model into two work space model. By balancing the work load within the cell, waste in relation to wait time was removed from the two work places of high voltage board assembly. In addition to balancing the work load additional waste removal had to be done for the winding of the high voltage transformer.</p> <p>Based on the investigations following counter-measures were selected: changes in the winding programs of the winding machine, stripping of the insulation of the enameled winding wire, infeed of the insulation material and handling the enameled winding wire. Implementations of the chosen counter-measures were researched and tested by searching for information on alternative materials, tools and working methods. A machine for manufacturing the high voltage transformer automatically was investigated as a future state solution.</p> <p>By balancing the work load on the manufacturing cell and increase in skill level of the operators the target capacity was reached. Of all the counter-measures only the changes in the winding programs of the winding machine were implemented successfully.</p>	
Keywords	lean, problem, x-ray tubehead, manufacturing cell, cycle time, manufacturing capacity, process

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lean	2
2.1	Leanin periaatteet	2
2.2	Danaher Business System	3
3	Ongelman määrittäminen	5
3.1	Tavoitteiden määrittäminen	5
3.2	Nykytilan kartoittaminen	5
3.3	Ero tavoitteen ja nykytilan välillä	9
4	Vastatoimenpiteiden suunnittelu	11
4.1	Videoanalyysi	11
4.2	Havainnointi	11
4.3	Eron sulkemiseen vaikuttavat suurimmat tekijät	12
4.4	Vaikutusmatriisi	14
4.5	Vastatoimenpiteiden valitseminen	15
5	Alkukokoonpanon tuotantosolun työkuorman tasapainotus	17
5.1	Työpisteiden tasapainotus ja määrä	17
5.2	Pelikirjojen suunnittelu	17
5.3	Tuotantosolun muutostyöt	18
5.4	Muutostyön aikana toteutettuja parannuksia	19
5.5	Muutosten tulokset	19
6	Muuntajan valmistus	21
6.1	Käämintälaitteen käämintäohjelma	21
6.2	Eristeiden syöttäminen	22
6.3	Käämilangan käsittely	22
6.4	Käämilangan kuoriminen	23
6.4.1	Käämilangan vaihtaminen	23
6.4.2	Käämilangan kuorintatyökalut	24

6.5	Automatisoitu muuntajan valmistus	25
7	Yhteenveto	29
	Lähteet	31

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoitus on kasvattaa KaVo Kerr Group Finlandin tehtaan suurjännitetuotannon intraoraalituotteiden valmistuskapasiteetti vastaamaan kasvavien valmistusmäärien ennusteita. Mikäli valmistuskapasiteettia ei lisätä, tehdas ei pysty toimittamaan intraoraalituotteita tilauksia vastaavaa määrää.

KaVo Kerr Group Finland on osa KaVo Kerriä, joka kuuluu yhdysvaltalaiseen tiede- ja teknologiayhtiö Danaheriin. KaVo Kerr tarjoaa laajan portfolion hammashoidon laitteita eri käyttötarkoituksiin. KaVo Kerr Group Finland on keskittynyt kehittämään ja valmistamaan pääanalueen röntgenkuvantamislaitteita, joiden tuotemerkit ovat KaVo™, GENDEX™, INSTRUMENTARIUM DENTAL™ ja SOREDEX™. Tehdas sijaitsee Tuusulassa, josta löytyvät tuotekehitys, tuotanto sekä tekniset tukipalvelut. (1.)

Yrityksen juuret johtavat vuodelle 1964, jolloin Ruusuvaara Oy perustettiin valmistamaan Yrjö Paateron suunnittelemaa Ortopantomograph® -laitetta. Laite oli ensimmäinen teolliseen valmistukseen soveltuva hampaiston panoraamaröntgenkuvauslaite. Nykyään Tuusulan tehdas valmistaa laitteita kaikkiin eri hammaslääketieteellisen kuvantamisen käyttökohteisiin. (1.)

Lähtötilanteena valmistuskapasiteetin pullonkaulaksi osattiin aikaisempien havaintojen ja prosessin kartoituksen perusteella nimetä suurjännitemuuntajan valmistus, sekä suurjännitekortin kokoonpano. Kehittämällä kyseisiä työvaiheita valmistuskapasiteetti kasvaa suorassa suhteessa aina tavoitekapasiteettiin saakka, sillä muiden työvaiheiden osalta kapasiteetin kasvattaminen ei aiheuta ongelmia.

Valmistuskapasiteettia ei ole tarkoitus lisätä kasvattamalla työhön käytettävän ajan määrää, vaan löytämällä nykyisen tuotantoprosessin hukat, jotka estävät haluttuun kapasiteettiin pääsemisen. Työssä keskitytään voimakkaasti lean-periaatteisiin ja lean-työkalujen soveltamiseen. Työ tarjoaa Tuusulan tehtaalle arvoa kasvattamalla kyseisen tuotantoprosessin tuottavuutta, sekä turvaamalla kyvyn vastata kasvavaan tilauskantaan.

2 Lean

2.1 Leanin periaatteet

Lean on ajattelutapa, jolla tuotannossa sovellettuna pyritään tuomaan lisää arvoa asiakkaalle minimoimalla hukkaa prosessissa.

Prosessissa tehdään sarja toimia halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Toimet suoritetaan prosessin sisällä. Mikäli toimi tuottaa enemmän arvoa kuin kuluttaa sitä, se voidaan luokitella arvoa lisääväksi toimeksi. Kun arvoa lisätään, sen kasvaminen tulee saavuttaa siten, että kustannukset ovat mahdollisimman pienet, jolloin asiakkaan tunnistama arvo saa maksimaalisen kasvun. Hukaksi lasketaan kaikki toimet, jotka aiheuttavat kustannuksia eivätkä lisää asiakkaan tunnistamaa arvoa. (2, s.16.)

Seitsemän hukkan malli on syntynyt, kun perinteinen japanilainen Toyotan valmistusjärjestelmä tuotiin länsimaalaiseen tuotantoympäristöön. Hukat voidaan järjestää seitsemään kategoriaan (2, s.19):

- 1 *Ylituotanto* – valmistaminen, kun ei ole asiakastilauksia
- 2 *Varasto* – raaka materiaali, keskeneräinen tuotanto, tuotteiden loppuvarasto
- 3 *Liike* – tarpeettomat ihmisen liikkeet
- 4 *Viat* – vialliset tuotteet ja toimimattomat palvelut
- 5 *Kuljetus* – tarpeettomat tuotteen kuljetukset prosessien välillä
- 6 *Yliprosessointi* – tuotteiden prosessointi yli asiakkaan tarvevaatimusten
- 7 *Odotus* – aika, joka täytyy odottaa ennen siirtymistä seuraavaan vaiheeseen

Lean-tuotannossa pyritään havaitsemaan kaikkia edellä mainittuja hukkia prosessien sisällä. Hukkia pystytään tunnistamaan prosessinkartoitustyökaluilla, joista tunnetuin on arvovirtakaavio (Value Stream Map). Kun hukat ovat kartoitettu, pystytään tekemään

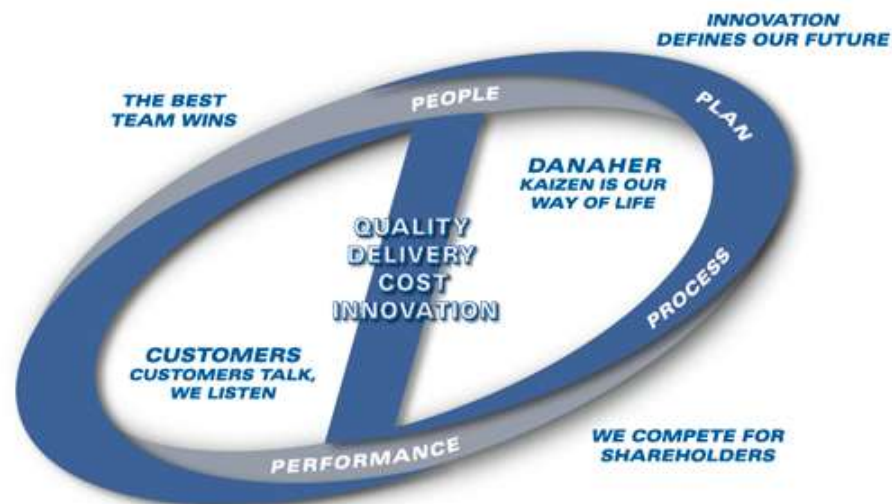
korjaavia toimenpiteitä hukkiin poistamiseksi. Toimenpiteiden tulee kohdistua hukkiin, joiden parantaminen on yhdenmukaista yrityksen toimintastrategian kanssa. (2, s. 30.)

Toimenpiteet tahtotilan mukaisten hukkiin poistamiseksi toteutetaan kaizen-työpajojen kautta. Kaizen-työpaja on tapahtuma, jossa määrätty ryhmä keskittyy ennalta määriteltujen hukkiin poistamiseen noin viikon ajan. (2, s.30.)

2.2 Danaher Business System

Danaher Business System on Danaher konsernin näkemys lean-ajattelun mukaisesta liiketoimintamallista. Yhdessä Danaherin ydinarvojen kanssa DBS ajaa yritystä eteenpäin jatkuvalla muutoksella ja kehityksellä. (3.)

Danaherin logoon on upotettu arvo- ja toimintatapamallit, jotka on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Danaherin ydinarvot (3).

Logon tarkoitus on tuoda esille sanoma, jossa kaikki viisi ydinarvoa yhdistyvät (3):

- "Paras joukkue voittaa."
- "Asiakas puhuu, me kuuntelemme."
- "Kaizen on meidän elämäntapamme."
- "Innovaatio määrittelee tulevaisuutemme."
- "Me kilpailemme osakkeenomistajista."

Ydinarvoista pystytään pitämään kiinni toimimalla seuraavien toimintatapojen mukaisesti. (3.)

Poikkeukselliset *ihmiset* kehittävät merkittäviä *suunnitelmia* ja toteuttavat ne käyttämällä maailmanluokan työkaluja rakentaakseen ylläpidettäviä *prosesseja*, jotka johtavat parempaan *suorituskykyyn*. (3.)

Keskittämällä kaikki toiminta näiden arvojen ja toimintatapojen ympärille, asiakkaalle pystytään turvaamaan neljä asiakaskeskeistä prioriteettia: laatu, toimitus, hinta ja innovaatio. (3.)

3 Ongelman määrittäminen

Ongelmalla tarkoitetaan estettä asetettuun tavoitteeseen pääsemiseksi. Yleensä ongelma koostuu yhdistelmästä erilaisia hukkia, jotka sijaitsevat tavoitteen vaikutusalueella olevissa prosesseissa. Ongelman määrittäminen on kolmivaiheinen prosessi, jossa määritetään tavoitteet, kartoitetaan nykytila, sekä tunnistetaan nykytilan ja tavoitteiden välinen ero.

3.1 Tavoitteiden määrittäminen

Kokonaistavoitteena oli kasvattaa valmistuskapasiteettiä vastaamaan kasvavaa tarvetta, joka pystyttiin määrittämään efektiivisen työajan ja halutun päivittaisen valmistuskapalemäärän suhteena. Haluttuun valmistuskapasiteettiin pääsemiseksi olisi jokaisen operaattorin työaikaa suoraan kuluttavan työvaiheen tahti aika oltava enintään kaavan 1 perusteella laskettava aika.

$$t_{tavoite} = \frac{t_{työaika}}{n} \quad (1)$$

$t_{tavoite}$ on tavoiteaika.

$t_{työaika}$ on yhden päivän efektiivinen työaika.

n on haluttu valmistusmäärä.

Tavoiteaikaan vaikuttavat päivän aikana tapahtuvat muuttuvat asiat, hukat, joiden esiintyminen on epävarmaa. Esimerkiksi viallinen osa voi aiheuttaa yhden tahdin menetyksen. Prosessin haluttua tahti aikaa ei silti haluttu asettaa liikaa laskennallisen tavoiteajan alapuolelle. Toistuvat hukat eliminoidaan prosessista nopeasti, joten tavoitteen määrittämisen kannalta prosessissa olevan sattumanvaraisen hukan ylikorostaminen on itsessään hukkaa ja laskee prosessin tuottavuutta.

3.2 Nykytilan kartoittaminen

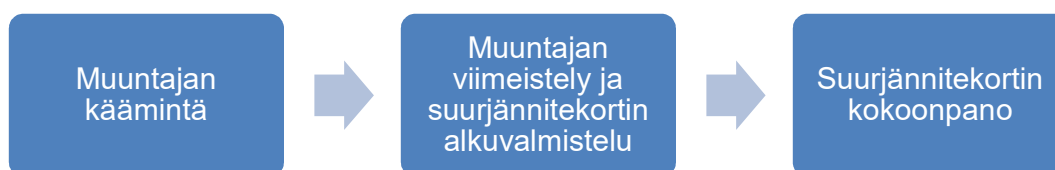
Aikaisemmin tuotannossa tehdyn arvovirtakaavion sekä kellotusten perusteella pystyttiin havaitsemaan prosessivaiheet, jotka estävät haluttuun valmistuskapasiteettiin pääsemi-

sen. Jatkuvalla tuotantoprosessin tilan ylläpitämisellä ja seuraamisella pystytään osoittamaan epäillyt prosessin ongelmakohdat heti, kun tavoitteita tulee muuttaa. Tarkemman tutkimuksen kohteiksi valikoituivat suurjännitemuuntajan valmistus ja suurjännitekortin kokoonpano. Näihin prosesseihin keskittymällä saadaan todennäköisesti suurimmat vaikutukset vähäisemmällä työmäärällä muihin paremmin sujuviin prosesseihin verrattuna.

Jotta pystyttiin verifioimaan ongelma ja ymmärtämään sen laajuus, intraoraaliputkipään tuotantoprosessin nykytila suurjännitetuotannossa kartoitettiin tutustumalla työpisteiden rakenteeseen, kellottamalla prosesseihin kuluvat ajat ja havainnoimalla prosesseja.

Valmistusprosessien työpisteiden rakenne

Kääminta- ja suurjännitekortin kokoonpanon työvaiheet oli jaettu kolmelle työpisteelle, jotka on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Muuntajan kääminnan ja suurjännitekortin valmistuksen työpisteet.

Muuntajan kääminnan työpisteellä pääasiallisena työkaluna oli käämintälaitte, joka tekee muuntajan käämikierrokset koneellisesti. Työpisteellä valmistettiin muuntaja siten, että seuraavalle työpisteelle jätettiin viimeisen eristekerroksen kiinnitys, johtojen katkaisemin oikeaan pituuteen ja kutistesukan asennus.

Toisella työpisteellä muuntajalle tehtiin aikaisemmin mainitut työvaiheet. Suurjännitekortin alkuvalmisteluun sisältyi johtimien juottamista ja muuntajan asennus. Nykyistä työpistemallia edeltävässä tilanteessa työvaiheet olivat sisältyneet muuntajan kääminnan ja

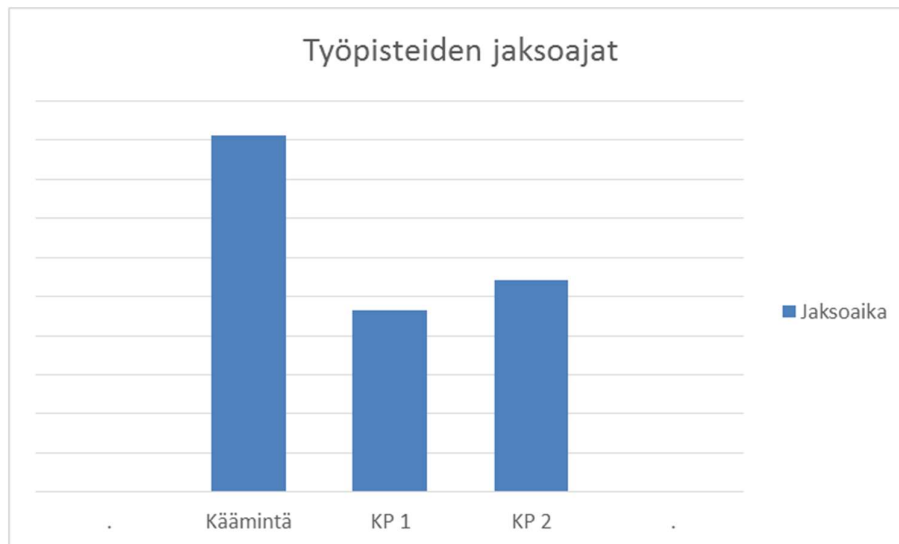
suurjännitekortin kokoonpanon työpisteisiin. Kyseiset työvaiheet erotettiin tälle keskimäiselle työpisteelle, jotta kolme operaattoria pystyisi työskentelemään tuotantosolussa samanaikaisesti ja työkuorma pysyisi tasaisena.

Suurjännitekortin kokoonpanossa alkuvalmisteltuun suurjännitekorttiin asennettiin röntgenputki ja hehkumuuntaja. Ensiksi röntgenputki suunnattiin oikeaan kulmaan suhteessa putken kiinnittimeen. Röntgenputken johdot juotettiin suurjännitekorttiin, kuten myös hehkumuuntajan johdot.

Kellotukset

Kellotukset järjestettiin osana kyseiseen tuotantosoluun aikaisemmin tehdyn kaizenin jälkiseurantaa. Jokaisen työpisteen työvaiheilla oli haluttu tahtiaika, jonka sisällä työvaihe tuli saada suoritetuksi. Operaattorit laitettiin kellottamaan itse omia tahtiaikojansa. Sekuntikello laitettiin päälle, kun sovittu kokoonpanovaihe aloitettiin ja myös ajanotto lopetettiin sovitusvaiheessa. Aika kirjattiin työpisteellä olevaan taulukkoon, josta ajat otettiin ylös viikoittain ja ne siirrettiin Excel-tiedostoon. Mikäli aika ylitti sovittun tahtiajan, se merkittiin punaisella, muutoin vihreällä. Värikoodauksen kautta pystyttiin havaitsemaan nopealla silmäyksellä, oliko työpisteen tahtiaikaan pystyty.

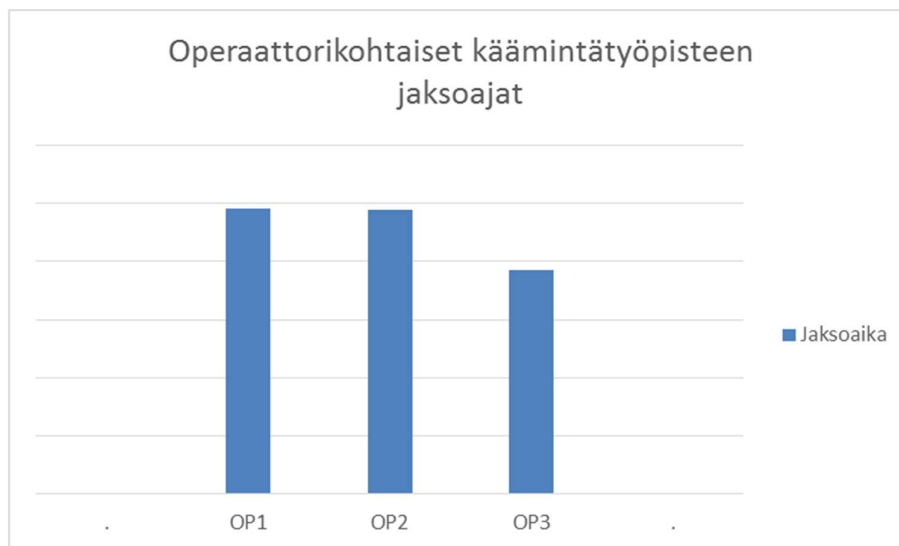
Ajanottoa jatkettiin neljä viikkoa, jotta työnkierron kautta työpisteellä olivat työskennelleet kaikki operaattorit. Tämä oli tarpeellista, sillä eri operaattorit tekevät saman prosessin eri nopeudella. Työpiestekohtaisten jaksoaikojen keskiarvot ovat esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Työpisteiden jaksoaikojen keskiarvot, KP = Kokoonpano.

Kellotustulosten perusteella käämintätyöpisteen työkuorma oli ylimitoitettu suhteessa kokoonpanotyöpisteisiin. Molemmat kokoonpanotyöpisteet vaikuttavat olevan hyvässä tasapainossa työkuorman osalta. Tämän tuloksen perusteella pystyttiin keskittämään suurin osa tulevista tutkimuksista käämintätyöpiesteeseen.

Suurimmat henkilökohtaiset erot operaattoreiden välillä syntyivät muuntajan käämintätyöpiesteellä. Osalle operaattoreista käämintä oli hankalaa ja kellotuksista pystyi huomaamaan suuret varianssit prosessiaikojen välillä eri operaattoreiden kohdalla. Vertailu kolmen operaattorin kesken on esitetty kuvassa 4.

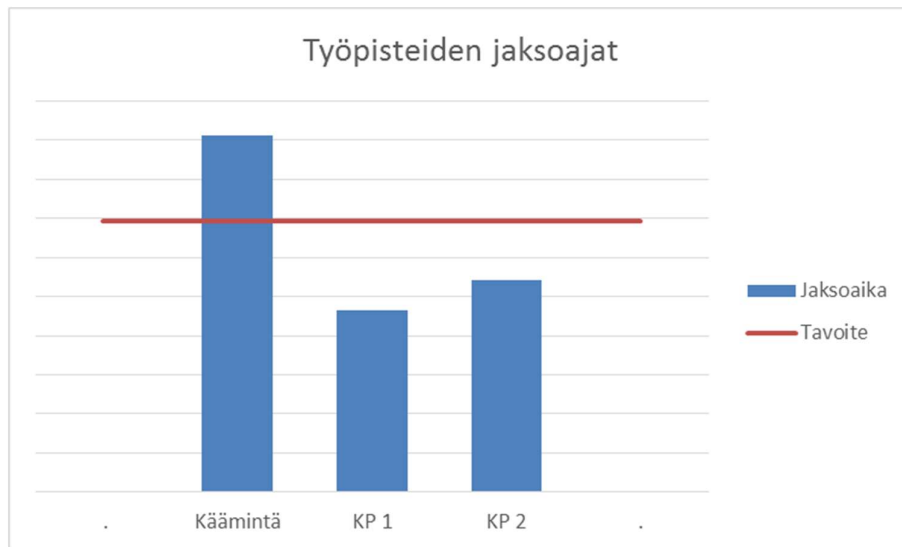


Kuva 4. Operaattorikohtaiset jaksoajat käämintätyöpiestellä, OP = Operaattori.

Kellotusten edetessä jokaisella operaattorilla kuitenkin jaksoajat lyhenivät laskevan trendin mukaisesti. Tähän oli syynä työkierron puute aikaisemmin. Yksi operaattori oli valmistanut kaikki muuntajat jo vuosien ajan, jolloin muut operaattorit eivät olleet harjautuneet kyseiseen työtehtävään, jossa on pitkä oppimiskäyrä.

3.3 Ero tavoitteen ja nykytilan välillä

Ongelma on ero tavoitteen ja nykytilan välillä. Tavoite ja nykytila oli määritetty, joten ongelma pystyttiin osoittamaan. Kuvassa 5 on esitetty käämintätyöpiesteen kellotusten tuloksena saadut työpisteiden tahtiajat.



Kuva 5. Työpisteiden jaksoaika ja jaksoajan tavoite.

Käämintätyöpiste oli ainoa työpiste, jonka jaksoaika jäi alle tavoitellun tahtiajan. Molemmat kokoonpanotyöpisteet olivat jaksoajaltaan selkeästi tavoiteajan paremmalla puolella. Kokoonpanopisteiden osalta jaksoaikaa oli mahdollisuus kasvattaa. Todettiin, että ero tavoitteen ja nykytilan välillä pystyttäisiin sulkemaan joko pienentämällä pelkästään käämintätyöpisteen jaksoaikaa tai etsimällä tasapaino näiden kolmen työpisteen työkuorman välillä.

4 Vastatoimenpiteiden suunnittelu

Tutkimusten perusteella löydettiin ongelma, joka tuli ratkaista. Käämintäyöpisteen tahti-aika oli selkeästi yli tavoiteajan, joten kyseisen prosessin rakenne tuli opiskella tarkemmin videoanalyysin ja havainnoinnin avulla.

4.1 Videoanalyysi

Sekuntikellon avulla oli hyvin haastavaa saada tarkkaa kuvaa sitä, kuinka paljon aikaa mikäkin tuotantoprosessin vaihe vie. Videon pystyi pysäyttämään ja kelaamalla tarkastelemaan halutun työvaiheen aikaa sekunnin tarkkuudella. Tämä oli erityisen tärkeää, kun haettiin parannuksia sekuntitasoilla.

Videoita katsoessa huomio kiinnittyi myös siihen, mitä erikoista videolla tapahtui ja tapahtumia voitiin tarkastella siirtymällä takaisin. Tämä olisi ollut paikan päällä havainnoimalla mahdotonta. Pelkästään videota seuraamalla havaittiin asioita, jotka voisi tehdä yksinkertaisemmin. Eri operaattoreiden työskentelyä seuraamalla pystyttiin havaitsemaan eri operaattoreiden erot saman prosessin tekemisessä.

Videoanalyysin aikana tuli mieleen saman tien asioita, joita voisi parantaa. Nämä asiat olivat tärkeitä siinä vaiheessa, kun suunniteltiin parannuksia itse prosessiin. Varmistamalla videolta havaitut asiat itse työpisteellä, voi olla varma, että on korjaamassa oikeaa asiaa.

4.2 Havainnointi

Eräs lean-ajattelun kulmakivistä on gemba, paikka jossa kaikki tapahtuu. Japaninkielinen käännös sanalle gemba on ”oikea paikka”. Löytääkseen oikean ongelman, ongelmaa täytyy etsiä oikeasta paikasta ja varmistua ongelmista kysymällä varmistavia kysymyksiä.

Pelkästään kellotukset ja videoanalyysi eivät johda tilanteeseen, jossa voidaan yksiselitteisesti nimetä prosessin ongelmakohdat, joita muuttamalla päästään tavoitetilaan. On helppoa ajatella, että asian voisi tehdä paremmin, mutta kun korjaavan toimenpiteen toteuttaa käytännössä, sen vaikutus voi olla päinvastainen.

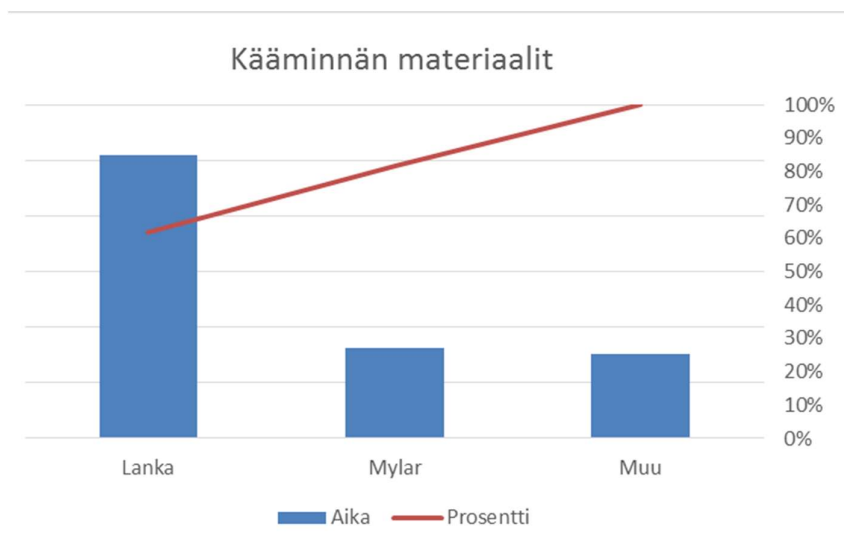
Parhaimmat ehdotukset ja tärkein palaute tulee yleensä operaattoreilta, jotka tekevät päivittäin kyseistä työtä. On tärkeää löytää oletetut ongelmat kellotettujen aikojen perusteella, mutta nämä tulee varmistaa gembassa. Operaattoreita haastatteleamalla voidaan löytää lisää ongelmakohtia ja saada ehdotuksia korjaaviksi toimenpiteiksi. Yhdistämällä omat havainnot operaattoreiden kokemuksen kanssa saadaan paras lopputulos.

4.3 Eron sulkemiseen vaikuttavat suurimmat tekijät

Eron sulkemiseen vaikuttavat suurimmat tekijät pystyttiin osoittamaan tarkasti videoanalyysistä saatujen tietojen perusteella. Videointi keskitettiin kellotusten perusteella pelkääntään muuntajan käämintävaiheeseen. Käämintä jaettiin 48:aan työvaiheeseen, joiden työajat olivat välillä 4–34 s. Sekuntikellon avulla olisi ollut mahdotonta tutkia prosessia tällä tasolla. Videoista saatuja työvaiheiden aikoja tutkittiin tarkemmin kolmen eri tason pareto-analyysillä.

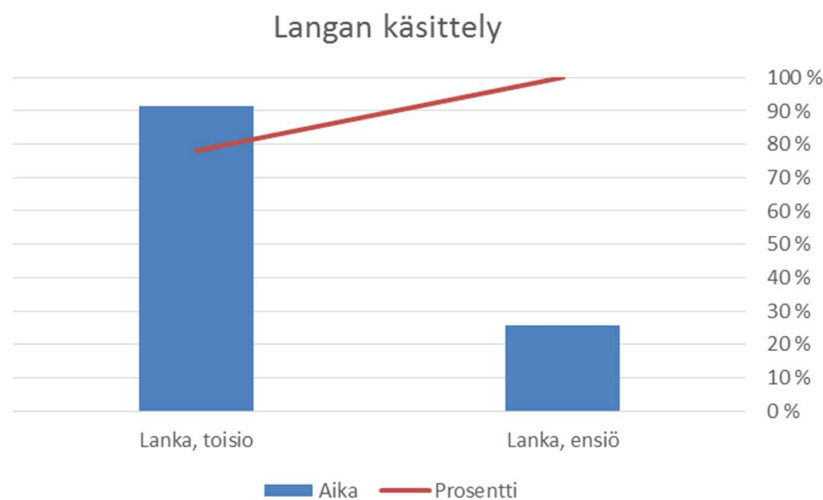
Pareto-analyysin tarkoituksena on löytää kokonaisuudesta prosessin osa-alueet, jotka muodostavat suurimman prosentuaalisen osan tutkittavan kokonaisuuden ongelmista. Näin voidaan etsiä parannettavia kohteita, mikäli niiden löytäminen ei ole muuten selkeää. Tutkittavan prosessin vaiheet määritetään saatavilla olevien faktojen perusteella useaan eri kategoriaan. Kategoriat tulee valita siten, että ne ohjaavat havaitsemaan prosessin ongelmia liittyen esimerkiksi materiaaliin tai työmenetelmään. Pareto-analyysistä voidaan tehdä useita tasoja, joissa pureudutaan aina entistä syvemmälle osa-alueisiin.

Muuntajan käämintää varten tehtiin pareto-analyysi kolmessa tasossa. Pareto-analyysistä jätettiin pois työvaiheet, jotka käämintälaitte tekee itsenäisesti. Ensimmäisessä tasossa haettiin eri materiaalien käsittelyyn käytettävää aikaa. Osa-alueet olivat mylar, lanka ja muut. Muut tarkoittivat prosessivaiheita, joihin kuului käämintälaitteen käyttäminen, laadunvarmistus, teippien ja muuntajarungon käsittely. Ensimmäisen tason pareto-analyysin tulokset on esitetty kuvassa 6.



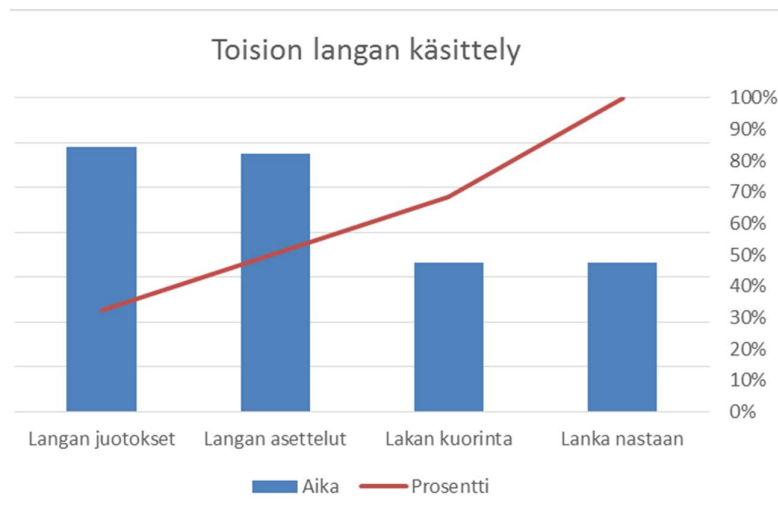
Kuva 6. Ensimmäisen tason pareto-analyysi.

Materiaalin osalta eniten aikaa käytettiin lankaan liittyviin työvaiheisiin. Lankaan kuluva osuus ajan osalta muuntajan valmistusprosessissa oli 62 %. Lankaan liittyvien työvaiheiden havaitsemiseksi tehtiin toisen tason pareto (kuva 7), jossa kategoriat olivat ensiön lanka ja toision lanka.



Kuva 7. Toisen tason pareto-analyysi, langan käsittely.

Toision langan käsittelyn ajan osuus lankaan liittyvissä työvaiheissa oli 80 %. Toision lankaan liittyvistä vaiheista muodostettiin kolmannen tason pareto (kuva 8), jossa kategorioina olivat juotokset, asettelut, kuorinta ja langan asettelu kontaktinastaan.



Kuva 8. Kolmannen tason pareto, toision langan käsittely.

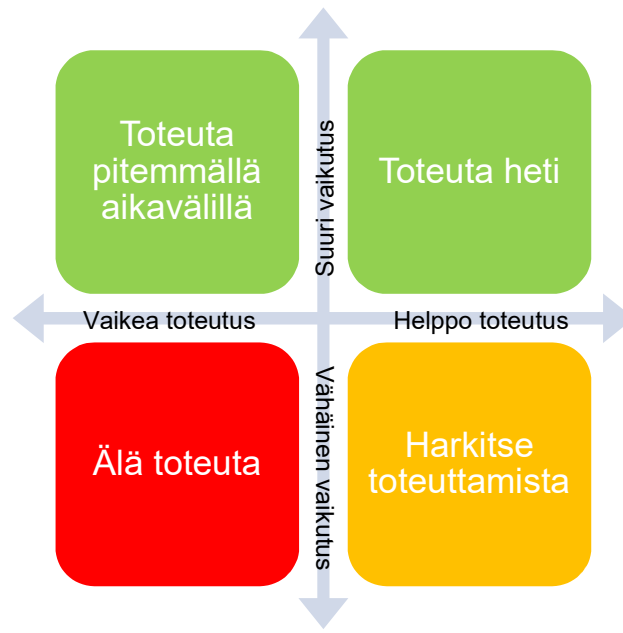
Kolmannen tason pareton perusteella oltiin koko muuntajan valmistusprosessin osalta ajallisesti niin pienen prosessiyhdistelmän sisällä, että jokainen kategoria tuli tutkia tarkasti. Kellotusten, videoanalyysin ja havaintojen pohjalta tulokset vaikuttivat loogisilta. Kyseiset neljä prosessivaihetta vaativat käsityötaitoja käämilangan käsittelyn osalta.

Videoiden katsomisen perusteella gembassa tarkemmin tutkittavat asiat olivat lakan kuorinta, käämintäkoneen ohjelman vaihtaminen, ensiölangan pujottaminen sekä käämilangan käsittely. Pareto-analyysin avulla ei siis päästy täysin samaan tulokseen videosta tehtyjen havaintojen kanssa, mutta lakan kuorinta ja käämilangan käsittely olivat jo havaintojen perusteella osoittautuneet hukkaa sisältäviksi prosessivaiheiksi.

4.4 Vaikutusmatriisi

Vaikutusmatriisiin tarkoituksena on järjestää vastatoimenpiteet matriisiksi, josta nähdään helposti ne toimenpiteet, jotka toteutetaan heti ja ne jotka toteutetaan myöhemmin.

Vaikutusmatriisissa (kuva 9) vaaka-akseli toimii toteutuksen haastavuuden mittarina, pystyakseli kuvastaa toimenpiteen vaikutusta. Vaikutus tarkoittaa kyseisen vastatoimenpiteen toteuttamisen vaikutusta eron sulkemisessa. Toteutus kuvastaa toteutuksen haastavuutta. Vastatoimenpiteistä ensimmäisenä kannattaa toteuttaa ne toimenpiteet, jotka asettuvat suuren vaikutuksen ja helpon toteutuksen neljännekseen.



Kuva 9. Vaikutusmatriisin periaate.

Saatujen faktojen perusteella tehtiin vaikutusmatriisi, josta valikoitiin seuraavat vastatoimenpiteet toteutettaviksi:

- käämilangan kuorinnan kehittäminen tai käämilangan vaihtaminen suoraan juotettavaksi.
- ensiölangan ohjauksen automatisointi.
- käämilangan käsittelyn vakioitu työtapa.
- ensiön ja toision käämintäohjelmien yhdistäminen.

4.5 Vastatoimenpiteiden valitseminen

Tuotantosolussa olevan työkuorman epätasapainon takia ensimmäinen toteutettava vastatoimenpide oli tasapainottaa työpisteiden työkuormat siirtämällä työtä työpisteiden välillä. Työpisteiden tasapainottamista varten tuli ottaa huomioon käämintätyöpisteelle suunniteltujen vastatoimenpiteiden vaikutus. Tällä toimenpiteellä pystyttiin tuomaan käämintätyöpisteen nykyistä tahtiaikaa lähemmäksi tavoiteaikaa tekemättä kehitystä itse

käämintäprosessiin. Tämä toimenpide siirtää hukkaa työpisteiden välillä, mutta siten mahdollistetaan yksittäisen työpisteen pääseminen tavoiteaikaan. Hukkaa poistuu muilta työpisteiltä odotusajan muodossa, joten saavutettu hyöty on suurempi kuin haitta.

Työpisteiden tasapainottamisen jälkeen pystyttiin siirtymään käämintätyöpisteeseen suunniteltuihin vastatoimenpiteisiin ja poistamaan yksittäisen työpisteen prosessin hukkaa. Lopputuloksena saadaan tuotantosolu, jonka kaikki prosessivaiheet pääsevät tavoiteaikaan.

5 Alkukokoonpanon tuotantosolun työkuorman tasapainotus

5.1 Työpisteiden tasapainotus ja määrä

Kasvanutta tuotantokapasiteettia varten vuoden alussa oli pidetty kaizen, jonka tarkoituksena oli mahdollistaa uuteen tarpeeseen vastaaminen. Kyseiseen kaizeniin lähdettiin siltä pohjalta, että tasapainottamalla työpajauma sopivasti, saadaan kolme työpistettä, joista jokaisella työpisteellä on yhtä suuri työmäärä. Näin ollen kolmella henkilöllä päästäisiin uuteen valmistusmäärätavoitteeseen. Muutoksen yhteydessä aloitettiin kouluttamaan uusia operaattoreita kyseisen tuotantosolun työtehtäviin.

Kaizenin jälkiseurantaa suorittaessa huomattiin, että työpajauma ei ollutkaan niin tasainen kuin alkuperäisten kellotustulosten perusteella kuin luultiin. Kellotukset ennen kaizenia oli tehty operaattorilla, joka oli tehnyt työvaihetta jo vuosia. Kellotustulokset joilla kaizeniin lähdettiin, eivät olleet todenmukaisia.

Työmäärä oli painottunut tuotantosolun ensimmäiselle työpisteelle, eli muuntajan käämintään. Käämintätyöpisteeltä oli siirretty viimeistelyvaihe keskimmaiselle kokoonpanotyöpisteelle. Käämintätyöpisteen jaksoaika oli suunnilleen yhtä suuri, kuin molempien kokoonpanopisteiden jaksoaika yhteensä. Tilanne ei vaikuttanut muuttuvan operaattoreiden kokemuksen karttuessaan.

Kerättyjen tietojen perusteella oli järkevää palata alkuperäiseen kahden työpisteen malliin, joskin lisäksi tarvittaisiin toinen kokoonpanosolu valmistuskapasiteetin kasvattamiseksi. Molemmista kokoonpanopisteistä luotiin yhdistetyt kokoonpanopisteet, jotka sisälsivät kaiken mitä työpisteet aikaisemmin sisälsivät yhdessä. Kaizenin yhteydessä suunniteltiin uudelleen työpisteen materiaalinsyötöt, sillä samaan tilaan täytyi saada kahden työpisteen materiaalit ja työkalut. Toiseksi muuntajan käämintätyöpisteeksi rakennettiin uusi työpiste.

5.2 Pelikirjojen suunnittelu

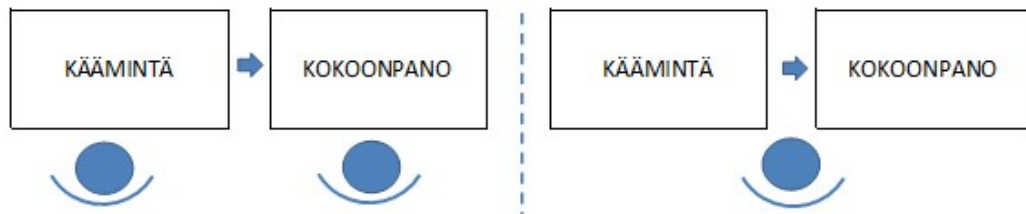
Aikaisemmassa kolmen työpisteen mallissa maksimikapasiteetilla pelikirja (kuva 10) toimi kolmella operaattorilla, jossa jokainen työpiste oli kuormitettuna jatkuvasti. Tämä ei

mahdollistanut joustavuutta tuotannossa. Neljättä operaattoria ei voida ottaa tuotantosoluun lisäämään kapasiteettia, mikäli tuotanto halutaan esimerkiksi keskittää työpäivän ensimmäiselle puoliskolle.



Kuva 10. Vanha maksimikapasiteetin pelikirja.

Kahdella kahden työpisteen tuotantosolulla pystyttiin lisäämään pelikirjojen variaatiota siten, että haluttu tavoitteen maksimikapasiteetti oli myös saavutettavissa kolmella operaattorilla (kuva 11). Teoreettinen maksimikapasiteetti on suurempi kuin kolmella työpisteellä. Haittapuolena yksi työpiste tulee olemaan tyhjänä osan ajasta, jolloin se ei tuota arvoa ja lisää hukkaa tilan käytön osalta.



Kuva 11. Uusi maksimikapasiteetin pelikirja.

5.3 Tuotantosolun muutostyöt

Lähtökohtana kahden työpisteen materiaalit ja työkalut tuli saada mahtumaan yhteen työpisteeseen. Materiaalilaatikoiden sisältämiä määriä pienentämällä päästiin tilanteeseen, jossa pystyimme pienentämään materiaalilaatikoiden leveysuunnassa viemää tilaa. Pientarvikkeiden materiaalilaatikot siirrettiin pois varsinaiselta materiaalinsyöttötasolta uudelle materiaalitasolle, joka sijoitettiin liikutettavan työtason alapuolelle. Näillä muutoksilla materiaalit saatiin mahtumaan yhteen materiaalinsyöttötasoon työpisteellä.

Ensimmäiselle kokoonpanotyöpisteelle oli edellisen kaizenin yhteydessä siirretty muuntajakokoonpanon viimeistely, johon kuului viimeisen eristemyllarin sekä kutistesukan asennus. Näiden vaiheiden työaika oli ratkaiseva tekijä siinä, että muuntajan käämintävaiheen tahtiajasta saatiin yhtenevä uuden kokoonpanopisteen jaksoajasta, joten kyseiset vaiheet siirrettiin osaksi muuntajan käämintää.

5.4 Muutostyön aikana toteutettuja parannuksia

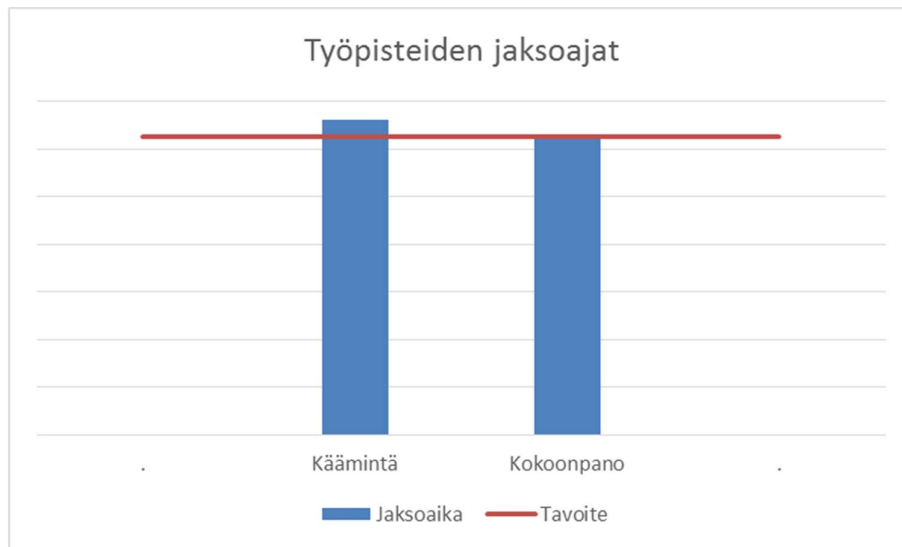
Työpisteiden muutoksia rakentaessa tehtiin havaintoja asioista, jotka voisi työpisteellä tehdä paremmin. Suurin parannus oli induktanssimittauksen uudelleen suunnittelu.

Muuntajan kääminnän jälkeisenä laadunvarmistustoimenpiteenä suoritetaan muuntajalle molempien toisioden induktanssimittaukset. Aikaisempi mittausjigi toimi kahdella induktanssimittarilla. Muuntaja asetettiin sen nastoista kiinni mittausjigin liittimiin, josta oli yhteys kumpaankin induktanssimittariin. Mittauksen häiriöiden takia mittaus tuli suorittaa yksi mittari kerrallaan, sillä molempia toisioita mitatessa samanaikaisesti syntyi häiriöitä. Molemmille toisioille oli siis oma mittarinsa, joihin oli kytketty kaksinapaisella kytkimellä toimiva kytkentä, joka vaihtoi mittauksen aina toiseen toisioon.

Mittaus oli mahdollista suorittaa käyttämällä vain yhtä induktanssimittaria, mikäli mittauskytkentä tehtäisiin käyttämällä kolmenapaista on-on – kytkintä. Mittausjigin kokoa saatiin pienennettyä, mittaushäiriöt poistuivat, sekä toinen induktanssimittari saatiin kokonaan pois työpisteeltä.

5.5 Muutosten tulokset

Tasapainotuksen vaikutuksia seurattiin järjestämällä jokaiselle työpisteelle kellotustaulukko, jota täytettiin vastaavalla periaatteella kuin nykytilan kartoituksessa. Kellotuksia suoritettiin kolme viikkoa. Kellotusten tulokset ovat esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Työpisteiden jaksoajat muutoksen jälkeen.

Pelkästään tasapainottamalla työpisteet siirtämällä hukkaa tuotantosolun sisällä päästiin lähelle tavoitetta. Muuntajan valmistukseen suunniteltujen vastatoimenpiteiden toteutuksen jälkeen käämintäpiste tulee olemaan tavoitteessa. Molempien työpisteiden jaksoajat tulevat pienenevään laskevan trendin mukaisesti operaattoreiden harjaantuessa

6 Muuntajan valmistus

Suurjännitemuuntajan valmistus osoittautui kaikista haastavimmaksi työvaiheeksi suorittaa tahtiajan haluamassa ajassa siten, että jokainen operaattori pystyisi siihen. Yksittäisiä muuntajia pystyttiin valmistamaan tahtiajan puitteissa, mutta koko päivän ajan tahtiaikaan pääseminen jokaisen muuntajan osalta ei ollut mahdollista. Tutkimalla muuntajan valmistusprosessia pareto-analyyysien kautta ja havainnoimalla työpisteellä suurimmat variaatioita tahtiaikoihin aiheuttavat valmistusvaiheet löydettiin. Muuntajalangan kuorinta ja käsittely veivät suurimman osan koko prosessiajasta. Muita pienempiä haasteita olivat käämintäohjelman vaihto, ensiön käämintä. Jokaiseen varianssia aiheuttavaan valmistusvaiheeseen lähdettiin hakemaan helpottavia ratkaisuja.

6.1 Käämintälaitteen käämintäohjelma

Suurjännitemuuntaja valmistettiin käyttäen kahta ohjelmaa. Toisille ja ensiölle oli omat ohjelmansa. Käämintäohjelmaa tuli vaihtaa muuntajan valmistuksen aikana kaksi kertaa. Käämintäkone on tarkoitettu käytettäväksi sivusta päin, joten ohjauspaneeli on kyseessä olevassa prosessissa käämintäkoneen sivulla. Käämintäkoneen näytön katselukulma rajoittuu näytön eteen, joten sivusta katsottuna näytön kuvasta on vaikea saada selvää. Käämintäohjelman vaihto edellytti kurottelua käämintäkoneen sivulle, jotta ohjauspaneelin näytöstä saa selvää. Koneen käyttöliittymä oli hidas ja ohjelman vaihtamiseen kului tarpeettoman paljon aikaa.

Erillisille käämintäohjelmille ei löytynyt varsinaista syytä, joten ohjelmat pystyttiin muuttamaan yhdeksi ohjelmaksi, jolloin ohjelman vaihtamista ei enää tarvita. Käämintälaitteen ohjelmiston ominaisuudet aiheuttivat haasteita, koska käämintäsuuntaa täytyi vaihtaa kesken muuntajan kääminnän. Ohjelmisto vaihtoi käämintäsuunnan vaihdon yhteydessä pyörimisakselin paikkatiedon kasvamaan pyörintäsuunnan mukaiseen suuntaan. Käämintäohjelma sisälsi akselin paikkatietoja, jotka eivät enää päteneet suunnan vaihdon jälkeen. Käämintäkoneen ohjelmistoa opiskelemalla ohjelman sai soveltumaan käytettäväksi kaikissa muuntajan valmistuksen vaiheissa. Muutoksella saavutettiin parannuksia työergonomiassa ja ohjelman vaihtoon kuuluva hukka saatiin poistettua.

6.2 Eristeiden syöttäminen

Mylar-eristeitä tulee muuntajaan yhdeksän kappaletta, jotka ovat kaikki muuten täysin samaa eristettä, mutta niiden pituus vaihtelee vaiheen mukaan. Eristelaatikoiden suuren määrän vuoksi työpisteen ergonomia ei ole täysin optimaalinen. Eristeitä joudutaan ottamaan työpisteen väärältä puolelta ja ne viedään työpisteen toiselle puolelle ionisoivaa harjausta varten.

Yksi idea eristeiden syöttämiseksi oli vaihtaa materiaalilaatikat materiaaliputkiin, jotka voisi asettaa työpisteelle pystysuunnassa, jolloin ne veisivät vähemmän pinta-alaa työpisteeltä. Tämä osoittautui vain välivaiheeksi ja lopullinen tahtotila oli hankkia työpisteelle oma eristeleikkuri.

Eristeleikkuri tulisi leikkaamaan jokaisen eristeen juuri ennen kuin se tarvitaan seuraavassa vaiheessa. Käämintäkone lähettää herätteen, jolloin eristeleikkuri tietää siirtyä seuraavaan pituuteen. Operaattori pystyy ottamaan seuraavan tarvittavan eristeen paljon optimaalisemmasta paikasta, sillä leikkurin pystyisi sijoittamaan kokonsa puolesta työpisteelle paljon parempaan paikkaan. Materiaalin hallinnan kannalta työpisteellä leikatut eristeet vähentäisivät työtä marketin puolella. Mylar-eristeen materiaaliominaisuuksista johtuen valmista leikkuria ei löytynyt markkinoilta, joten leikkuri päädyttiin suunnittelemaan itse.

Mylar-rullan pää ohjataan rullien välistä, joita liikutetaan askelmoottorilla. Pituutta ohjataan optisella anturilla, joka huomaa eristeen ilmaantumisen anturin kohdalle. Tästä hetkestä alkaen askelmoottoria ohjataan niin monta kierrosta, että haluttu mitta saavutetaan. Leikkuriin on tarkoitus asettaa kahdeksan eri pituutta, jotka pystytään leikkaamaan sekvenssinä. Leikkuri saa herätteen leikkausta varten käämintälaitteen ohjelmalta GPIO-portin kautta. Askelmoottori, anturi ja käämintälaite kommunikoivat Arduino UNO:n välityksellä.

6.3 Käämilangan käsittely

Muuntajan valmistuksessa käytettävän käämilangan halkaisija on vain 0,2 mm, joten langan käsittely vaatii paljon harjoittelua. Käsittely tapahtuu siten, että siihen ei ole mahdollista hankkia erityistä työkalua helpottamaan käsittelyä. Parhaat työskentelytavat etsittiin

seuraamalla pitkään muuntajan valmistusta tehneen operaattorin työskentelyä ja havainnoimalla eroja kyseisen operaattorin ja harjoittelevan operaattorin työskentelyn välillä.

Käsittelyn erot syntyivät täysin langan käsittelyyn liittyvistä käden taidoista. Pitkän käämintäuran tehnyt operaattori käsitteli ohutta lankaa sulavammin ja nopeammin kuin harjoitteleva operaattori. Nopeamman työskentelytavan löytäminen, johon kaikki olisivat pystyneet, ei tuntunut mahdolliselta ilman teknisiä apuvälineitä. Tekniset apuvälineet johtivat ajatukseen automaattisesta muuntajan valmistuksesta robotin avulla, jonka hankkimista alettiin suunnitella ottamalla yhteyttä käämintälaitevalmistajaan.

6.4 Käämilangan kuoriminen

Käämilanka koostuu johtimesta ja kahdesta eristekerroksesta. Käytetyn käämilangan eristekerros ei ollut suoraan juotettavaa. Eristekerros estää sähkön johtumisen, joten eriste tulee kuoria johtimen päältä ennen kuin käämilanka voidaan juottaa muuntajarungon nastaan. Käämilanka kuorittiin aikaisemmin mattoveitsen terällä rapsuttamalla varovasti lakkaeriste pois langan päältä. Ensivaikutelma käämilangan kuorisesta oli, että kyseessä on turhaa työtä, jonka voi helposti korvata muulla menetelmällä. Suurin paranus syntyi, mikäli käämilanka vaihdettaisiin lankaan, jonka pystyy juottamaan suoraan.

6.4.1 Käämilangan vaihtaminen

Vertaamalla eri käämilankojen ominaisuuksia ainoa ero käytetyn käämilangan ja suoraan juotettavissa olevan käämilangan välillä oli lämpöluokitus. Käytetyn käämilangan lämpöluokitus oli 200 °C, kun taas juotettavissa olevan käämilangan lämpöluokitus sijoittui noin 195 °C:n tuntumaan. Ero oli niin pieni, että oletettavasti langan muutos ei aiheuttaisi ongelmia tuotteessa. Muutos tulisi testata, mikäli se toteutettaisiin.

Juotettavan käämilangan suositusten mukainen juotoslämpötila oli 480 °C. Muuntajarunko on valmistettu muovista ja kontaktinastat joihin lanka juotetaan, on upotettu runkoon. Liian suuri nastaan kohdistuva lämpö juotosvaiheessa johtuu nastasta muuntajarunkoon ja pehmentää nastan ja rungon kontaktia siten, että nasta irtoaa rungosta.

Kun juotettavaa käämilankaa saatiin hankittua testiä varten, ensimmäinen vaihe oli löytää pienin mahdollinen juotoslämpötila langalle. Tavallisella juotosasemalla, jonka

juotoslämpötilan maksimi oli 475 °C, ei lanka juottunut tasaisesti nastaan. Sähköllä toimivat juotinasemat eivät yleisesti tue yli 475 °C:n lämpötiloja. Vaikutti siltä, että lanka tarvitsisi selkeästi suuremman lämpötilan nopeaan juotokseen. Testejä varten hankittiin butaanikaasulla toimiva juotoskynä, jonka maksimilämpötila oli 550 °C. Suuttimiksi valittiin pienellä aukolla oleva puhalluskärki, pieni- ja keskikokoinen juotoskärki sekä kutistesukkia varten suunniteltu puhalluskärki kaarevalla vastalevyllä.

Juotettava käämilanka saatiin juotettua juotoskynällä muuntajarungon nastaan käyttämällä puhalluskärjessä maksimilämpötilaa. Lämpö kohdistui pelkästään nastan toiselle puolelle, joten tina ei tarttunut käämilankaan nastan toiselta puolelta. Lisäksi näin suuri lämpö aiheutti muoviseen muuntajarunkoon niin paljon lämpöä, että nastat irtosivat jokaisesta testikappaleesta juotoksen yhteydessä. Näin suurella lämmöllä juotettavaa käämilankaa ei siis voitu käyttää kyseisessä sovelluksessa.

6.4.2 Käämilangan kuorintatyökalut

Käämilanka kuorittiin rapsuttamalla käämilangan pintaa varovasti mattoveitsen terällä. Tähän prosessiin ei ollut olemassa standardia, sillä jokainen operaattori käytti mattoveistä oman tuntumansa mukaisesti. Kun kysyimme operaattoreilta ”Kuinka paljon eristettä tulee kuoria langan pinnalta?”, operaattoreiden vastaukset todistivat, että jokainen tekee kuorintaa oman kokemukseen perustuvan tuntemuksen perusteella. Kuorinta-ajat vaihtelivat eri operaattoreiden välillä suuresti. Kuorintaan tuli löytää työkalu, jolla kuorintaan löydetään standardi laadun sekä prosessiajan vakioimiseksi.

Erään toisen tuotteen suurjännitemuuntajassa käytetään paksumpaa käämilankaa kuin intraoraalituotteiden muuntajassa. Paksumpaa käämilankaa pystytään kuorimaan siihen tarkoitettulla työkalulla, jossa kolme terää pyörivät suurella nopeudella ja pyörimisen aiheuttama keskipakoisvoima pienentää terien välistä etäisyyttä. Terien väliin asetetusta käämilangasta kuoriutuu käämilangan paksuuden ja terien välisen etäisyyden erotuksen mukainen määrä eristettä. Tätä kyseistä sähkötoimista kuorintalaitetta oli kuuleman mukaan kokeiltu aikaisemmin, eikä se ollut vakiinnuttanut paikkaansa tehtävässä.

Tuotetietojen mukaan kuorintalaite soveltui käytettäväksi intraoraalituotteiden muuntajassa käytettävän käämilangan kanssa. Kuorintalaitteen terät tuli asettaa lähemmäksi toisiaan, sekä pyörimisnopeus tuli säätää sopivaksi kyseiselle käämilangalle. Irralliseen käämilankaan kuorintalaite vaikutti toimivan hienosti. Kuorintajälki oli tasalaatuista ja

kuorintaan kuluva aika pieneni. Kuorintalaite otettiin kokeilukäyttöön käämintätyöpis-
teelle.

Kokeilun aikana havaittiin vikoja, joiden takia kuorintalaitteen käyttöä ei enää jatkettu. Käämilangan asettaminen kuorintalaitteeseen oli haastavaa. Langan tuli mennä kolmen terän keskeltä kuorintalaitteen aukkoon. Mikäli lanka oli huonosti aseteltu kuorintalaitteeseen, niin terät katkaisivat langan. Kuorintalaitteen kärjen suojuus oli kooltaan niin iso, että se ei mahtunut tarpeeksi lähelle muuntajarunkoa langan ollessa jo käämittynä runkoon. Lisäksi kuorintalaitteen säädöt muuttuivat, kun laitetta käytettiin pitkiä aikoja. Aamalla kuorinta onnistui hyvin ja päivällä laite ei enää kuorinut ollenkaan tai se katkaisi langan.

Myös useita käsikäyttöisiä kuorintalaitteita kokeiltiin. Laitteiden toimintaperiaate oli kuoria eriste pois kahden terän välissä. Laitteet osoittautuivat sopimattomiksi kyseiseen käyttöön kokonsa puolesta, eikä yksikään toiminut tasalaatuisesti. Jokainen kuorintalaite katkaisi langan täysin sattumanvaraisesti. Langan eristekerros on niin lujasti kiinni johtimessa, että sen irrottaminen hauraan johtimen ympäriltä vetämällä katkaisee langan.

6.5 Automatisoitu muuntajan valmistus

Suurjännitemuuntajan valmistusprosessin hukkien kartoitus, havainnointi ja korjaavien toimenpiteiden suunnittelu ja kokeilut johtivat ajatukseen automaattisesta muuntajan käämintälaitteesta. Muuntajan valmistamiseen liittyi hukkaa, jonka alkuperä on täysin operaattorin langankäsittelytaidoista kiinni. Kyseisen hukan pystyy minimoimaan, mutta ohuen muuntajalangan käsittely on todella yksilöllistä, jolloin varianssi eri operaattoreiden välillä on mahdotonta poistaa täydellisesti.

Automaattinen muuntajan käämintälaite pystyisi valmistamaan muuntajan aina samaan jaksoaikaan. Jaksoajan voidaan myös olettaa olevan selkeästi pienempi, kuin mihin operaattori pystyy. Kyseisen suurjännitemuuntajan rakenne on valmistuksen kannalta haastava, joten valmistuksen automatisointiin liittyi haasteita. Automaattisen käämintälaitteen kannalta näitä haasteita tulevat olemaan eristekerrosten asettaminen muuntajaan, ensiölangan liukuminen eristeen päällä sekä juotokset.

Eristeen vaihtaminen

Käytössä oleva eriste on liimatonta, joten laitteen olisi haastavaa saada eristettä pysymään kiinni muuntajan pinnassa valmistusvaiheiden vaihtuessa. Manuaalisessa valmistuksessa nämä kiinnitykset tehdään muutamassa kohdassa teipin avulla. Automaattisen muuntajan valmistusprosessin yhdeksi edellytykseksi muodostui eristeen vaihtaminen liimapintaiseksi.

Liima kasvattaa eristeen kokonaispaksuutta. Liiman sähköiset eristysominaisuudet ovat heikkomat kuin itse eristemateriaalin, jolloin liima pienentää eristeen jännitekeston ja paksuuden suhdetta. Saman jännitekeston saavuttamiseksi eristettä tulisi asentaa koko muuntajan osalta neljä kertaa niin paljon kuin nykyistä eristettä. Käämilangan ja eristeen kokonaispaksuus on nykyisellä rakenteella todella lähellä muuntajarungon sallimaa maksimipaksuutta. Maksimipaksuuden ylittyessä muuntajarunkoon ei pystytä kiinnittämään ferriittejä. Täysin samanlaista jännitekestoja ei siis voida saavuttaa eristeteipillä.

Muuntaja tulee suunnitella uudelleen eristeteipin paksuuden huomioon ottavalla rakenteella. Uuden rakenteen suunnittelussa ja testaamisessa tulee ottaa huomioon lämpeneminen ja alentunut läpilyöntilujuus. Lämpenemisen on todettu aiheuttavan ongelmia suurilla jännitteillä. Eristeteipillä muuntajan rakenteesta tulee tiiviimpi, jolloin lämpö ei pääse siirtymään muuntajasta yhtä hyvin kuin väljemmällä rakenteella, sillä muuntajaöljy ei pääse täysin leviämään muuntajan sisään. Läpilyöntilujuuden raja-arvoista ei ole saatavilla tietoa. Nykyinen rakenne ei ole täysin optimoitu läpilyöntilujuuden osalta, joten on mahdollista, että huomattavasti alhaisempi arvo on riittävä.

Molemmat tutkittavat ominaisuudet tulee testata. Alustavana testinä voidaan suorittaa pelkän suurjännitekorttikokoonpanon ylijännitetestit. Kyseisessä testissä selvitetään voidaanko uutta rakennetta ajatella otettavaksi käyttöön. Mikäli ylijännitetestit suoritetaan onnistuneesti, rakennetta tulee testata säteilylähdekokoonpanossa testeillä, joiden voidaan olettaa kattavan koko säteilylähdekokoonpanon eliniän.

Ensiölangan asettuminen eristeen päälle

Rakenteellisesti ensiölangan tulisi asettua niin keskelle muuntajaa kuin mahdollista. Ensiölangan suojaeristeen ja muuntajassa käytettävän eristeen välinen kitkakerroin on

pieni. Ensiölanka on vaikeaa saada tarkasti seuraamaan haluttua liikerataa eristeen pinnalla. Alustavat testit tulee tehdä ohjaamalla ensiölankaa lineaarisella sivuttaisliikkeellä sopivalla kireydellä.

Käämilangan juotokset

Manuaalisessa muuntajan valmistuksessa käämilangasta kuoritaan pois päällimmäinen eristekerros, jotta sen pystyy juottamaan kiinni muuntajarungon nastoihin. Kuten aikaisemmin todettiin, niin käämilankaa ei pysty vaihtamaan suoraan juotettavaan käämilankaan. Automaattisessa muuntajan valmistuksessa lanka tulisi myös kuoria.

Automaattiseen käämintälaitteeseen on mahdollista asentaa langan kuorija, sekä juotoslaitteisto. Valmistaja ei ollut varma pystytäänkö kyseisessä muuntajassa hyödyntämään näitä ominaisuuksia. Käämilanka on todella ohutta, jolloin myös laitteen langan käsittelyn mahdollisuudet ovat rajalliset. Käämilankaa tulee kuoria lähellä muuntajarunkoa, joten tilan puute tulee vastaan myös laitteella, eikä kuorintaa pystytä toteuttamaan laitteella.

Ratkaisuksi tyydyttiin valmistusmalliin, jossa käämilangan juotokset jätetään tekemättä automaattisessa valmistusvaiheessa. Muuntaja täytyy valmistella käyttöä varten kuorimalla käämilanka, sekä juottamalla käämilangat kiinni muuntajarungon nastoihin. Suurin hyöty kuitenkin saavutettu ennen näitä vaiheita hyödyntämällä käämintäkoneen ominaisuuksia, jotka pystyvät parempaan ja tasalaatuisempaan suorituskykyyn kuin operaattorit.

Käämintälaitteen suunnittelu

Automaattista käämintälaitetta lähdettiin selvittämään Tanacin Iso-Britanniassa sijaitsevan jälleenmyyjän kautta. Alustavien tietojen mukaan, Tanac SS01 –automaattinen käämintälaitte (kuva 13) voisi muunneltuna soveltua suunniteltuun käyttötarkoitukseen.



Kuva 13. Tanac SS01 -automaattinen käämintälaite (4).

Muuntajan todella erityislaatuisen rakenteen takia käämintälaitteeseen tarvitaan kustomointia eristeen syötön ja ensiön osalta. Muutokset laitteeseen täytyy suunnitella alusta alkaen, sillä vastaavaa ei ole tehty aikaisemmin. Suunnitteluajaksi laitevalmistaja arvioi noin kuusi kuukautta. Hankintahinta olisi noin kaksinkertainen verrattuna valmiina olevaan malliin.

Hinnan kasvaminen muutosten myötä muuttaa tilannetta siten, että hankinnan takaisinmaksuaika kasvaa lähes kannattamattomaksi, mikäli laite tulisi vain yhden tuoteperheen käyttöön. Laitteeseen tulisi yhdistää lisäksi muiden tuoteperheiden muuntajien valmistus, jolloin pystyttäisiin vapauttamaan enemmän operaattoreita muuntajan valmistustehtävistä. Tuotteiden lisääminen kasvattaisi jälleen laitteen hankintahintaa. Kaikkien muuntajien automaattiseen valmistukseen liittyy riski laitteen rikkoutumisen kannalta. Pahimmassa tapauksessa muuntajia ei pystyttäisi valmistamaan ollenkaan.

7 Yhteenveto

Tuusulan tehtaalla on harjoitettu lean-ajattelutavan mukaista tuotantoa vuodesta 2008 alkaen. Insinööriyössä kyseessä ei ollut enää yksinkertainen hukkien havaitsemis- ja korjausprosessi, sillä suurimmat hukat on jo poistettu prosesseista viimeisen yhdeksän vuoden aikana. Kaikista suurjännitetuotannon prosesseista pystyttiin saman tien osoittamaan halutun maksimivalmistuskapasiteetin pullonkaulaksi suurjännitemuuntajan valmistus ja suurjännitekortin kokoonpano. Kyseiseen tuotantosoluun oli jo tehty lean-konversio, jonka jälkiseurannan havaintojen perusteella tämä insinööriyö tehtiin. Lean-konversion yhteydessä suurimmat ja selkeimmät hukat oltiin havaittu ja poistettu.

Insinööriyön aikana hukkia jouduttiin havaitsemaan sekuntitasolla kokonaisprosessin pituuden ollessa kymmeniä minutteja. Danaherin lean-työkalut tarjosivat mahdollisuudet hukkien havaitsemiseen ja korjaamiseen. Tuotantosolun nykytilan kartoittaminen, ongelman määrittäminen ja korjaavien toimenpiteiden valitseminen opetti käyttämään lean-työkaluja monipuolisesti sekä teoriassa ja käytännössä.

Pelkästään tuotantosolun työkuorman tasapainotuksella päästiin jaksoaikojen osalta hyvin lähelle tavoiteaikaa. Suunnitelluilla korjaavilla toimenpiteillä prosessin jaksoajan tuli olla alle tavoiteajan. Korjaavista toimenpiteistä ainoa, joka toteutettiin oli käämintälaitteen ohjelmien yhdistäminen. Muihin toimenpiteisiin ei löytynyt sopivia ratkaisuita.

Oletuksena oli, että jaksoajat tulevat paranemaan operaattoreiden harjaantuessa kyseisessä valmistusprosessissa. Tuotantosolun jaksoaikoja kelloitettiin solun muutostöiden jälkiseurantana, ja kuvassa 14 on tulokset 12 viikkoa muutostyön jälkeen.



Kuva 14. Tuotantosolun jaksoajat 12 viikon jälkeen.

Suurjännitemuuntajan käämintätyöpisteen jaksoaika on pienentynyt suhteessa aikaisempaan kellotustulokseen ja on nyt alle tavoiteajan. Kokoonpanotyöpisteen jaksoaika on myös pienentynyt, mutta ei niin paljon suhteessa aikaisempaan tulokseen kuin käämintätyöpieste. Koko tuotantosolun jaksoajat ovat alle tavoitellun jaksoajan.

Tavoitteeseen päästiin tarjoamalla operaattoreille tuotantosolu, jonka työpisteiden työkuormat ovat hyvin lähellä toisiaan. Valmistusprosessissa harjaantuminen vaikutti erityisesti käämintätyöpisteen jaksoaikaan, sillä prosessi vaatii kokemusta ohuen käämintälangan käsittelystä. Tarkkuutta ja sorminäppäryyttä vaativassa prosessissa varianssit eri operaattoreiden välillä konkretisoituvat eikä pitkä harjoittelu välttämättä sulje eroa. Varianssin pienentämiseksi muuntajan valmistusprosessin automatisointia lähdettiin tutkimaan ja automatisointi vaikuttaa mahdolliselta lähiaikoina. Automatisointi antaisi mahdollisuuden valmistusprosessin jaksoajan ennakoimiseen sekuntien tarkkuudella operaattorista riippumatta.

Lähteet

- 1 Kavokerr. 2017. Verkkosivusto. <<http://www.kavokerr.fi/fi/>>. Luettu 10.4.2017.
- 2 Chiarini, Andrea. 2013. Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office. Milano: Springer.
- 3 Danaher Business System. 2017. Verkkosivusto. Danaher. <<http://danaher.com/how-we-work/danaher-business-system>>. Luettu 28.3.2017.
- 4 SS01 Winding Machine. 2017. Verkkosivusto. TNK Europe Limited. <http://www.tnac.eu/english_ss01.html>. Luettu 7.5.2017.