

Gresjan Ademi

Tuotantojärjestelmän kapeikot

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.2.2018

Tekijä Otsikko	Gresjan Ademi Tuotantojärjestelmän kapeikot
Sivumäärä Aika	33 sivua + 2 liitettä 27.2.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja	Tuotantolinjapäällikkö Timo Eronen Lehtori Timo Tuominen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Pitäjänmäen ABB Oy:n Drives-yksikölle. Large Drives -tuotantolinjalla havaittiin löytyvän pullonkauloja testausjärjestelmään ja sen oheistoimintoihin liittyen uusien tuoteperheiden kasvaneiden tuotantomäärien ja pidentyneiden testausaikojen myötä.</p> <p>Large Drives -tuotantolinjan testausjärjestelmä ja sen oheistoiminnot on pitkään aiheuttanut haasteita tuotantolinjan virtaustehokkuuteen. Testausjärjestelmässä on rajoitettu määrä testauspaikkoja sekä oheistoiminnoista johtuen järjestelmä suorittaa paljon ylimääräisiä siirtoja, aiheuttaen testauspalettien kiertoa hidastusta ja tämän myötä pitkiä odotusaikoja tuotannossa.</p> <p>Insinööri työssä luotiin koko tuotantojärjestelmästä, eli koko prosessista ja testausjärjestelmästä nykytilan arvovirtakuvaus kuvaamalla sekä mittaamalla sen toimintaa, haasteita ja kapasiteettia. Nykytilan selvityksen jälkeen etsittiin kehitysideoita, joilla tuotantojärjestelmää saataisiin palvelemaan tuotantolinjaa ja asiakkaita paremmin. Työ tehtiin Lean- ja kapeikkoajattelu-menetelmiä noudattaen, eli keskityttiin poistamaan tuotannon hukkaa, maksimoimaan tuotannon kapasiteetin käyttöä ja lyhentämään läpimenoaikoja.</p> <p>Insinööri työn kehitysideoista saatiin kehitystä tyhjien palettien kiertoa muuttamalla ohjauslogiikan toimintaa sekä laitteiden syöttämiseen ja purkamiseen työaikojen optimoinnilla. Testausjärjestelmän ja prosessin tulevia kehitysprojekteja varten selvitettiin useita kehitysvaihtoehtoja, joiden toteutuksien myötä tuotteiden valmistusta ja testausta saataisiin parannettua.</p> <p>Työn lopussa käsiteltiin johtopäätöksiä työn tuloksista ja tulevista toimenpiteistä. Lopputuloksena voitiin havaita tuotantojärjestelmän vaativan merkittäviä muutoksia palvelukseen tuotantolinjaa asiakaskysynnän vaatimalla tavalla.</p>	
Avainsanat	Lean, VSM, TOC, läpimenoaika, testausjärjestelmä, testausautomaatio

Author Title	Gresjan Ademi Production System Constraints
Number of Pages Date	33 pages + 2 appendices 27 February 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructors	Timo Eronen, Production line manager Timo Tuominen, Senior Lecturer
<p>This study was done to ABB Drives Pitäjänmäki. The Large Drives production line had found bottlenecks in the testing system and its related functions due to increased production volumes and the extended testing time of the new product families.</p> <p>The Large Drives testing system and its related functions had for a while disrupted the flow efficiency of the production line. The testing system has a limited number of testing and storage spots, and due to the tightness, the system performs a large number of extra moves, causing deceleration on the test palette circulation and, thus, also long waiting times in production.</p> <p>In this study a current state map were created of the whole production and testing system and its related functions by describing and measuring its operation, problems and capacity. After creating the current state map, we sought development ideas for the production system to serve better the production line and customers. The work was done in accordance with the Lean and theory of constraints philosophies, focusing on eliminating waste production, maximizing production capacity utilization and shortening lead times.</p> <p>The development ideas of this work improved empty palette circulation by making changes on logic control and in the input and output of the devices by optimizing working times. Also a number of development ideas were explored for the future development projects of the testing system and process, the implementation of which will improve product manufacturing and testing.</p> <p>At the end of the thesis, conclusions were drawn about the results of the work and the forthcoming measures. In the end of this work it was possible to see that the production system requires significant changes to serve the production line as required by customer demand.</p>	
Keywords	Lean, VSM, TOC, lead time, testing system, test automation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	ABB-yhtymä	2
2.1	ABB Suomessa	2
2.2	Large Drives -tuotantolinja	2
3	Teoria	6
3.1	Automaation historiaa	6
3.1.1	Automaatio teollisuudessa	6
3.1.2	Testausautomaatio	7
3.2	Lean	8
3.2.1	Leanin historiaa	8
3.2.2	Hukka	8
3.2.3	VSM-arvovirtakuvaus	10
3.2.4	JIT - Just In Time	11
3.2.5	Jidoka	11
3.2.6	Läpimenoaika	12
3.3	TOC - Theory of Constraints	12
4	Robottisolujen esittely	14
4.1	Robottisolu 1 ja 2	14
4.2	Robottisolu 3	15
5	Prosessin nykytilan arvovirtakuvaus	17
6	Prosessin ja robottisolun 3 toiminta, haasteet ja kapasiteetti	20
6.1	Robotin ylimääräiset toiminnot ja testausolun ahtaus	20
6.2	Tyhjien palettien kierto	22
6.3	Testauspaikkojen rajallinen määrä, pitkät testausajat ja FPY	22
6.4	Testausjärjestelmän kapasiteetti	23
7	Kapeikkojen kehitys	23

7.1	Työaikojen optimointi	24
7.2	Robottisolun 3 logiikan ohjelmistomuutos	25
7.3	Robottisolun 3 lämpötila	25
7.4	Testauspaikkojen muutos	27
7.5	Tuotantolinjan layout-muutos	27
7.6	Prosessin tavoitetilän arvovirtakuvaus	29
8	Johtopäätökset	31
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1. Testausluokat	
	Liite 2. Palaverilista	

Lyhenteet ja käsitteet

ABB	Asea Brown Boweri, kansainvälinen sähkövoima- ja automaatiokonserni
D	Kuormitusmoottorin kolmiokytkentälyhenne
FPY	First pass yield, vikaantuneiden laitteiden määrää kuvaava luku
FSM	Future stream mapping, tavoitetilan arvovirtakuvaus
Hipot	High potential -esitestaustyöpiste
Layout	Pohjapiirroskuva
OPF	One Piece Flow -linja, vaiheistettu kokoonpanolinja
Paletti	Alusta, jolla laite siirtyy kuljettimilla
Pullonkaula	Prosessia hidastava osa tai vaihe
Raami	Kertoo tuotteen raamioon eli kokoluokan
TOC	Theory of Constrains, kapeikkoajattelun teoria
TPT	Throughput time, tuotannon läpimenoaika
VSM	Value stream mapping, nykytilan arvovirtakuvaus
Y	Kuormitusmoottorin tähtikytkentälyhenne

1 Johdanto

Insinööritö tehdään ABB Oy:n Drives-yksikölle. Työn kohteena on Pitäjänmäen ABB:n taajuusmuuttajatehtaan Large Drives -tuotantolinjan prosessi ja 2000-luvun alkupuolella valmistunut testausjärjestelmä, joissa on havaittu kapeikkoja eli pullonkauloja uuden tuotesukupolven valmistuksessa. Prosessin ja sen testausjärjestelmän toiminnasta, haasteista ja kapasiteetista on tehty aikaisemmin arvovirtakuvauksia, mutta vaihtuneiden tuoteperheiden tuomien muutoksien ja kasvaneiden valmistusmäärien myötä koko tuotantolajärjestelmän toiminnasta pitää luoda ajankohtainen tutkimustyö.

Large Drives -tuotantolinja valmistaa ACS880- ja ACx580-tuoteperheen -01- ja -04-taajuusmuuttajia sekä samojen tuoteperheiden -11-, -31-, -14- ja -34-verkkovaihtosuuntaajia. Tuotantolinjan edellisen tuotesukupolven ACS550 ja ACS800-tuoteperheiden valmistus ja testaus siirtyy vuoden 2018 tammikuun aikana alasajovaiheessa olevien tuotteiden valmistukseen tarkoitettuun valmistuslinjaan, minkä vuoksi tämän insinööritön tutkimuksessa ei huomioida alasajovaiheessa olevien tuoteperheiden valmistusmääriä testausjärjestelmän kapasiteetissa. ACS880- ja ACx580-tuoteperheen verkkovaihtosuuntaajia ei myöskään huomioida tutkimuksissa, sillä niille on luotu täysin omat testauskammiot eikä niiden lasketa vaikuttavan Large Drives -tuotantolinjan prosessin tai testausjärjestelmän toimintaan.

Insinööritö pohjautuu Lean- ja kapeikkoajattelun-menetelmiin, joiden innoittamana koko insinööritön aihe sai alkunsa. Työn perimmäisenä tarkoituksena on tutkia ja poistaa tuotantolajärjestelmän kapeikkoja ja haasteita käyttämällä apuna Leanin eri kehittämistyökaluja. Kapeikkojen kehittämällä saadaan lyhennettyä tuotteiden läpimenoaikoja ja luotua arvoa asiakkaalle. Tämän myötä Lean- ja kapeikkoajatusmallia käsitellään työssä laajemmin omalla teoriaosuudella. Tarkoituksena on kertoa myös automaatiosta ja testausautomaatiosta, sillä työssä tutkitaan ja pyritään kehittämään automaatiojärjestelmän toimintaa.

Insinööritön ensimmäisenä tavoitteena on selvittää, tutkia ja esittää havaittuja haasteita sekä luoda näiden pohjalta nykytilan arvovirtakuvaus tuotantolinjan koko prosessista ja sen testausjärjestelmän toiminnasta, kapasiteetista ja kapeikkojen vaikutuksista tuotantolinjan virtaustehokkuuteen. Työn toisena tavoitteena, nykytilan selvittämisen jälkeen, on selvittää mahdollisia kehitysideoita todetuille haasteille, joilla tuotantolajärjestelmää

saataisiin parannettua sekä niiden pohjalta luoda prosessista tavoitetilan arvovirtakuvaus. Arvovirtakuvauksia ja kehitysideoita käsitellään laajasti raportoimalla niiden toteuttavissa olevista vaikutuksista sekä hyödyistä.

2 ABB-yhtymä

ABB-yhtymä on maailmanlaajuisesti johtava teknologian edelläkävijä, joka sai alkunsa tammikuussa 1988, kun ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin liiketoiminnot yhdistettiin. ABB työllistää maailmanlaajuisesti noin 132 000 työntekijää, ja se toimii yli 100 maassa. ABB tarjoaa sähköistystuotteet sekä ratkaisut teollisuusautomaatioon, sähköverkkoihin, robotteihin ja liikkeenohjaukseen. ABB:n pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä, ja sen toimitusjohtajana on toiminut Ulrich Spiesshofer vuodesta 2013. (ABB lyhyesti 2017.)

2.1 ABB Suomessa

Suomi on osa ABB:n historiaa, sillä ruotsalainen Asea osti suomalaisen Oy Strömberg Ab yrityksen vuotta ennen kuin ABB-yhtymä luotiin. Oy Strömberg Ab oli suomalaisen Axel Gottfrid Strömbergin luoma yritys 1889, joka oli Suomen merkittävimpiä sähkötekniikan teollisuusyrityksiä.

Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisuuden työnantajista ja sen liikevaihto Suomessa oli vuonna 2016 noin 2,2 miljardia euroa. ABB toimii Suomessa 20 eri paikkakunnalla ja se työllistää noin 5 100 henkilöä. Toiminta on jaettu divisioonittain liiketoimintayksiköihin eri teollisuuden alojen ja tuoteryhmien mukaan. Liiketoimintayksiköjä on Suomessa 20 kpl, joista Drives taajuusmuuttaja- ja Motors and Generators -yksikkö sijaitsee Helsingin Pitäjänmäessä. Pitäjänmäen lisäksi tehdaskeskittymiä on Helsingin Vuosaarella, Haminassa, Vaasassa ja Porvoossa. (ABB lyhyesti 2017.)

2.2 Large Drives -tuotantolinja

Large Drives -tuotantolinja on osa Drives-liiketoimintayksikköä, joka on valmistunut 2000-luvun alussa. Tuotantolinjalla valmistetaan useita eri tuotepereiden taajuusmuut-

tajia. Tuotantolinja toimii aamu- ja iltavuorossa ja työntekijöitä on noin 100 henkilöä. Tuotantolinjan toimihenkilöihin kuuluu tuotantolinjapäällikkö, viisi työnjohtajaa, tuotannon-suunnittelija, prosessi-insinööri sekä kolme tuki- ja dokumentaatiohenkilöä.

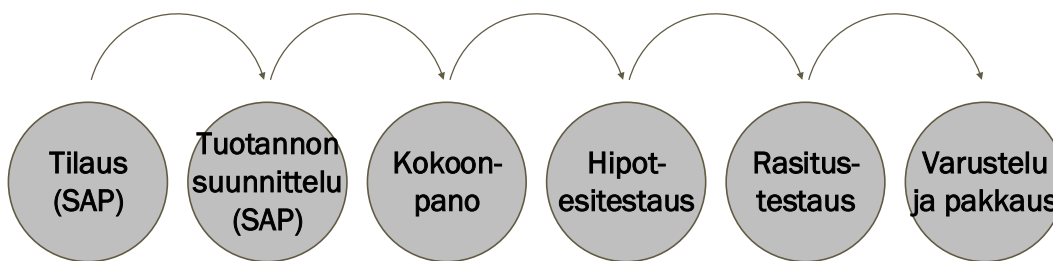
Large Drives -prosessikuvaus

Tuoteperheet ja raamikoot:

ACS880 ja ACS/-H/-Q580 -01 ja -04 raamit R7-R11

ACS850, ACS810 ja ACSM1 -04 raamit G1-G2

ACS880 ja ACH/-Q580 -11, -31, -14 & -34 raamit R6, R8 ja R11



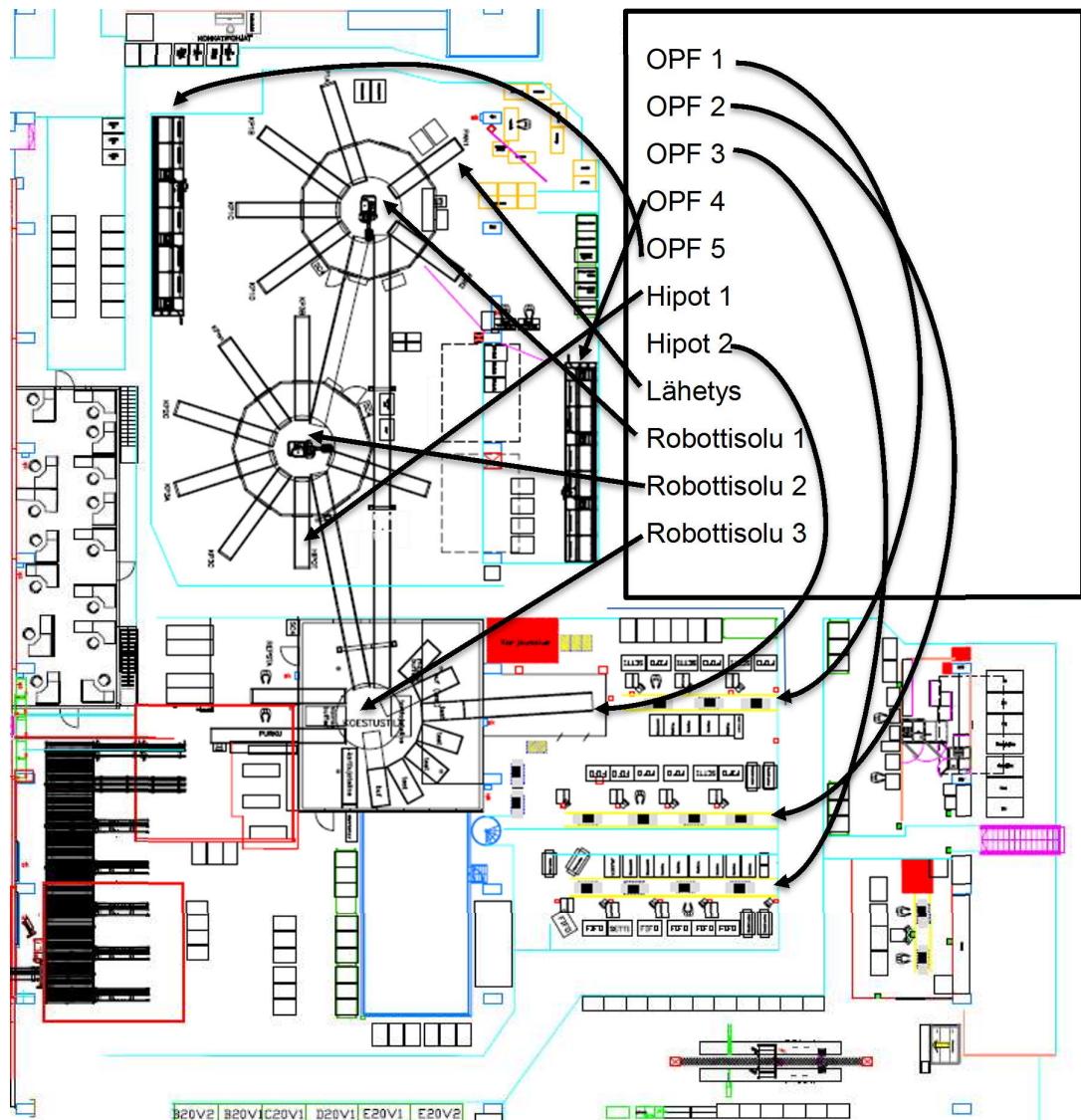
Kuva 1. Large Drives -tuotantolinjan prosessikuvaus

Kuvassa 1 on kuvattu Large Drives -tuotantolinjan tilaus-toimitusprosessi. Taulukossa 1 on punaisella merkitty alasajovaiheessa olevat edellisen tuotesukupolven tuoteraamit, joiden valmistus siirtyy jälkivalmistuslinjalle vuoden 2018 tammikuun aikana ja vihreällä on merkitty uuden tuotesukupolven tuoteraamit, joita tullaan jatkossakin valmistamaan Large Drives -tuotantolinjalla. Raamikoko kertoo taajuusmuuttajan fyysisen koon ja raamikoon lisäksi tuotteet on eroteltu eri teholuokkiin (liite 1.). Large Drives -tuotantolinja valmistaa myös ACS880- ja ACx580-tuoteperheen vaihtoverkkosuuntaajat, joita ovat raamit R6, R8 ja R11. Edellisen tuotesukupolven ja vaihtoverkkosuuntaajien tuoteraameja ei huomioida tässä insinööriyössä, koska niiden ei lasketa vaikuttavan prosessin tai testausjärjestelmän toimintaan.

Taulukko 1. Large Drives -tuotantolinjalla valmistettavat tuotteet

Tuoteperhe	Raamikoko		
ACS880 ja ACS/-H/-Q580 -01	R7	R8	R9
ACS880 ja ACS/-H/-Q580 -04	R10	R11	
ACS880 ja ACH/-Q580 -11 ja -31	R6	R8	
ACS880 ja ACH/-Q580 -14 ja -34	R11		
ACS800	R6	R8	
ACx550	R6	R8	
ACQ810 -04	E	G1	G2
ACSS850 -04	E	G1	G2
ACSM1	E	G1	G2

Uuden tuotesukupolven R7–R11-raamit ja edellisen tuotesukupolven G1–G2-raamit valmistetaan One Piece Flow (OPF) -linjoilla ja niille on määritetty tavoitetahtiajaksi noin 30 minuuttia. Large Drives -tuotantolinjalla on yhteensä viisi OPF-linjaa (kuva 2.). Ennen varsinaista kokoonpanoa OPF-linjoilla tuotteille luodaan sarjanumero ja tehdään tiettyjen sähkökomponenttien keräys Start Cell -nimisellä työpisteellä. OPF1-, 4- ja 5 -linjoilla voidaan valmistaa vain R7–R9-raameja, joiden kokoonpano on jaettu kolmeen työvaiheeseen ja OPF2-linjalla voidaan valmistaa vain R10–R11- ja G1–G2-raameja, joiden kokoonpano on jaettu neljään työvaiheeseen. OPF3-linja on mukautuvissa kolmeen ja neljään työvaiheeseen, niinpä siellä voidaan valmistaa kaikkia raameja. Edellä mainittujen OPF-linjojen lisäksi linjalla on kaksi offline- ja rework-työpistettä. Offline-työpisteillä raamien valmistus tapahtuu alusta loppuun yhdellä työpisteellä ja näitä käytetään kiireellisinä viikkoina sekä välillä yksittäisten uusien henkilöiden kouluttamiseen. Rework-työpisteillä tehdään OPF-linjoilla vikaantuneiden laitteiden korjausta, jotta linjojen työskentely ei keskeydy laitteiden korjailuun.



Kuva 2. Large Drives -tuotantolinjan layout-kuva

Kokoonpanovaiheiden jälkeen, kun laitteen runko ja sähköiset osat on saatu asennettua, laitteet kulkeutuvat high potential -esiteisiin, eli hipot-työpisteelle, jossa varmistetaan sähköeristysten toiminta. Linjalla on kaksi hipot-työpistettä, hipot 1 -työpiste on raameja R7–R9 varten ja hipot 2 -työpiste on raameja R10–R11 ja G1–G2 varten. Tämän jälkeen laitteet kulkeutuvat robottisoluun 3 eli testaus soluun varsinaisiin rasitustesteihin. Testausaika laitteilla on yleisesti noin yksi tunti, mutta harvoin esiintyvät asiakaskohtaiset erikoisohjelmat lisäävät testausaikaa noin 25 minuutilla. Onnistuneen testauksen jälkeen robotti siirtää laitteen välivarastopaikalle odottamaan siirtoa loppuvarustelu-työalueen purkupaikalle. Mikäli loppuvarustelun kuljettimella on tilaa, robotti siirtää laitteen testauspaikalta suoraan loppuvarusteluun.

Loppuvarusteluun menevälle purkupaikan kuljettimelle mahtuu kolme laitetta, ja vain yhdelle laitteelle kerrallaan voidaan tehdä testauskaapeleiden purkua. Riippuen laitteen teholuokasta ja lisäoptioista laitteelle tehdään joko purkupaikalla tai erillisellä työpisteellä laadun takaamiseksi viimeinen visuaalinen laatutarkastus, tulostetaan testiraportti, kerätään käyttöohjemanuaalit ja asennetaan viimeiset verhoiluosat. Edellä mainittujen toimintojen jälkeen laite nostetaan pakkauspaletille, jossa se pakataan kuljetusta varten. Mikäli laitteen loppuvarustelu vie aikaa yli viisi minuuttia, se nostetaan pakkauspaletille heti testauskaapeleiden purkamisen jälkeen ja siirretään erilliselle työpisteelle, jossa laitteelle suoritetaan loppuvarustelun työvaiheet.

3 Teoria

3.1 Automaation historiaa

Sana automaatio (engl. automation), esiintyi ensimmäisen kerran vuonna 1948, kun amerikkalaisen Ford-tehtaan johtaja Delmar S. Harder käytti sitä mekaanisesti toimivan koneen ja elektroniikkaohjauksen yhdistelmästä. Automaatiota on käytetty jo 1600-luvulta lähtien pienissä laitteissa, joiden ohjauksessa voitiin hyödyntää mekaanista ohjausta. Vasta 1960-luvulla automaatio kehittyi ja automaation yhteyteen opittiin liittämään ohjelmoitavat tietokoneet, jolloin myös ensimmäisten tuotantolinjojen automatisointi aloitettiin. Automaatiota esiintyy yleisimmin tietokonejärjestelmissä, prosessiautomaatiojärjestelmissä ja tehdasautomaatiojärjestelmissä. (Aaltonen & Andersin 1992: 10–11.)

3.1.1 Automaatio teollisuudessa

Automaatiota käytetään teollisuudessa eri tuotantoprosessien, koneiden ja valmistuslinjojen ohjauksessa ja valvonnassa. Automaatiolla tarkoitetaan toimintoa, laitetta tai prosessia, joka toimii itsenäisesti. Teollisuudessa tehtaan energiatehokkuus ja alhaiset kustannukset ovat tärkeitä asioita menestyksen ja kilpailukyvyn kannalta. Automaation avulla eri toimintojen automatisoinnilla tehostetaan toimintaa sekä lisätään turvallisuutta.

Työturvallisuus ja työhyvinvointi on kehittynyt automaation avulla. Automaation avulla ihmiset on saatu vapautettua erilaisista raskaista, likaisista ja vaarallisista tehtävistä automatisoimalla niitä erilaisilla kuljettimilla, roboteilla ja koneilla. Jokaisella toimijalla on

tavoitteena, että työtehtävissä tapahtuu nolla tapaturmaa, myös tämä on yksi tärkeimmistä kilpailuvalteista teollisuudessa. Automaatio on kehittynyt niin paljon, että kaikki raskaiden esineiden siirtely voidaan automatisoida, kuten esimerkiksi siten, että robotit siirtää tavaran valmistuspisteeltä automatisoidulle kuljettimelle, jonka kautta tavara siirtyy seuraavalle työstöpisteelle. Automaatio kehittyy jatkuvasti ja sillä saadaan kehitystä yritysten työntekijöiden työergonomiaan ja tämän kautta myös tehtaiden tuottavuus paranee ja kustannukset laskevat, kun sairauspoissaolot vähenevät.

Automaatio ei ole pelkästään robotteja, automaatio on tehtaiden tuotantojärjestelmissä isossa roolissa, muun muassa tuotannonohjauksessa. Automaatio yhdistetään eri tietokantoihin, joihin kerätään kaikki tiedot tuotannon tapahtumista. Tiedonkeruuohjelmien avulla tuotantoa voidaan suunnitella, ohjata ja seurata reaaliajassa sekä automaatiolaitteilta kerättyä tietoa voidaan käyttää laadunvalvontaan luomalla erilaisia laadunseurannan raportteja.

3.1.2 Testausautomaatio

Testausautomaation luominen on kallista ja aikaa vievää, mutta kannattavaa varsinkin isoissa organisaatioissa. Testausautomaation etuja ovat manuaalisen työn ja inhimillisten virheiden väheneminen, testauksen nopeutuminen eli läpimenoaikojen lyheneminen sekä kustannusten aleneminen ja kannattavuuden paraneminen virheiden löytyessä jo testausvaiheessa eikä vasta asiakkaalla.

ABB:n taajuusmuuttajatehtaalla kaikkia kokoonpanovaiheita ei ole automatisoitu, mutta laitteiden kokoluokasta riippumatta tuotteiden rasiustestaus on toteutettu testausautomaatiolla, jolloin ihminen vain valvoo järjestelmän toimintaa, puuttuu häiriö- ja vikatilanteisiin ja huolehtii järjestelmän kunnossapidosta. Testausautomaation avulla vaarallinen työ on saatu muutettua täysin automaattiseksi ja tämän avulla myös laitteiden toiminta ja laatu saadaan varmistettua täysin automaattisilla rasiustesteillä. Testausautomaation avulla monia riskejä on saatu vähennettyä, sillä automaatiojärjestelmä on ohjattu suorittamaan aina määritetyt vaiheet, eikä unohduksia satu, kuten ihmisillä. Mikäli järjestelmä havaitsee jotain poikkeavaa, järjestelmä pysähtyy ja antaa häiriö- tai vikailmoituksen valvomoon. Testausautomaation avulla tuotteille voidaan tehdä rasiustestit, jotka vastaavat olosuhteita, jotka tuotteilla tulee olemaan asiakkaalla, jolloin viallisia tuotteita ei päädy asiakkaille.

3.2 Lean

Lean on prosessijohtamisen malli, jolla pyritään luomaan arvoa asiakkaalle poistamalla hukkia ja maksimoimalla tuotannon virtausta eri menetelmillä ja työkaluilla. Lean-ajattelulla pyritään tuottamaan laadukasta tuotantoa, minimaalisilla kustannuksilla ja lyhyillä läpimenoajoilla sekä siinä keskitytään tarkastelemaan yritystä ja toimitusketjua kokonaisuutena yksittäisten asioiden sijaan. (Tätä on Lean.)

Lean-tuotantojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: Ihmiset, jossa pyritään saamaan koko henkilöstöä aktivoitumaan ja osallistumaan prosessien kehitykseen ja jatkuvaan parantamiseen. Prosessi, jossa pyritään poistamaan hukkia, lyhentämään läpimenoaikoja ja pienentämään varastotasoja eli minimoimaan kustannuksia. Työkalut ja teknologia, jossa pyritään kehittämään tuotantoprosesseja eri konsepteilla, teorioilla ja työkaluilla, erimerkiksi arvovirtakuvaukset, JIT ja Jidoka. (Lean-sanasto.)

3.2.1 Leanin historiaa

Lean pohjautuu japanilaisen Toyotan tuotantofilosofiaan ja -järjestelmään (engl. Toyota Production System, TPS), joka kehitettiin toisen maailmansodan jälkeen vuonna 1948. TPS-järjestelmä kehitettiin, kun japanilaiset olivat vierailleet Yhdysvalloissa isoimpien autovalmistajien tehtaissa ja Taiichi Ohno, TPS:n kehittäjänä pidetty henkilö, alkoi kehittää toimintamallia, jonka päämääränä oli tuottaa tuotantoa juuri ajoissa ja vain tarpeeseen pienentämällä eräkoot, tasaamalla työkuorman ja poistamalla kaiken turhan. Lean-nimityksen kehitti vuonna 1988 amerikkalainen tutkija John Krafick. Lean-termi tuli tunnetuksi MIT:n professorien kirjoittamasta kirjasta, *The Machine That Changed The World*, joka kertoi amerikkalaisesta vastineesta Toyotan tuotantojärjestelmälle. Kirjassa kerrotaan, miten Lean-ajattelun avulla keskitytään tuottamaan lisäarvoa asiakkaalle, eliminoidaan hukkia ja tuottamaan laadukasta tuotantoa jatkuvan parantamisen avulla. Lean-toimintamallia käytettiin aluksi autoteollisuudessa, mutta nykypäivänä sitä käytetään lähes kaikissa toimialoissa. (Tätä on Lean.)

3.2.2 Hukka

Hukka on kaikkea, mikä ei lisää tuotteen arvoa asiakkaan näkökulmasta. Hukkaa on kolmessa eri muodossa, jotka on nimetty japaninkielisillä termeillä. Muda on termi ei-

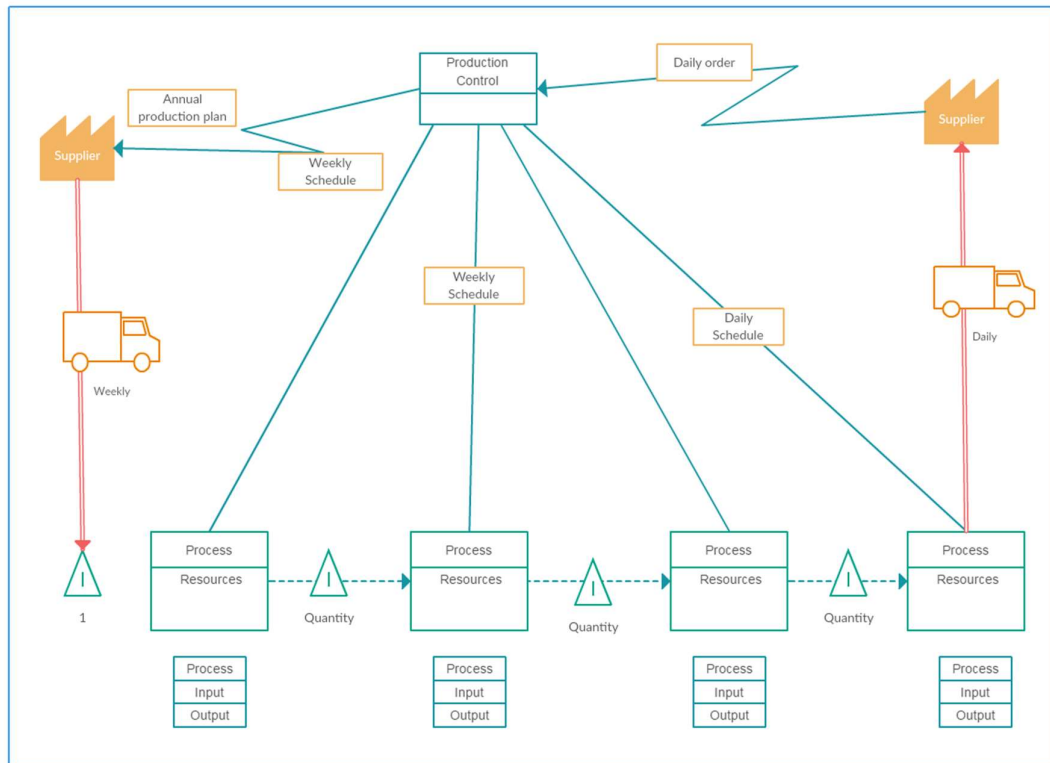
tuottavalle tai hyödyttömälle toiminnolle. Mura on termi epätasaisuudelle tai epäjatkuvuudelle, jota pyritään välttämään JIT-menetelmällä. Muri on termi ylikuormalle tai järjetömyydelle, jota pyritään välttämään hyvällä tuotantoprosessin suunnittelulla.

Muda-hukka on jaettu kahdeksaan eri luokkaan, eli arvoa tuottamattomaan toimintaan, joita poistamalla voidaan lisätä arvoa asiakkaalle:

- Ylituotanto
- Ylimääräinen liike työskentelyssä
- Odottelu ja viivästykset
- Laatuvirheet
- Yliprosessointi
- Ylimääräinen kuljettaminen
- Ylimääräinen varasto.

Edellä mainittujen toimintojen lisäksi puhutaan myös kahdeksannesta hukasta, työntekijän luovuuden tai osaamisen käyttämättömyys. Tällä tarkoitetaan kaikkia työntekijöiden kykyjä, parannusehdotuksia ja oppimismahdollisuuksia, jotka jäävät huomioimatta tuotteen hukkaa. Näissä tapauksissa hukkaa voi muodostua siitä, kun työntekijä huomaa hukkaa aiheuttavia asioita, mutta niitä ei huomioida. (Lean-filosofian 7+1 tuottamatonta toimintoa.)

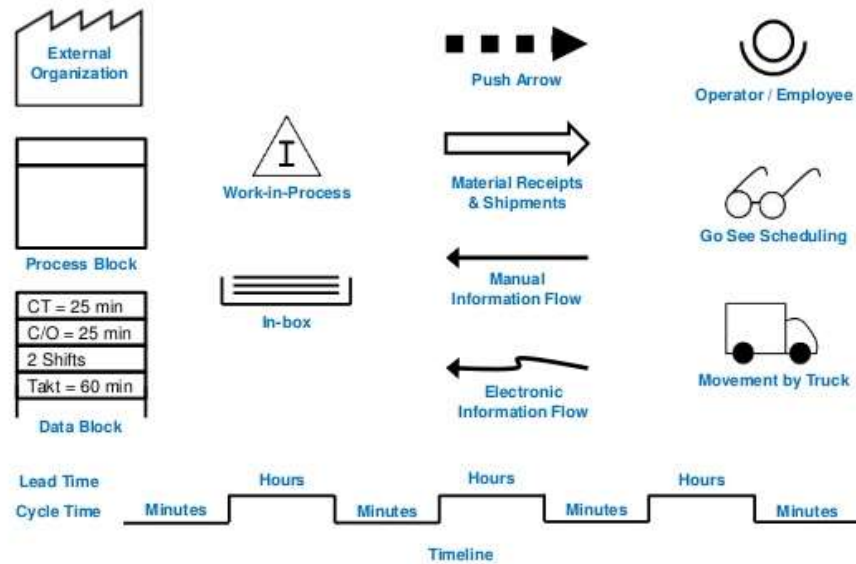
3.2.3 VSM-arvovirtakuvaus



Kuva 3. Esimerkki tuotantoprosessien arvovirtakuvauksesta (Value stream mapping templates).

VSM-kuvaus (engl. Value stream mapping) on menetelmä, jota käytetään prosessien kehittämiseen, ja se tarkoittaa suomeksi arvovirtakuvausta. Arvovirtakuvauksessa (kuva 3.) keskitytään koko prosessiin, ei pelkästään prosessin yksittäiseen osaan. Koko prosessia tarkastelemalla tuodaan esille koko prosessiin vaikuttavat ongelmat, jotka vaikuttavat virtaustehokkuuteen. Tällä tavoin ongelmien ratkomista voidaan priorisoida ja prosessista saadaan tehokkaasti poistettua hukkia eli parannettua läpimenoaikaa. Arvovirtakuvauksen avulla luodaan visuaalisella kartalla prosessista ensin nykytila, eli tunnistetaan parannuskohteet ja tämän jälkeen luodaan tavoitetilan arvovirtakuvaus eli FSM-kuvaus (engl. Future stream mapping), jossa hukat on pyritty poistamaan. Tavoitetilan luomisen yhteydessä on tapana luoda toteutus suunnitelma tai mahdolliset kehitystoimenpiteet. (Learning to see, s. 1–8.)

Basic Mapping Symbols



16

Kuva 4. Yleisimmät arvovirtakuvauksessa käytetyt symbolit (Value stream mapping project template, s. 16).

3.2.4 JIT - Just In Time

Suomennettuna JIT-termillä tarkoitetaan ”juuri oikeaan aikaan” ja Suomessa käytetään myös termiä JOT, joka tarkoittaa ”juuri oikeaan tarpeeseen”. JIT-johtamisfilosofia on yksi Lean-tuotannon peruseriaatteista, ja sen tarkoituksena on nopealla ja tasaisella tuotantovirtauksella toimittaa asiakkaille oikeaa tuotetta juuri silloin, kun he sitä pyytävät. JIT-menetelmän avulla valmistus on tehokasta, ja sillä saadaan vähennettyä ylimääräisiä resursseja, materiaaleja, varastointia ja varastokustannuksia. (Just-in-time inventory management.)

3.2.5 Jidoka

Jidokasta on japaninkielinen termi, siitä käytetään Suomessa termiä autonomaatio ja se on Lean-tuotannon toinen peruseriaatteista. Jidokalla viitataan kykyyn keskeyttää prosessi ongelmatilanteessa automaattisesti ja korjata ongelma syntysijoilla, siirtämättä sitä

seuraavaan prosessivaiheeseen. Ongelmalla tarkoitetaan koneen toimintahäiriötä, laatuvirhettä tai muuta vastaava. Jidoka auttaa estämään päästävästä virheellisistä suoritteita eteenpäin arvovirrassa, tunnistamaan ja ratkaisemaan ongelmia ja rakentamaan laatua tuotantoprosessiin. (Lean-sanasto.)

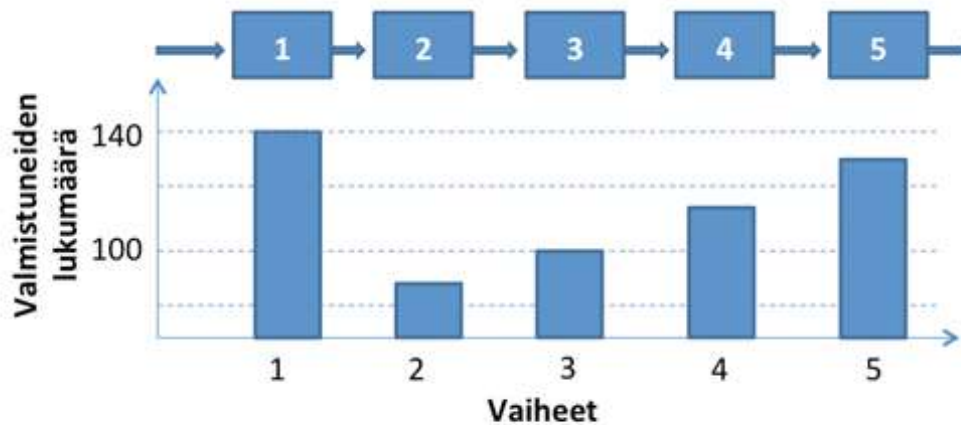
3.2.6 Läpimenoaika

Tuotannon läpimenoaika (engl. Throughput time, TPT) mittaa tuotannon virtauksen tehokkuutta ja sillä tarkoitetaan aikaa, joka kuluu laitteen valmistukseen. Siihen sisältyy tuotteen prosessointiaika, prosessien välinen odotusaika ja tuotteen siirtelyyn kuluva aika. Leanin päämääränä on lyhentää valmistettavan tuotteen läpimenoaikaa hukkia poistamalla. Tuotteiden läpimenoajan lyhentäminen on tuotantolinjojen yksi suurimpia kannattavuutta ja virtaustehokkuutta parantavia keinoja. Asiakkaan kokema läpimenoaika (engl. Lead time) pitää sisällään ajan, joka kuluu asiakkaan tilaushetkestä tuotteen lähettämiseen saakka.

Läpimenoajan lyhentämisen avulla asiakkaille voidaan tarjota lyhempiä toimitusaikoja, tuotannon ja resurssien ennustaminen parantuu sekä tuotannon tehokkuus paranee. Läpimenoajan lyhentyessä tuotteiden valmistukseen käytettävää resurssimäärää saadaan vähennettyä tai vapautettua mahdolliseen toiminnan kasvuun. Lyhyiden tuotannon läpimenoaikojen myötä keskeneräinen tuotanto vähentyy sekä varastotasot saadaan lasketua alas vähentäen yrityksen kustannuksia ja tuotantoon sijoitettavaa pääomaa. (Tätä on Lean.)

3.3 TOC - Theory of Constraints

TOC eli Theory of Constraints -teoria on prosessinkehittämisen ja laatujohtamisen työkalu, jonka kehitti Eliyahu M. Goldratt vuonna 1984. Suomeksi TOC-teoriaa voidaan kutsua kapeikkoajatteluksi ja sitä käytetään usein tukena Leanin yhteydessä. TOC-teoriaa käytetään tunnistamaan ja mahdollisesti poistamaan tai kasvattamaan prosessin esteet eli kapeikot tai pullonkaulat, jotka estävät prosessia pääsemästä asetettuihin tavoitteisiin. Kapeikkoajattelun avulla saadaan yrityksen kapasiteettia, joustavuutta ja toimitusvarmuutta parannettua ja hallittua paremmin. TOC-menetelmän tarkoituksena on prosessin virtaustehokkuuden parantaminen, läpimenoaikojen lyhentäminen ja samalla kustannuksien pienentäminen.



- Vaihe 2 on pullonkaula. Virtausta rajoittava tekijä.
- Prosessi ei pysty pitkällä aikavälillä tuottamaan enemmän kuin vaihe 2 kykenee tuottamaan. Vaihe 2 määrittää systeemin suorituskyvyn
- Parannustoimenpiteet tulee keskittää vaiheeseen 2.
- Vaiheissa 1, 3, 4 ja 5 parannustoimenpiteet ovat liki tarpeettomia. Niissä saavutetaan joitain säästöjä, mutta ei kasvua eikä varsinaista parannusta.

Kuva 5. Esimerkki TOC-kapeikkoajattelusta (Esteiden teoria).

TOC-menetelmässä lähtökohtana on se, että jokaisessa prosessissa on vähintään yksi prosessin suorituskykyä rajoittava kapeikko, jota lähdetään kehittämään tai sen tunnistamisen jälkeen sitä osataan kuormittaa maksimaalisesti, eli prosessia ohjataan kapeikon suorituskyvyn mukaan. Kapeikkojen tunnistamisella yrityksen johto osaa ohjata prosessia minimiresursseilla käyttäen kapeikkoa maksimaalisen käyttöasteen mukaan. Kapeikon tunnistamisella tuotteiden valmistukselle voidaan määritellä aikataulu, joka määräytyy kapeikon suorituskyvyn mukaan. Kapeikon maksimaalisesta käyttöasteesta pidetään huoli asettamalla kapeikon eteen pieni välipuskuri, jolla saadaan pidettyä kapeikko jatkuvasti toiminnassa. Välipuskuria lukuun ottamatta menetelmän avulla saadaan pienennettyä kustannuksia ohjaamalla tuotannon virtausta siten, ettei valmistuksessa kerrytetä keskeneräistä tuotantoa varastoon. (Esteiden teoria.)

4 Robottisolujen esittely

Large Drives -tuotantolinja valmistui 2000-luvun alussa ACS800-tuotesukupolven taa-juusmuuttajien valmistukseen. Tuotteiden valmistus tapahtui alusta loppuun työpisteillä, jotka ovat integroituina robottisoluun 1 ja 2. Kokoonpanovaiheiden jälkeen laite siirtyi hipot-työpisteelle ja siitä robottisoluun 3 rasiustesteihin. Tuotesukupolven muutoksen myötä suurin osa robottisoluihin integroiduista työpisteistä ovat olleet käyttämättä jo pidempään ja soluja on käytetty lähinnä vain laitteiden siirtelyyn, koska tyhjät paletit kulkeutuvat vain robottisoluun 1 ja hipot 2 -työpisteelle.

4.1 Robottisolu 1 ja 2

Robottisoluissa 1 ja 2 tehdään vain laitteiden fyysistä siirtoa. Jokaisen robottisolun välillä kulkee automaattinen kuljetin, joiden kautta paletit kulkeutuvat solulta toiselle. Tyhjät paletit kulkeutuvat loppuvarustelusta robottisolun 3 kautta kuljetinta pitkin robottisolun 1 lähettäjän työpisteelle. Robottisolun 3 ja 1 väliselle kuljettimelle mahtuu kymmenen tyhjää palettia. Panostuspisteellä lähettäjä nostaa laitteen paletille ja lähettää sen eteenpäin robottisoluun 1 ja 2, joissa robotit siirtävät laitteita kuljettimille ja niiltä pois eri työpisteille.

Robottisolun 1 kautta lähettäjä panostaa OPF-linjoilta valmistuneet R7–R9-raamit testauskaapeliin asennuspisteelle. R7–R9-raamien testauskaapeliin asennuspisteillä koestaja asentaa laitteisiin testauskaapelit ja lähettää laitteet hipot 1 -työpisteelle.

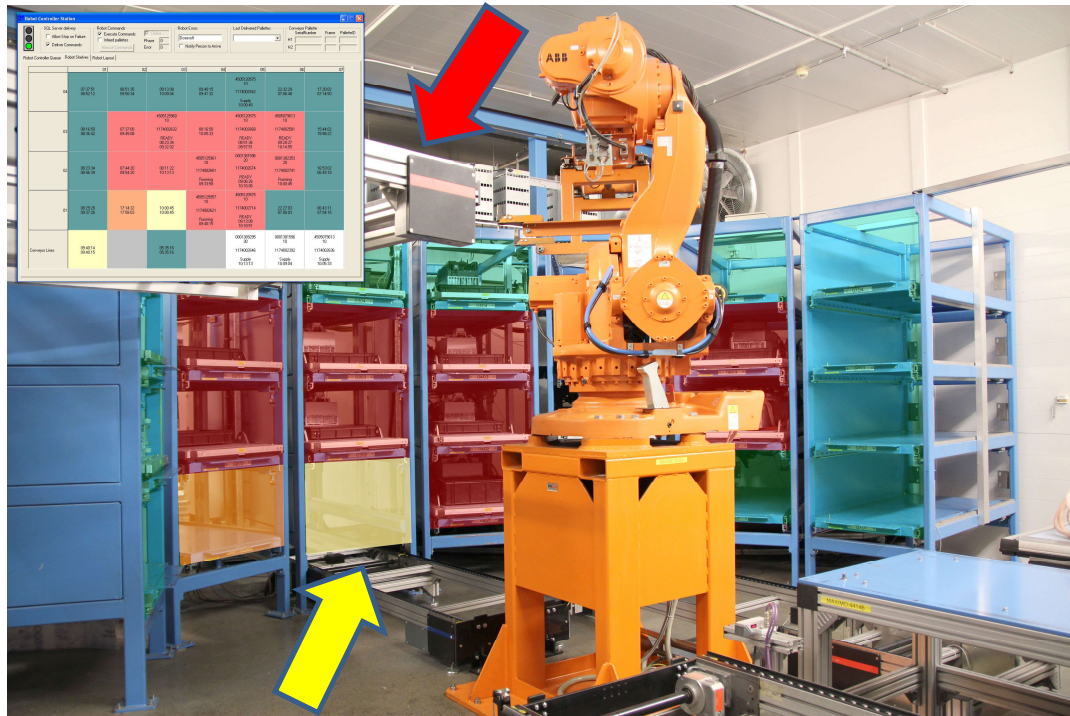
Robottisolujen sisällä kommunikointi tapahtuu Profibus-väylän avulla. Robottisolut 1 ja 2 eivät keskustele keskenään, ne toimivat itsenäisesti, eivätkä ne ole yhteydessä tietokantaan, vaan tietojen siirto tapahtuu paleteissa kiinni olevan saattomuisti-toiminnon avulla. Panostuspisteellä lähettäjä kirjoittaa viivakoodinlukijalla paletin saattomuistiin laitteen sarjanumeron, joka pitää sisällään laitteen tiedot sekä osoitteen, minne laite on menossa. Osoitteeksi lähettäjä voi asettaa testauskaapeliin asennuspisteen tai hipot 1 -työpisteen. Paletin saattomuistin luku tapahtuu useassa kohdassa, jotta robotti saa tiedon soluun tulevasta laitteesta ja siitä, minne laite pitää siirtää. Tiedot luetaan, kun laite lähetetään solusta toiseen, työpisteeltä hipot-työpisteelle tai hipot-työpisteeltä toiseen soluun.

Laitteen kokoonpanon valmistuttua ennen testausjärjestelmän varsinaisia rasitustestejä laitteet kulkevat aina hipot-testin kautta, jossa koestaja suorittaa visuaalisen laatutarkistuksen ja esitestausrjestelmän avulla high potential -esitestin. High potential -esitestissä varmistetaan taajuusmuuttajien sähköeristysten toiminta. Tuotantolinjan molemmat hipot-testauspisteet ovat täysin identtisiä, ja hipot-esiteesti kestää kaikilla laitteilla noin kaksi minuuttia. Molemmat hipot-työpisteet ovat yhteydessä Access-tietokantaan, johon testien tiedot ja tulokset tallentuvat.

Hipot 1 -työpisteellä suoritetaan laatutarkastus ja esitestausr R7–R9-raameille. Hipot 2 -työpisteellä suoritetaan laatutarkastus ja esitestausr R10–R11- ja G1–G2-raameille. Laitteiden laatutarkistuksessa koestaja käy läpi silmämääräisesti sähköiset- ja mekaaniset liitokset. Laitteiden esitestausruksessa suoritetaan eristysvastusmittaus, vuotovirtatesti ja DC-jännitenosto kahdella eri jännitteellä. Eristysvastusmittauksessa mitataan vuotovirtaa jännitteisistä osista kosketeltaviin osiin, vuotovirtatestissä mitataan vuotovirtaa jännitteisistä osista ja DC-jännitenostossa mitataan välipiirin jännitettä kahdella eri jännitteellä.

4.2 Robottisolu 3

Robottisolussa 3 (kuva 6.) suoritetaan laitteiden varsinaiset rasitustestit kokoonpanon ja hipot-esitestausruksen jälkeen. Kuvassa on merkitty punaisella testauspaikat, joita on 12 kappaletta, kahdeksan on pienille teholuokille ja neljä on isoille teholuokille. Sinisellä on merkitty välivarastopaikat, joita on 14 kappaletta. Robotti siirtää välivarastopaikoille rasitustesteistä valmistuneita laitteita odottamaan pääsyä loppuvarustelun purkupisteen kuljettimelle, mikäli kuljetin on täynnä ja testaukseen on jonossa laitteita. Robotti siirtää välivarastopaikoille myös rasitustesteissä vikaantuneet laitteet odottamaan kutsua vianselvitykseen koestamon korjauspisteelle. Kuvaan on merkitty punaisella nuolella hipot 1 -työpisteeltä tulevien laitteiden kuljetin ja keltaisella nuolella hipot 2 -työpisteeltä tulevien laitteiden kuljetin. Oranssilla merkitty paikka on tarkoitettu vain edellisen tuotesukupolven laitteita varten, joten sitä ei käytetä enää. Kuvan vasemmassa yläkulmassa on valvomo-näkymä, josta loppuvarustelu sekä koestamo seuraa rasitustestien edistymistä sekä mitä laitteita milläkin paikalla on.



Kuva 6. Robottisolu 3

Robottisolun 3 rasiustesteillä tarkoitetaan eri ohjelmistojen latausta laitteille. Rasiustesti on jaettu seuraaviin vaiheisiin:

- DC-jännitetestti
- AC-jännitetestti
- ID-ajo, jossa tunnistetaan moottorin ominaisuudet
- Turvatoimintojen testaus (laitekohtainen)
- Kevyt kuormitustesti
- Puhaltimen testaus
- Jarrukatkojan testi (jos jarru-optio)
- Ylijännitetestti

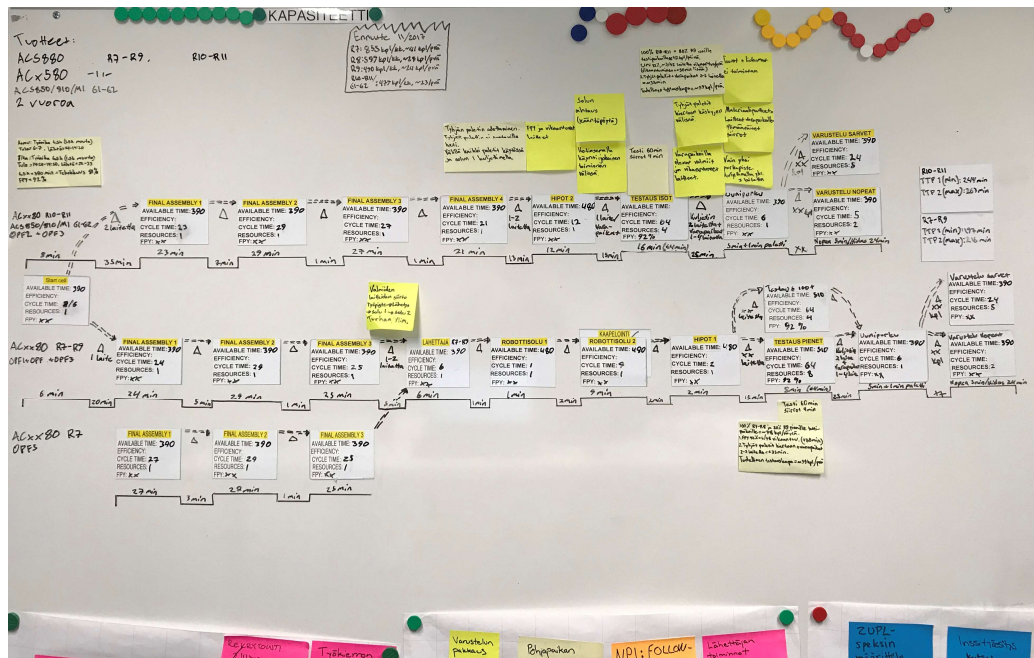
- Ylivirtatesti
- Maasulkutesti
- Oikosulkutesti
- Varsinainen kuormitustesti (Burn-In)
- Asiakaskohtaisten asiakasohjelmistojen lataus (+25 min).

Lopuksi jännitteet puretaan pois, jotta laite on turvallista ottaa ulos solusta.

Robottisolussa 3 kommunikointi tapahtuu Profibus-väylän kautta. Kommunikointiväylä kytkeytyy robotin ohjaukseen, palettien saattomuistilukijoihin, solun 3 kuljettimiin ja tietokoneisiin, jotka sijaitsevat koestamossa ja loppuvarustelussa. Robottisolu 3 on kytketty Access-tietokantaan, samoin kuin hipot-työpisteet, johon robotin kaikki käskyt ja testausjärjestelmän tiedot sekä testitulokset tallentuvat.

5 Prosessin nykytilan arvovirtakuvaus

Ennen kuin prosessille päästiin miettimään systemaattisesti kehitysideoita, sen nykytilasta oli tehtävä ajantasainen arvovirtakuvaus, josta voitaisiin helposti todentaa haasteet. Tarkoituksena oli ensin luoda Large Drives -tuotantolinjan prosessista valkotaululle visuaalinen kartta, jolla voitaisiin tutkia, havainnoida ja esittää, missä haasteita esiintyy ja millainen prosessi on juuri sillä hetkellä. Nykytilan valkotaululuonnoksen jälkeen siitä piti luoda sähköinen eli lopullinen versio käyttäen Microsoft Visio -ohjelmaa.

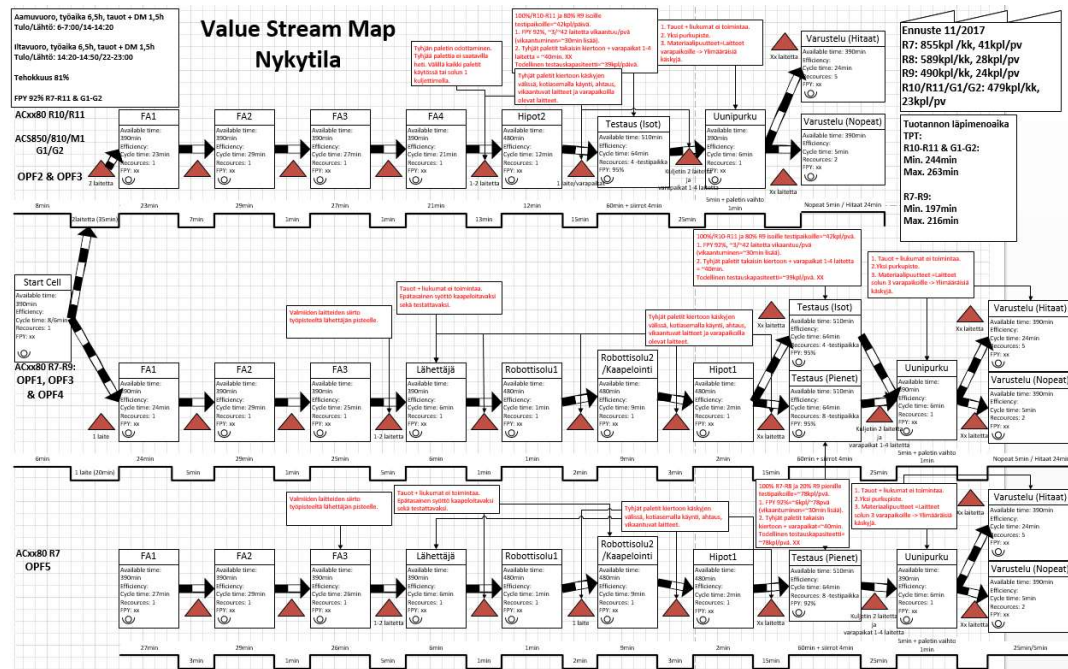


Kuva 7. Nykytilan VSM-arvovirtakuvaus, valkotauluversio

Arvovirtakuvauksen ensimmäinen versio (kuva 7.) tehtiin tuotantolinjan omassa neuvotteluhuoneessa valkotaululle, josta koko prosessia pystyttiin seuraamaan samalla kun arvovirtakuvausta luotiin. Tutkimustyö kuvausta varten toteutettiin seuraamalla tuotantoa useita päiviä sekä käyttämällä avuksi Access-tietokannasta ja SAP-tuotannonohjausjärjestelmästä saatua tietoa eri työvaiheista. Valkotaulu-version valmistuessaan kuvauksesta luotiin sähköinen ja lopullinen versio (kuva 8.). Nykytilan arvovirtakuvausta tullaan käyttämään tuotantolinjan tulevia jatkokehityksiä varten, sillä siinä on tehty tutkimus tuotannon haasteista ja tuotu niitä selkeästi esille sekä käytössä on tämän myötä ajan tasalla oleva arvovirtakuvaus. ABB:llä kaikki tehdyt arvovirtakuvaukset lisätään IMS-nimiin (engl. Integrated management system) toimintajärjestelmään, josta kuvausta voi tutkia kuka tahansa ABB:n toimihenkilö.

Nykytilan VSM-kuvauksella saatiin esille tuotantojärjestelmän kapeikot, jotka vaikuttavat tuotantolinjan päivittäiseen tekemiseen. VSM-kuvauksen avulla voitiin todeta linjalla kauan puhuttaneiden haasteiden todelliset vaikutukset, jotka ovat liittyneet testausjärjestelmän testauskapasiteettiin, robottisolun 3 toimintaan sekä niiden oheistoimintoihin ja tämän kautta koko prosessiin. Kuvauksesta näkee, että valmista tuotantoa kertyy enimmäkseen robottisolun 3 eteen ja sisälle ja hipot-työpisteiden sekä loppuvarustelun pur-

kupaikan eteen. Kuvauksesta nähtiin laitteiden first pass yield (FPY) -luvun eli vikaantumisprosentin, laitteiden epätasaisen panostuksen ja purkamisen taukojen ja liukumien aikana, testauspaikkojen rajallisen määrän, testausaikojen pituuden, solun 3 ahtauden ja epätasaisen palettikierron vaikutukset tuotteiden läpimenoaikoihin ja prosessin virustaustehokkuuteen. Nykytilan kuvauksella vahvistettiin epäilyt palettikierron ja rajallisen testauspaikkojen määrän vaikutuksista hipot 2 -työpisteellä ja sen myötä R9–R11- ja G1–G2-raameissa. Kuvauksesta ja sen tutkimuksista voi päätellä, että mikäli isoihin testauspaikkoihin meneviä tuotteita valmistetaan yli 39 kappaletta vuoron aikana, alkaa palettikierto ja rajalliset testauspaikat vaikuttamaan valmistukseen. Kuvauksen tutkimustyössä saatiin selvitettyä testausjärjestelmän todellinen testauskapasiteetti, loppuvarustelun purkupaikan ja oheistoimintojen vaikutukset testausjärjestelmän toimintaan sekä samalla tuotiin esille OPF-linjojen epätasaiset työvaiheet.



Kuva 8. Nykytilan VSM-arvovirtakuvaus, sähköinen versio

6 Prosessin ja robottisolun 3 toiminta, haasteet ja kapasiteetti

Tässä luvussa esitellään tarkemmin koko prosessin ja robottisolun 3 toimintaa, havaittuja pullonkauloja eli haasteita ja testausjärjestelmän testauskapasiteettia. Haasteet liittyvät pääsääntöisesti testausjärjestelmän ylimääräisiin toimintoihin ja sen ahtauteen, tuotantolinjan epätasaiseen toimintaan, tyhjien palettien epätasaiseen kiertoon, testauspaikkojen rajalliseen määrään, pitkiin testausaikoihin ja laitteiden korkeaan vikaantumisprosenttiin. Tässä luvussa käytetyt ja esitetyt tiedot on saatu kerättyä VSM-tutkimuksesta (kuva 8.), tuotantojärjestelmän Access-tietokannasta, SAP-tuotannonohjausjärjestelmästä, omasta viiden vuoden työkokemuksesta Large Drives -tuotantolinjalla ja tuotantolinjan henkilöstöä haastatteleamalla. Työssä on liitteenä lista testauspaikoista (liite 1.), jossa testauspaikkojen käyttö on jaettu raamien ja teholuokkien mukaan sekä lista palaverista (liite 2.), joita on pidetty tähän insinööriyöhön liittyen tiedonkeruuta varten.

Taulukko 2. Havaitut haasteet -taulukko

Havaitut haasteet	
Haaste	Vaikutus
#1 Ylimääräiset siirrot (ahtaus, epätasainen panostus- ja purkutoiminta, palettikierto)	Läpimenoaika/virtaustehokkuus. Ylimääräisiä siirtoja noin 40 % testausajan (60min.) lisäksi.
#2 Pitkät testausajat	Läpimenoaika/testauskapasiteetti. Testausajat pidentyneet noin 25 %.
#3 Rajallinen testauspaikkojen määrä ja testauskapasiteetti	Testauskapasiteetti.
#4 Vikaantumisprosentti	Läpimenoaika/testauskapasiteetti. 8 % laitteista vikaantuu päivässä = noin 9 laitetta.

6.1 Robotin ylimääräiset toiminnot ja testausolun ahtaus

Laitteen saapuessa hipot 1 -työpisteeltä testaukseen ja testauspaikkojen ollessa vapaana robotti avaa testauspaikan pöydän, hakee laitteen kuljettimelta ja vie laitteen suoraan testauspaikalle. Mikäli kaikki testauspaikat ovat käytössä, hipot 1 -työpisteeltä tuleva laite jää kuljettimelle, aiheuttaen usean laitteen jonon testausjärjestelmän eteen hipot 1 -työpisteelle, soluihin 1 ja 2 sekä lähettäjän työpisteelle, minkä takia joudutaan keskeyttämään tuotantoa. Laitteita voidaan koestamon toimesta pakottaa manuaalisesti välivarastopaikoille odottamaan testauspaikkaa, mutta tämä aiheuttaa robotille useita minuutteja vieviä ylimääräisiä toimintoja, eikä pullonkaula poistu, se vain siirrettään solun

edestä sen sisäpuolelle. Robottisolun 3 ahtauden takia sinne on luotu kääntöpöytä. Kun hipot 2 -työpisteeltä valmistuu laite, se nostetaan ensin kääntöpöydälle, käydään avaa-
massa testauspaikan pöytä ja vasta tämän jälkeen robotti hakee ja siirtää laitteen kääntöpöydältä sille kuuluvalla paikalla.

Robotti käy jokaisen toiminnon välissä sille määritetyllä kotiasemallaan, mutta tämä on kuitenkin tarpeellinen liike robotin toiminnan kannalta. Robottisolussa voidaan pitää vain yhtä pöytää auki kerrallaan, ja tämän takia sinne on luotu edellisessä luvussa mainittu kääntöpöytä. Tilan ahtauden ja robotin toimintakunnon ylläpidon takia voidaan todeta, että mitään robotin toimintoja ei voida poistaa, muuttaa tai nopeuttaa, niitä vain voidaan vähentää eri toiminnoilla.

Laitteiden valmistuessa testauksesta laitteiden seuraava määränpää on loppuvarustelun purkupaikka, jonka kuljettimelle mahtuu kolme laitetta. Purkupaikalla on yksi työntekijä, joka purkaa jokaisesta laitteesta testauskaapelit ja nostaa laitteet pakkauspaaleille, käyttäen tähän noin 6 minuuttia. Loppuvarustelun toimenpiteiden jälkeen, eli viimeisen visuaalisen tarkastuksen, verhoilumateriaalien asennuksen sekä testiraportin ja käyttöohjemanuaalien keräyksen jälkeen laite nostetaan kuljettimelta pois. Työntekijä lähettää tyhjän paletin takaisin kiertoon paluukuljettimelle soluun 3 ja tilaa valvomo-näkymän (kuva 6.) kautta uuden testauksesta valmistuneen laitteen kuljettimelle. Mikäli loppuvarustelun purkupaikalla on kuljetin täynnä, testauksesta valmistuu laite ja testaukseen on laitteita jonossa, siirtää robotti valmiit laitteet välivarastopaikoille, aiheuttaen robotille ylimääräisiä siirtoja. Loppuvarustelussa materiaalipuutteen ilmestyessä laitteiden valmistuksen keskeytys on usein liian myöhäistä ja laitteita joudutaan usein varastoimaan väli-varastopaikoilla.

Taukojen ja tulo- ja lähtöliukumien takia valmiita laitteita panostetaan testaukseen ja loppuvarusteluun epätasaisesti. Hipot-työpisteellä koestajat toimivat taukojen aikana, mutta liukumien aikana ei aina ole koestajaa paikalla. Iltavuoron päätteeksi liukuman aikana, eli kello 22–23 ei aina ole lähettäjä, koestajaa tai loppuvarustelun työntekijää paikalla ja tämän takia useampi laite jää syöttämättä testaukseen ja samalla myös useampi laite jää ottamatta ulos loppuvarustelussa. Liukumien vaikutus on suuri, sillä iltavuoron päätteeksi noin 3–9 laitetta voi jäädä testausolun eteen ja sisälle, jolloin puhutaan kymmenien minuuttien ylimääräisistä siirroista.

6.2 Tyhjien palettien kierto

Robotin siirtäessä laitteita kuljettimilta testauspaikoille ja toisinpäin se käy toimintojen välissä hakemassa tyhjän paletin loppuvarustelun paluukuljettimelta ja siirtää sen takaisin kiertoon hipot 2 -työpisteen tai robottisolun 1 kuljettimelle. Paletteja on kierrossa yhteensä 32 kappaletta. Hipot 2 -työpisteelle mahtuu vain yksi paletti kerrallaan, jonka takia robotti on ohjelmoitu viemään tyhjän paletin ensisijaisesti sinne. Mikäli hipot 2 -työpisteellä on jo paletti, viedään tyhjä paletti robottisolun 1 kuljettimelle, johon mahtuu yhteensä kymmenen palettia. Tyhjän paletin palautuessaan takaisin kiertoon se ei jää paluukuljettimelle, ja tämä aiheuttaa hipot 2 -työpisteellä haasteita, sillä tyhjää palettia joudutaan odottamaan välillä pitkäänkin, jos kaikki paletit ovat käytössä tai ehtineet solun 1 kuljettimelle.

6.3 Testauspaikkojen rajallinen määrä, pitkät testausajat ja FPY

Tuoteperheen muutoksen myötä testausajat ovat pidentyneet 15 minuutilla ja tuotantomäärät kasvaneet aiheuttaen haasteita jo valmiiksi pieneen testauskapasiteettiin. Testauspaikkoja on rajallinen määrä, kahdeksan testauspaikkaa on pienille teholuokille sekä neljä testauspaikkaa on isoille teholuokille. Varsinkin isojen testauspaikkojen rajallinen määrä aiheuttaa haasteita, sillä noin 80 prosenttia R9-raameista sekä kaikki R10–R11- ja G1–G2-raamit testataan isoilla testauspaikoilla, joita pyritään valmistamaan noin 42 kappaletta yhden työpäivän aikana. Valmistusta joudutaan usein keskeyttämään, jotta hipot-työpisteille ja testausjärjestelmän eteen ja sisälle ei kerry liikaa valmiita laitteita. Rajallisen testauskapasiteetin takia isoille testauspaikoille menevien raamien saataavuutta on jouduttu rajoittamaan siten, ettei se ylittäisi testauskapasiteettia. Kysyntää olisi suuremmille kappalemäärille, ja tuotannon kapasiteetti riittäisi valmistamaan jopa 60 kappaletta kyseisiä raameja.

Tuotantolinjan keskimääräinen FPY, eli laitteiden vikaantumisprosentti on noin 92 %. VSM-kuvauksen tutkimuksissa saatiin selvitettyä, että yhden työpäivän aikana isoilla testauspaikoilla vikaantuu kolme laitetta ja pienillä testauspaikoilla kuusi laitetta (kuva 8.). Vikaantuneille laitteille on vain yksi korjauspaikka koestamossa ja vikaantunut laite menee ensin välivarastopaikalle, ennen kuin se ehditään kutsua korjauspaikalle. Korjaustoimenpiteiden jälkeen laite lähetetään uudelleen testaukseen. Tutkimuksissa selvisi,

että jokainen vikaantunut laite vaatii normaalin 60 minuutin testausajan lisäksi vielä vähintään 30 minuuttia ylimääräistä aikaa, johon sisältyy arvio keskeytyneen testin ja korjauksen sekä siirtojen kestosta, jotka vikaantunut laite aiheuttaa. Laitteen vikaantuminen ei johdu aina kokoonpanovirheistä, vaan välillä laitteita vikaantuu myös komponenttivalmistajien virheistä. Vikaantumisen laajuudesta riippuen laite korjataan koestamon korjauspaikalla, siirretään tuotantolinjan korjauspaikalle tai lähetetään romutettavaksi ja valmistetaan uusi korvaava laite tilalle.

6.4 Testausjärjestelmän kapasiteetti

Teoriassa yhden kokonaisen työpäivän aikana laitteiden 60 minuutin testausajalla pitäisi saada testattua isoilla testauspaikoilla 64 laitetta ja pienillä testauspaikoilla 128 laitetta, eli huomioimatta palettien siirtoja ja asiakaskohtaisia ohjelmistoja, joiden lataaminen vaatii lisäksi vielä noin 25 minuuttia. Robotin suorittaessa laitteiden siirtoja testaukseen tulevan ja testauksesta valmistuvan laitteen kanssa joudutaan lisäämään 60 minuutin testausaikaan vielä noin neljä minuuttia siirtelyaikaa. Testausjärjestelmän jatkuvan maksimi kuormituksen ja epätasaisen panostus- ja purkutoiminnan takia laitteille aiheutuu yhteensä vielä noin 40 minuutin verran ylimääräisiä siirtoja ja odotteluja ennen kuin laite pääsee testiin tai loppuvarusteluun. Testausjärjestelmään vaikuttaa loppuvarustelun uunipurkupaikka, jossa vain yksi laite voidaan purkaa kerralla, aiheuttaen laitteille aiemmin mainittua odotusaikaa. Nykytilan arvovirtakuvauksen yhteydessä laskettiin, että todellisuudessa isojen testauspaikkojen kapasiteetti on yhden työpäivän aikana noin 39 laitetta ja pienien testauspaikkojen kapasiteetti noin 78 kappaletta (kuva 8.).

7 Kapeikkojen kehitys

Työssä oli tavoitteena tutkia ja selvittää koko tuotantojärjestelmän kapeikkoja Lean-työkaluja käyttäen ja löytää kehitysideoita näiden poistamiselle tai kehittämiseksi. Large Drives -tuotantolinjan henkilökunnan sekä testaustiimin haastattelujen jälkeen päädyttiin taulukossa 2. näkyviin vaihtoehtoihin. Osa vaihtoehtoista päästiin toteuttamaan ja osa saatiin tutkittua tuotantolinjan tulevia kehitysprojekteja varten.

Taulukko 3. Kehitysideat-taulukko

Kehitysideat				
Toteutuksen kuvaus	Vaikutus	Vaikeusaste	Aikataulu	Kustannus
#1 Työaikojen optimointi	Läpimenoaika/virtaustehokkuus	Helppo	Toteutus 03/2018	0 €
#2 Palettikierto-logiikkamuutos	Läpimenoaika/virtaustehokkuus	Keskivaikea	Toteutus 03/2018	8 000 €
#3 Testaussolun lämmitys	Läpimenoaika/testauskapasiteetti	Vaikea	Toteutus x/x	
#4 Testauspaikkojen muutos	Läpimenoaika/testauskapasiteetti	Vaikea	Toteutus x/x	
#5 Linjan layout muutos	Läpimenoaika/virtaustehokkuus	Vaikea	Toteutus x/x	

7.1 Työaikojen optimointi

Nykytilan kuvauksesta voitiin päätellä, että epätasainen laitteiden panostus hipot-työpisteille ja testaukseen vaikutti testausjärjestelmän sujuvaan toimivuuteen, aiheuttamalla sille useita minuutteja vieviä ylimääräisiä siirtoja. Hipot-työpisteillä oli sovittu, että siellä tehdään laitteiden syöttöä myös taukojen aikana, sama käytäntö otettiin käyttöön myös lähettäjän työpisteellä sekä loppuvarustelussa. Tämä helpottaa siten, että valmiit laitteet eivät jää taukojen ajaksi odottelemaan lähetystä, vaan niitä lähetetään testaukseen jatkuvasti. Samalla myös loppuvarustelussa testauksesta valmistuneita laitteita puretaan, jotta testauspaikkoja saadaan vapautettua eikä robotti ehdi nostaa niitä välivarastopaikoille aiheuttaen ylimääräisiä siirtoja.

Large Drives -tuotantolinjalla on käytössä liukuva työaika. Aamuvuoro alkaa 06.00 - 06.50 ja päättyy 14.00 - 14.50. Iltavuoro alkaa 14.20 - 14.50 ja päättyy 22.00 - 23.00. Hipot-työpisteillä, lähettäjän työpisteellä sekä loppuvarustelussa otettiin käyttöön tapa, jossa työvuorolistoihin oli merkittynä molempiin vuoroihin kaksi vastuuhenkilöä, joista toinen tulee töihin heti liukuman alettua ja toinen lähtee töistä vasta liukuman päättyttyä. Taukojen lisäksi tämän avulla tehostettiin toimintaa, jossa mahdollista panostusta ja purkua tapahtuu koko työpäivän ajan, eli 6.00 - 23.00, ja vältyttiin mahdollisista ruuhkista työvuorojen alkaessa ja päättyessä sekä robotin ylimääräisiltä siirroilta, siten, että yhden vuoron aikana noin 3–5 laitetta pääsi suoraan testauksesta loppuvarustelun kuljettimelle testauskaapeleiden purkuun.

7.2 Robottisolun 3 logiikan ohjelmistomuutos

Tyhjien palettien palautuminen kiertoon vaikutti robotin toimintaan ja linjan virtaustehokkuuteen ajoittain. VSM-kuvauksen yhteydessä tehdyssä tutkimustyössä nähtiin palettikierron vaikutuksen olevan isompi hipot 2 -työpisteellä, sillä välillä tyhjä paletti ehtivät siirtyä soluun 1 menevälle kuljettimelle aiheuttaen hipot 2 -työpisteellä 10 - 15 minuutin odottelua paletin kanssa. Tuotantolinjan kehitystiimi oli aiemmin suunnitellut robotin ohjelmaan muutosta, jolla voitaisiin vaikuttaa palettien kiertoon. Tämän insinööriyön seurauksena kehitysidea käynnistettiin pyytämällä työlle tarjous ja suunnittelemalla alihankkijan kanssa muutostyön toteutukselle mahdollinen aikataulu sekä tarvittavat testaukset.

Alkuperäisen logiikkaohjelman mukaan robotti ei pidä yhtään tyhjää palettia varustelun paluukuljettimella, vaan nostaa sen aina pois hipot 2 -työpisteelle tai robottisolun 1 menevälle kuljettimelle. Tarkoituksena oli muuttaa robotin logiikan ohjelmaa siten, että loppuvarustelusta tyhjien palettien palautuessa takaisin kiertoon jäisi yksi tyhjä paletti aina kuljettimelle varastoon. Tämän avulla saadaan varmistettua, että loppuvarustelun paluukuljettimella on aina valmiina tyhjä paletti, kun sitä tarvitaan jollain työpisteellä, eikä robotti joudu suorittamaan turhaa tyhjän paletin siirtoa muiden komentojen välissä, jos paletille ei ole tarvetta.

Alihankkija laski työlle tarjouksen ja muutostyön toteutus suunniteltiin siten, että sen vaikutukset tuotantoon olisivat minimaaliset. Alihankkija tekee muutostyöt valmiiksi ja simuloi sitä useaan kertaan ennen kuin se syötettäisiin ohjauslogiikalle. Simuloimisen ansiosta logiikan ohjelmistomuutosta voidaan kokeilla ennen oikeaa käyttöönottoa, välttämällä mahdolliset pysähdykset tuotannossa. Muutoksen myötä palettikierron aiheuttama odottaminen työpisteillä tulee loppumaan täysin, jos palettikiertoon ei ole muita vaikuttavia tekijöitä. Tällä saadaan lyhennettyä hipot 2 -työpisteen odotusaikaa, eli R10–R11- ja G1–G2-raamien läpimenoaikaa noin 5 - 10 minuuttia, riippuen testausjärjestelmän muusta toiminnasta.

7.3 Robottisolun 3 lämpötila

Jokaisen laitteen testauksessa laitteelle tehdään kuormitustesti (Burn-In) laitteen toimivuuden varmistamiseksi suurimmassa sallitussa lämpötilassa. Rasiustestien ohjeistuksesta löytyy maininta, jossa sanotaan, että testausisolun lämpötilalla voidaan vaikuttaa

kuormitustestin pituuteen (kuva 9.). Tästä voitiin päätellä, että testausaikoja on mahdollista lyhentää testaussolun lämpötilaa nostamalla. Tasaisen ja korkeamman lämpötilan ansiosta laitteelle aiheutuva kuormitus testauksen aikana olisi kovempi ja tämän myötä testausjärjestelmä käyttäisi vähemmän aikaa laitteen kuormittamiseen. Testaussolun korkeammalla lämpötilalla saataisiin nopeammin ja paremmin esille sähköisten komponenttien viat, joten lämpötilan nostaminen olisi myös laadullisesti kannattavaa. Testaussolun erillistä lisälämmitystä on käytetty vaihtoverkkosuuntaajien testauskammioissa ja Small Standard Drives -nimisen tuotantolinjan testaussolussa, joissa on saavutettu noin 50 %:n testausaikojen lyheneminen.

Load test (Burn-In test) is performed to ensure functionality of product in maximum allowed temperature. The test chamber should be temperature controlled. Test chamber temperature may be higher than specified for product to accelerate load test. This allows the use of shorter testing times. Basic functional tests are repeated after the load test.

Kuva 9. Kuvakaappaus rasiustestauksen ohjeesta

Nykyisellään robottisolun 3 lämpötila saavutetaan testattavien laitteiden häviöllä ja lämpötila vaihtelee 25 - 35 celsiusasteen välillä, riippuen testattavien laitteiden määrästä. Robottisolun lämmitystä oli kokeiltu vuonna 2010 kahdella teollisuuslämmittimellä, mutta tämä kokeilu jouduttiin lopettamaan turvallisuussyistä. Teollisuuslämmittimillä saavutettiin maksimissaan 35 celsiusasteen epätasainen lämpötila. Teollisuuslämmittimillä saavutettu lämpö karkasi herkästi robottisolun 3 ulkopuolelle. Teollisuuslämmittimien kokeilun yhteydessä robottisolua 3 yritettiin eristää mahdollisuuksien mukaan, jotta lämpötila ei karkaisi tehdashalliin.

Tässä työssä otettiin robottisolun 3 lämmitys uudelleen yhdeksi kehitysideaksi. Tällä kertaa turvallisuus olisi edellytyksenä lämmityksen sujuvan toiminnan kannalta, jolloin vaikka vahingon sattuessa myös lämmitys lakkaisi toimimasta koestamon hätäpysäytyspainikkeesta. Lämmitys toteutettaisiin säädettävien lämmitysvastuksien ja puhaltimien avulla, kuten corinth-testauskammioissa ja 550-tuotantolinjalla, joilla haluttu lämpötila saavutettaisiin nopeammin ja voitaisiin säätää siten, että lämpötila pysyisi tasaisena koko työpäivän ajan. Tasaisen lämpötilan ja halutun lopputuloksen saavuttamiseksi solun 3 eristystä on parannettava lisää sulkemalla ja tiivistämällä ylimääräisiä aukkoja sekä miettimällä tarpeellisten kuljetinluukkujen avautumistarpeita. Mikäli solussa 3 saavutettaisiin tasainen noin 40 celsiusasteen lämpötila, saataisiin testausaikoja lyhennettyä vä-

hintään viidellä minuutilla. Yhden työpäivän aikana jo viiden minuutin testausaikojen lyhentämisellä, ilman mitään muita muutoksia, saavutettaisiin yhteensä noin kahdeksan laitteen verran lisää testauskapasiteettia.

7.4 Testauspaikkojen muutos

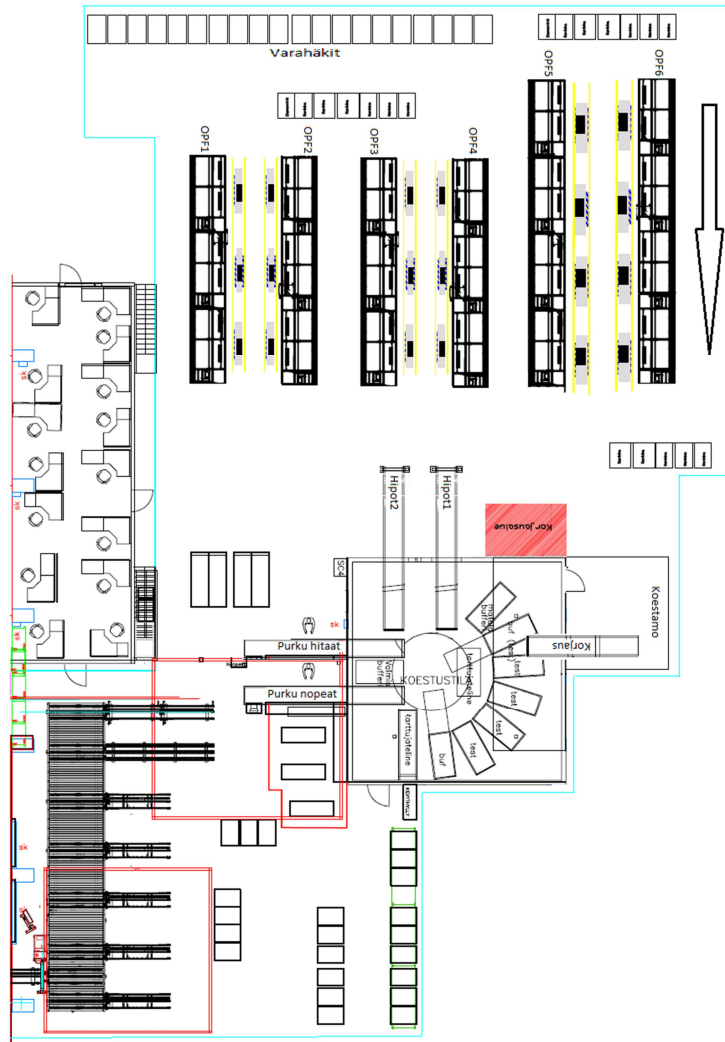
Aikaisemmissa luvuissa on mainittu, että testauspaikat on jaettu teholuokkien mukaan, kahdeksan testauspaikkaa on pienille teholuokille ja neljä testauspaikkaa isoille teholuokille (liite 1.). Isojen testauspaikkojen vähäinen määrä aiheuttaa haasteita isoille testauspaikoille menevien tuotteiden valmistuksessa. Isot testauspaikat toimivat pullonkaulana, eikä suorituskyky riitä pienenkään kysynnän kasvuun. Ennusteiden mukaan vuonna 2019 tammikuussa tulisi valmistaa yhden työpäivän aikana noin 50 isoihin testauspaikkoihin menevää laitetta ja tällä hetkellä maksimi kapasiteetti on noin 39 laitetta. Testauspaikkoja on mahdollista muokata siten, että pienillä testauspaikoilla voitaisiin suorittaa rasiustestejä myös isoille teholuokille.

Pienten testauspaikkojen kuormitusmoottoreissa on vain tähti (Y) -moottorikäimitykset, eli kytkennät. Tästä johtuen pienillä testauspaikoilla laitteita voidaan testata vain Y-kytkennällä, jolloin maksimi kuormitusvirta on pienempi kuin isoilla testauspaikoilla eikä isotehoisia laitteita voida testata niissä. Pienille testauspaikoille tulisi lisätä kolmio (D) -kytkennät lisäämällä moottorinohjauskeskuksiin D-kytkennän kontaktorit sekä asentaa D-kytkennän kaapelointi moottoreille. Pienien testauspaikkojen kaapelointia ja kytkentöjä muokkaamalla edellä mainitulla tavalla testauksessa D-kytkennällä saavutettaisiin 544 A:n kuormitusvirta, jolloin ison teholuokan laitteita voitaisiin testata myös pienissä testauspaikoissa.

7.5 Tuotantolinjan layout-muutos

Vanhojen tuoteperheiden siirryttyä jälkivalmistuslinjalle robottisolut 1 ja 2 voidaan luokitella hukaksi R7–R9-raamien valmistuksessa, sillä valmiit laitteet joudutaan kuljettamaan kauas työpisteiltä lähettäjän työpisteelle, josta laitteet kulkevat testaukseen. Valmiit R7–R9-raamit joudutaan siirtämään robottisolujen 1 ja 2 kautta, koska tyhjät paletit palautuvat vain robottisoluun 1. OPF-linjojen sijoittelujen takia hipot-työpisteet on jaettu raamien

mukaan. Sujuvamman toiminnan vuoksi molempien hipot-työpisteiden pitäisi olla käytössä kaikissa tuoteraameissa. Tässä kehitysidea-osiossa tehdään lyhyt esittely tuotantolinjan mahdollisista tulevaisuuden muutoksista (kuva 10.).

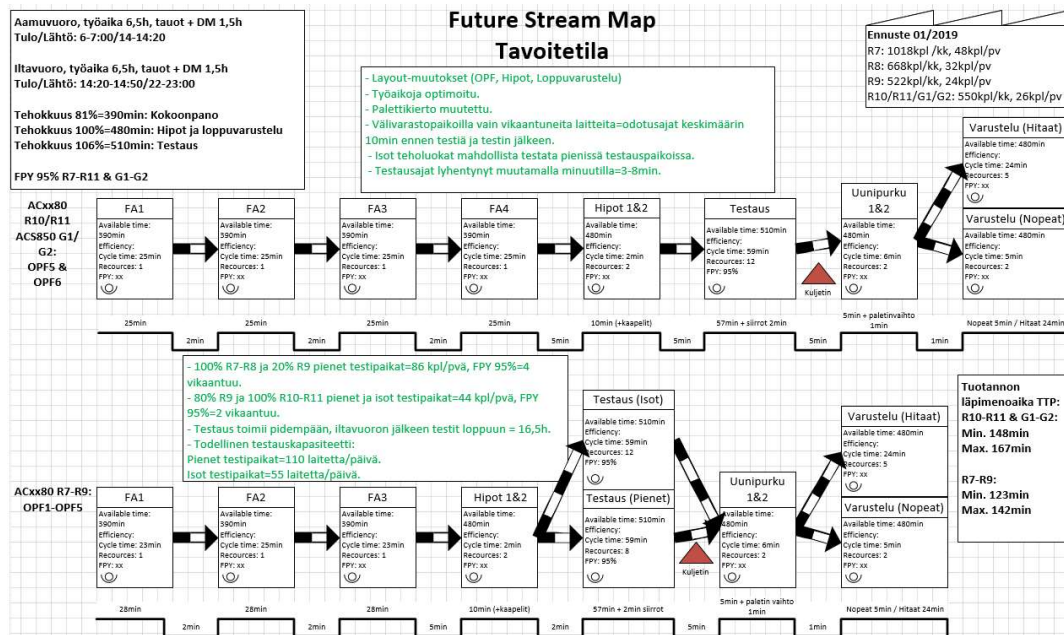


Kuva 10. Large Drives -tuotantolinjan tulevaisuuden layout-luonnos

Startcell-työpiste, robottisolut 1 ja 2 sekä lähettäjän työpiste poistuisivat käytöstä, jolloin tilalle tulisi nykyiset OPF-linjat riviin ja näiden päätyyn molemmat hipot-työpisteet siten, että ne olisivat integroituina robottisoluuun 3. OPF-linjojen ja hipot-työpisteiden uudelleensijoittamisen jälkeen laitteiden läpimenoajoista saataisiin poistettua kaikki ylimääräiseen kuljettamiseen ja odotteluun käytetty työaika, jolloin sitä voitaisiin käyttää asiakkaalle arvoa tuottavaan työhön. Laitteet liikkuisivat OPF-linjan ensimmäiseltä työvaiheelta lähtien aina suoraan seuraavaan työvaiheeseen loppuvarustelun pakkaamoon saakka. Hipot-

työpisteiden muutoksen jälkeen paletit kulkisivat vain hipot-työpisteiden, testauspaikkojen ja loppuvarustelun purkupaikkojen välillä, vähentäen myös testaussolun lämmön karkaamista solun ulkopuolelle. OPF-linjoja rakennettaisiin yksi lisää, jotta tuotantolinjalla olisi valmius vastata kasvavaan kysyntään ja epätasaiset työvaiheet tasattaisiin siten, että jokainen vaihe olisi yhtä pitkä. OPF 1-4 -linjoja käytettäisiin R7–R9-raamien valmistukseen ja OPF 6 -linja olisi R10–R11-raamien valmistukseen sekä tämän lisäksi OPF 5 -linja olisi muokattavissa tilauskertymän mukaan jokaisen raamin valmistukseen sopivaksi. Muutoksien myötä koestamo siirtyisi hipot 2 -työpisteeseen alueelle, jolloin hipot 2 -työpiste olisi käytettävissä korjauspaikkana ja koestamon korjauspaikasta tulisi loppuvarustelun toinen testauskaapeleiden purkupaikka. Kahdella loppuvarustelun purkupaikalla jokainen testauksesta valmistuva laite siirtyisi suoraan purkupaikan kuljettimille, jolloin varapaikoille ei menisi yhtäkään laitetta ja tämän avulla välttyttäisiin robotin kymmenien minuuttien ylimääräisiltä siirroilta ja sen aiheuttamilta odotusajoilta ja tuotannon katkoksilta.

7.6 Prosessin tavoitetilan arvovirtakuvaus



Kuva 11. Tavoitetila FSM-arvovirtakuvaus

Tavoitetilan arvovirtakuvaus (kuva 11.) luotiin vasta kehitysideoiden tutkimisen jälkeen. Tavoitetilan luomisessa otettiin huomioon kaikki kehitysideat, jotka tuotiin esille tässä työssä sekä vuoden 2018 FPY-tavoiteluku, joka on 95 %.

Tavoitetilan kuvauksessa laskettiin mahdollinen todellinen testauskapasiteetti erikseen isoille ja pienille testauspaikoille. Kaikkien kehitysideoiden toteuttamisen jälkeen isoilla testauspaikoilla voitaisiin testata päivän aikana noin 55 laitetta ja pienillä testauspaikoilla noin 110 laitetta. Tavoitetilan yhteydessä otettiin huomioon vuoden 2019 tammikuun kasvaneet ennusteluvut ja kehitysideoiden toteutuksen jälkeen voitiin todeta, että Large Drives -tuotantolinja voisi vastata asiakkaiden kysyntään ilman ongelmia.

Taulukko 4. Nykytila vs. Tavoitetila -vertailutaulukko

Nykytila vs. Tavoitetila		
Muutos/Kehitys	Nykytila (ennen)	Tavoitetila (jälkeen)
Läpimenoaika R7-R9	3,4 h	2,2 h (35 %)
Läpimenoaika R10-R11/G1-G2	4,2 h	2,6 h (38 %)
FPY-vikaantumisprosentti	92 %	95% (3 %)
Ylimääräiset siirrot ja palettikierto	40 min	0 min (100 %)
Testauskapasiteetti, isot testauspaikat	39 kpl/päivä	55 kpl/päivä (41 %)
Testauskapasiteetti, pienet testauspaikat	78 kpl/päivä	110 kpl/päivä (41 %)

Kapasiteetti kasvaisi layout-muutoksen myötä valtavasti, sillä ylimääräiset siirrot loppuisivat käytännössä kokonaan (taulukko 4.). Toinen loppuvarustelun purkupaikka mahdollistaisi valmiiden laitteiden siirtymisen suoraan testauspaikalta purkupaikalle, ja kokoonpanosta valmiit laitteet siirtyisivät suoraan testauspaikoille. Muutamalla minuutilla lyhentyneiden testausaikojen, parantuneen FPY-luvun sekä muutettujen hipot-työpisteiden ansiosta robottisolun aiheuttamat ylimääräiset odotusajat loppuisivat palettien siirtelyä lukuun ottamatta kokonaan. Pienten testauspaikkojen kaapelointimuutokset mahdollistaisivat isojen teholuokkien testauksen pienillä testauspaikoilla, mikäli R10–R11-raamien tilauskertymä kokisi ison kasvun. Kehitysideoiden toteuttamisen myötä tuotannon läpimenoajat lyhentyisi R7–R9-raameissa noin 80 minuutilla ja R10–R11-raamien läpimenoaika lyhentyisi noin 100 minuutilla.

8 Johtopäätökset

Insinööriyössä tehtyjen selvityksien myötä tultiin siihen päätökseen, että testausjärjestelmää ei saada pienillä muutoksilla palvelemaan tuotantolinjaa johdon haluamalla tavalla. Testausjärjestelmä ja koko tuotantojärjestelmä vaatii isompia muutoksia, jotta tuotantolinja voisi vastata asiakkaiden kysyntään tulevaisuudessakin kilpailukykyisillä toimitusajoilla ja toimitusvarmuudella. Tuotesukupolven muutoksen myötä haasteet ovat kasvaneet ja kokoonpanoalueiden kehitystyöt ovat olleet rajallisia edellisen tuotesukupolven valmistuksen takia. Nykyinen tuotantojärjestelmä on aikoinaan suunniteltu ja valmistettu edelliselle tuotesukupolvelle, mistä uuden tuotesukupolven valmistuksessa havaitut haasteet johtuvat. Edellisen tuotesukupolven siirryttyä jälkivalmistuslinjalle kehitysideoiden toteuttaminen tulisi aloittaa heti, koska pullonkaulojen aiheuttamat haasteet näkyvät jo nyt tuotannon virtaustehokkuudessa.

Tuotesukupolven muutoksen myötä tuotteiden testausajat ovat kasvaneet 15 minuutilla, pienentäen jo valmiiksi rajallista testauskapasiteettia. Työssä käsiteltiin testausaikojen pituutta ja niiden lyhentämistä erillisellä lämmityksellä, mutta tämä ei kuitenkaan ratkaise kaikkia haasteita, sillä kasvavan kysynnän ohella muutaman minuutin testausaikojen lyhentämisellä saavutetaan vain hetkellinen parannus. Tulevaisuutta ajatellen testausaikojen reilu lyhentäminen olisi ainoa vaihtoehto, jolla nykyistä testausjärjestelmää voitaisiin hyödyntää uusissa tuoteperheissä myös vuosienkin päästä. Koko rasiustestien sisältö tulisi käydä läpi miettimällä uusien tuoteperheiden testausvaatimuksia ja -vaiheita. Testausajat pitäisi saada vähintään samalle tasolle, kuin edellisillä tuoteperheillä oli, eli noin 45 minuutin pituisiksi. Testauspaikkojen muuttaminen sopivaksi kaikille teholuokille on yksi vaihtoehto, mutta kokonaan uusien testauspaikkojen luominen vaatii niin paljon aikaa ja investointia, että se on poissuljettu vaihtoehto ja tämänkin puolesta tärkeää olisi keskittyä testausaikoihin tarkemmin.

Insinööriyössä mainittu isoin ja eniten työtä vaativa kehitysidea on edellisten tuoteperheiden valmistuksessa käytettyjen robottisolujen 1 ja 2 poistaminen ja uusien tuoteperheiden kokoonpanolinjojen uudelleensijoittaminen (kuva 10.). Tämän layout-muutoksen ohella myös testausjärjestelmän toimintaan vaikuttavien hipot-työpisteiden ja koestamon uudelleensijoitus sekä loppuvarustelun purkupisteen lisäys kuuluisi projektiin. Tavoitetilan arvovirtakuvauksessa katsottiin vuoden 2019 tammikuun ennustelukuja ja tultiin sii-

hen tulokseen, että jo käytössä olevien OPF-linjojen lisäksi pitäisi rakentaa vielä vähintään yksi linja lisää, jotta tuotannon kapasiteettia saataisiin kasvatettua ja toteutettua asiakkaiden pyynnöt.

Layout-muutoksien myötä hipot-työpisteillä laitteiden testauskaapelien asennus tulee aiheuttamaan tulevaisuudessa ruuhkia OPF-linjoille, joten siihen työvaiheeseen on mietittävä uusia toimintatapoja. Testauskaapelien asentaminen vie aikaa, koska siinä pitää tehdä useampi kiristys sekä laitteen että paletin päässä. Testauskaapeleita pitää hakea loppuvarustelusta sitä mukaa, kun niitä saadaan purettua paleteista, ja varsinkin R10–R11-raamien testauskaapelit ovat raskaita ja aikaa vieviä sekä haittaavat työergonomiaa hipot-työpisteillä ja loppuvarustelun purkupisteellä. Testauskaapelit voisi muokata yhdeksi kokoonpanoksi ja käyttää automaatiota niiden nostoon, asennukseen ja poistoon, jolloin saataisiin työergonomiaa ja työturvallisuutta parannettua sekä samalla tehostettua tuotantolinjan virtaustehokkuutta.

Robottisolu 3 otettiin käyttöön 2000-luvun alkupuolella ja sen toimintaa on ylläpidetty säännöllisillä huolloilla. Tammikuussa 2018 alkoi testausjärjestelmän kuormitusmoottorien uusiminen. Kuormitusmoottorien uusimisen lisäksi myös robotin eri osien uusiminen olisi ajankohtainen toimenpide. Robotin katkeamattoman toiminnan varmistamiseksi tulisi uusia vähintään robotin tarttuja, jolla robotti nostaa paletit paikasta toiseen. Robotin tarttuja on ajansaatossa kokenut kolhuja ja tulee häiritsemään robotin sujuvaa toimintaa tulevaisuudessa, sillä robotti menee vikatilaan, mikäli tarttuja ei asetu oikeaan asentoon paletin nostokorviin. Uusimisen yhteydessä tulisi miettiä myös testausjärjestelmän ja hipot-työpisteiden tietojärjestelmien uusimista, jotta testaukseen ei aiheudu ylimääräisiä häiriöitä tai laaturiskejä.

Lähteet

- 1 ABB lyhyesti 2017. Verkkoaineisto. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>>. Luettu 20.10.2017.
- 2 Aaltonen, K., Andersin, H., Airila, M., Ekman, K., Kauppinen, V., Liukko, T. & Pohjola, P. 1992. Tuotantoautomaatio. Hämeenlinna: Otatieto Oy.
- 3 Tätä on Lean. Verkkoaineisto. <<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/factoryphysics/>>. Luettu 26.11.2017.
- 4 Just-in-time inventory management. Verkkoaineisto. <<https://www.thebalance.com/just-in-time-jit-inventory-management-393301>>. Luettu 26.11.2017.
- 5 Lean-sanasto. Verkkoaineisto. <<http://leaniksi.fi/lean-sanasto/>>. Luettu 26.11.2017.
- 6 Lean-tahtiaika. Verkkoaineisto. <<http://lci.fi/blog/tag/tahtiaika/>>. Luettu 26.11.2017.
- 7 Arrow Engineering. 2016. Lean-filosofian 7+1 tuottamatonta toimintoa. Verkkoaineisto: <<http://blogi.arroweng.fi/lean-filosofian-7+1-tuottamatonta-toimintoa>>. Luettu 26.11.2017.
- 8 Rother Mike & Shook John, P. 2003. Learning to see. USA: Lean Enterprise Institute.
- 9 Value stream mapping templates. Verkkoaineisto. <<http://creatly.com/blog/examples/value-stream-mapping-templates/#Control>>. Luettu 26.11.2017.
- 10 Value Stream Mapping Project Template. Verkkoaineisto. <<https://www.slideshare.net/oeconsulting/value-stream-mapping-project-template-by-operational-excellence-consulting>>. Luettu 26.11.2017.
- 11 Esteiden teoria. Verkkoaineisto. <<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/esteiden-teoria-toc>>. Luettu 26.11.2017.

Testausluokat

Frame	ProdiID	SystemTestSize	Frame	ProdiID	SystemTestSize	Frame	ProdiID	SystemTestSize
R7	ACS880-01-098A-7	S	R9	ACS880-01-210A-7	S	R10	ACS880-04-330A-7	SL
R7	ACS880-01-119A-7	S	R9	ACS880-01-271A-7	S	R10	ACS880-04-370A-7	SL
R7	ACS880-01-148A-4	S	R9	ACS880-01-302A-5	S	R10	ACS880-04-430A-7	L
R7	ACS880-01-156A-5	S	R9	ACS880-01-315A-3	S	R10	ACS880-04-460A-5	L
R7	ACS880-01-169A-3	S	R9	ACS880-01-343A-3	S	R10	ACS880-04-503A-5	L
R7	ACS880-01-170A-2	S	R9	ACS880-01-343A-4	S	R10	ACS880-04-505A-3	L
R7	ACS880-01-171A-4	S	R9	ACS880-01-361A-5	S	R10	ACS880-04-583A-5	L
R7	ACS880-01-173A-3	S	R9	ACS880-01-363A-3	S	R10	ACS880-04-585A-3	L
R7	ACS880-01-180A-5	S	R9	ACS880-01-393A-4	L	R10	ACS880-04-635A-5	L
R7	ACS880-01-202A-3	S	R9	ACS880-01-414A-5	L	R10	ACS880-04-650A-3	L
R7	ACS880-01-206A-2	S	R9	ACS880-01-427A-3	L	Frame		SystemTestSize
R7	ACS880-01-206A-3	S	R9	ACS880-01-430A-3	L	R10	ACS580-04-505A-4	L
R7	ACS880-01-206A-5	S	R9	ACS880-01-441A-5	L	R10	ACS580-04-585A-4	L
Frame	ProdiID	SystemTestSize	R9	ACS880-01-442A-3	L	R10	ACS580-04-650A-4	L
R7	ACS580-01-169A-4	S	R9	ACS880-01-450A-5	L	Frame		SystemTestSize
R7	ACS580-01-206A-4	S	Frame			R11	ACS880-04-425A-7	L
Frame	ProdiID	SystemTestSize	R9	ACS580-01-363A-4	S	R11	ACS880-04-470A-7	L
R8	ACS880-01-142A-7	S	R9	ACS580-01-430A-4	S	R11	ACS880-04-522A-7	L
R8	ACS880-01-174A-7	S				R11	ACS880-04-590A-7	L
R8	ACS880-01-228A-4	S				R11	ACS880-04-650A-7	L
R8	ACS880-01-240A-5	S				R11	ACS880-04-715A-5	L
R8	ACS880-01-246A-3	S				R11	ACS880-04-721A-7	L
R8	ACS880-01-247A-4	S				R11	ACS880-04-725A-3	L
R8	ACS880-01-260A-5	S				R11	ACS880-04-820A-3	L
R8	ACS880-01-274A-2	S				R11	ACS880-04-820A-5	L
R8	ACS880-01-290A-3	S				R11	ACS880-04-880A-3	L
R8	ACS880-01-293A-3	S				R11	ACS880-04-880A-5	L
R8	ACS880-01-293A-5	S				Frame		SystemTestSize
Frame	ProdiID	SystemTestSize				R11	ACS580-04-725A-4	L
R8	ACS580-01-246A-4	S				R11	ACS580-04-820A-4	L
R8	ACS580-01-293A-4	S				R11	ACS580-04-880A-4	L

Palaverilista

Palaveri lista		
Palaverin tarkoitus (sisältö)	Päivämäärä	Osallistujat
Aloituspalaveri työpaikalla (aiheen läpikäynti)	6.9.2017	Timo Eronen
Opinnäytetyön tilannekatsaus	27.9.2017	Timo Eronen
Tiedonkeruu (tuotantolinja ja testausjärjestelmä)	4.10.2017	Abb henkilö
Opinnäytetyön tilannekatsaus	11.10.2017	Timo Eronen
Aloituspalaveri oppilaitoksella	12.10.2017	Timo Tuominen
Opinnäytetyön tilannekatsaus	31.10.2017	Timo Eronen
Tiedonkeruu (arvovirtakuvaus)	7.11.2017	Abb henkilö
Opinnäytetyön tilannekatsaus	22.11.2017	Timo Eronen
Opinnäytetyön tilannekatsaus	11.1.2018	Timo Eronen
Tiedonkeruu (testausjärjestelmä)	12.1.2018	Abb henkilö
Opinnäytetyön tilannekatsaus	25.1.2018	Timo Eronen
Opinnäytetyön tilannekatsaus (valmis työ)	8.2.2018	Timo Eronen
Opinnäytetyön korjausten läpikäynti	23.2.2018	Timo Eronen