

Nils Iso-Markku

Staattorin kytkennän läpimenoajan puolittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

5.1.2017

Tekijä Otsikko	Nils Iso-Markku Staattorin kytkennän läpimenoajan puolittaminen
Sivumäärä Aika	42 sivua 5.1.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja	Lehtori Timo Junell Tuotannonkehityspäällikkö Esa Lähteenmäki
<p>Tämä insinöörityö tehtiin ABB Oy Motors and Generators -tulosityksikölle Helsingin Pitäjänmäkeen. Työn tavoitteena oli kehittää induktiokonetehtaan AMI400–710 -modulaaristen sähkömoottoreiden staattorin kytkentäsolun läpimenoaika. Työn päämääräksi asetettiin kytkentäsolun läpimenoajan puolittaminen ja layout-suunnittelu.</p> <p>Työssä käsiteltiin tuotannonkehityksessä yleisesti käytettyjä toimintamalleja ja työkaluja. Näistä tärkeimpiä ovat lean-ajattelutapa ja arvovirtakuvaus. Arvovirtakuvauksessa käytiin läpi, miten tuotannon nykytila voidaan arvioida ja luoda tulevaisuudentila. Lean-menetelmissä perehdyttiin 6S-menetelmään, 9 hukkaan ja jatkuvaan parantamiseen. Layout-osuudessa käsiteltiin erilaisia pohjaratkaisuja tuotantolinjasta tuotantosoluun.</p> <p>Prosessin nykytila arvioitiin arvovirtakuvauksesta saadun tiedon perusteella. Prosessissa ilmeni erilaisia hukkia, joista odottaminen ja siirrot olivat eniten aikaa vieviä työvaiheita. Tulevaisuudentila määritettiin eliminoimalla hukat, joihin voitiin vaikuttaa muuttamalla prosessia.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin kolme eri layout-vaihtoehtoa, jotka luovat virtausta ja lyhentävät läpimenoaika. Merkittävin hukka prosessissa oli hartsin kuivumisen odottaminen yön yli. Toinen merkittävä hukka oli staattorin valmisteleminen siirtoon ja staattorin siirtäminen. Varteensa otettavimmat layout-ideat olivat erilaiset tuotantolinjat, jotka parantaisivat virtausta. Ongelmaksi jokaisen layoutin toteuttamisessa muodostui tuoteperheen tuotteiden suuri kokoero.</p> <p>Kaikista vaihtoehdoista staattorin kytkentä pystyasennossa tuotantolinjalla todettiin parhaimmaksi ratkaisuksi. Muissa vaihtoehdoissa kytkentä tehtiin vaaka-asennossa ja staattori asetettiin runkoon vaaka-asennossa.</p>	
Avainsanat	lean, arvovirtakuvaus, layout, läpimenoaika

Author Title	Nils Iso-Markku Lead Time Reduction of the Stator Coupling Process
Number of Pages Date	42 pages 5 January 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Engineering
Instructor	Timo Junell, lecturer Esa Lähteenmäki, Production Development Leader
<p>This Bachelor's thesis was carried out for ABB Motors and Generators' business unit in Helsinki, Pitäjänmäki. The purpose of this thesis was to improve the lead time of a production cell in the electric motor factory. The main goal was to create three layout plans with the goal to cut down the lead time by 50%.</p> <p>In the theoretical part of this thesis, solving the problem was approached with discussing the Lean-thinking methods used by production development at ABB Oy. In the examined production cell the coupling of the stator and main terminal cables is performed. The stator manufacturing process is explained in detail to understand the whole process chain of stator production.</p> <p>The present state of the process was analyzed by using value stream mapping. As a result, the main wastes of the process were revealed and analyzed. A future state map was created to project the possible lead time if wastes were eliminated. From the future state map, three layouts were designed in the objective to keep the wastes minimal.</p> <p>In conclusion, the study suggests three different roads to reach a better flow in the production cell. It clearly states that the main wastes are waiting and unnecessary transportation. Waiting is caused by the long interval of drying the resign sealing the connection. Turning, moving and preparing to move the stator during the process cause unnecessary transportation. Problems with every layout possibility were caused by the big variation in product size.</p>	
Keywords	Lean, VSM, Layout, Lead Time

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	ABB Oy	2
3	Työssä käytetyt menetelmät	3
3.1	Lean-menetelmät	3
3.1.1	Arvovirtakuvaus	4
3.1.2	Littlen laki	5
3.1.3	9 hukkaa	5
3.1.4	Jatkuva parantaminen	6
3.1.5	6S	8
3.2	Layout-suunnittelu	9
3.2.1	Tuotantosolu	9
3.2.2	Tuotantolinja	9
4	AMI-sähkömoottorin valmistusprosessi	10
4.1	Staattorin valmistus	10
4.1.1	Staattoripaketin ladonta	10
4.1.2	Vyyhdenvalmistus	11
4.1.3	Käämintä	11
4.1.4	Kyllästäminen	12
4.2	Staattorin kytkentä	12
4.3	Moduulirakenteisten AMI-koneiden kokoonpano	13
5	Kyt kentäsolan toimintaperiaate	14
6	Työvaiheen nykytila	18
6.1	Arvovirta-analyysi	18
6.2	Tahtiaika	21
6.3	Hukat	21
7	Tulevaisuudentilan kuvaus	22
8	Kyt kennän layout-vaihtoehdot	24

8.1	Ehdot layout-suunnittelussa	24
8.2	Ehdotus 1: tuotantolinja vaaka-asennossa	25
8.2.1	Toimintaperiaate	25
8.2.2	Yhteenveto	27
8.3	Ehdotus 2: tuotantolinja pystyasennossa	29
8.3.1	Toimintaperiaate	30
8.3.2	Yhteenveto	34
8.4	Ehdotus 3: Tuotantolinjan kytkentä vaaka-asennossa	35
8.4.1	Toimintaperiaate	36
8.4.2	Yhteenveto	38
9	Tulokset ja päätelmät	38
9.1	Keskeiset tulokset	38
9.2	Ideoita	39
10	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liitteet vain työntilaajan käyttöön	

Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boweri
AMI	Moduulirakenteisen induktiokoneen tuotenimi
C/O	Changeover time, työkalun vaihtoon tai valmisteluun menevä aika
C/T	Cycle time, työhön kuluva aika
FSM	Future State Mapping, tulevaisuudentilan kuvaus
FSM	Future State Mapping, tulevaisuudentilan kuvaus
KET	Keskeneräinen tuotanto
Lean	Tuotannonohjausfilosofia
WIP	Work in Process, keskeneräinen tuotanto
VSM	Value Stream Mapping, nykytilan kuvaus

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin ABB Oy Motors and Generators -divisioonan induktiokonetehtaan tulosityksikölle. Helsingin Pitäjänmäen konetehtas valmistaa AMI-sarjan sekä HXR/NXR-sarjan induktiomootoreita. Työssä keskitytään modulaaristen AMI400–710-mootoreiden tuotantoprosessin yhteen tuotantosoluun.

Työssä tutkittiin konetehtaan kytkentäsolun toimintaa ja pyrittiin ratkaisemaan työssä ilmeneviä ongelmia. Staattorin kytkentäsolu oli pullonkaula sähkömootoreiden tuotannossa konetehtaalla. Työn tavoitteeksi asetettiin staattorin kytkennän läpimenoajan puolittaminen. Tärkeänä osana työtä käytettiin erilaisia lean-menetelmiä ongelmien ratkaisemiseksi.

Lean-menetelmien avulla kartoitetaan tuotantosolun nykytila seuraamalla ja ajastamalla staattorin läpimenoa tuotantosolussa. Nykytilan kuvauksen pohjalta toteutetaan tulevaisuudentilan kuvaus. Tulevaisuudentilaa varten eliminoidaan kaikki työvaiheissa esiintyvä hukka ja pyritään puolittamaan läpimenoaika. Informaation perusteella tehdään kolme layout vaihtoehtoa, joissa pyritään puolittamaan läpimenoaika ja eliminoimaan hukkaa.

Layout-ehdotuksissa pyritään vähentämään keskeneräisen tuotannon määrää tuomalla virtausta osastolle. Virtausta pyritään luomaan erilaisilla tuotantolinjan layout-ratkaisuilla. Ratkaisuisissa tuodaan esille erilaisia kytkentätapoja ja pyritään luomaan uusia työmenetelmiä.

2 ABB Oy

ABB -yhtymä on maailmanlaajuisesti erikoistunut sähkövoimaan ja automaatioteknologiaan. Suomessa ABB:llä on noin 5100 työntekijää ja maailmanlaajuisesti noin 135 000 henkilöä 100 eri maassa. Suomessa Motors and Generators -yksiköt toimivat Helsingissä ja Vaasassa. Vaasan tehdas vastaa kaikesta ABB:n pienjännitemoottoreiden valmistuksesta ja tuotekehityksestä. Pitäjänmäellä valmistetaan ja kehitetään korkeajännitemoottoreita, generaattoreita ja kestopagneettimoottoreita. (ABB 2016.)

ABB on yhtymä kahdesta yrityksestä, Asea ja Brown Boveri. Asea oli vuonna 1890 perustettu ruotsalainen yritys Svenska Elektriska Aktiebolaget, joka valmisti muuntajia, generaattoreita ja moottoreita. Vuonna 1893 ASEA rakensi ensimmäisen kolmivaiheisen sähkön siirtoverkon Ruotsiin. Myöhemmin ASEA tuli tunnetuksi maailman suurimmista suurjännitemuuntajista. (ABB 2016.)

BBC eli Brown Boveri ja Cie perustettiin vuonna 1891 kahden henkilön Charles E. L. Brownin ja Walter Boverin, toimesta. BBC valmistaa ensimmäisen höyryturbiinin vuonna 1901 ja myöhemmin erilaisia turbiineja teollisuuteen. (ABB 2016.)

ASEA ja BBC sulautuivat uudeksi yhtiöksi, jonka pääkonttori on Zurichissa, Sveitsissä. Uusi yhtymä aloitti toimintansa 1988. Sen liikevaihto oli 17 miljardia ja se työllisti 160 000 ihmistä ympäri maailmaa. (ABB 2016.)

Suomessa ABB:n juuret juontavat Gottfrid Strömbergiin, joka perusti Strömberg konepajan vuonna 1889. Strömberg toimitti tasavirtakoneita Helsingin Kampin verstaasta. 1930-luvulla Strömberg siirtyi nykyiseen paikkaan Pitäjänmäelle. 1983 Strömberg sulautui yhteen Kymi-Kymmenen kanssa ja muodosti Kymi-Strömbergin. ASEA osti Strömbergin vuonna 1986, ja pari vuotta sen jälkeen syntyi ABB-yhtymä. (ABB 2016.)

3 Työssä käytetyt menetelmät

3.1 Lean-menetelmät

Tässä osiossa perehdytään työssä käytettyihin lean-menetelmiin. Käytettävät menetelmät on valittu juuri tähän työhön sopiviksi lukuisista lean-työkaluista hyödyntäen ABB:n käyttämiä työkaluja.

Lean-menetelmien ensisijainen tavoite on minimoida ja hävittää hukkaa. Hukkaa on kaikki turhat työt ja liikkeet, mikä ei ole tuottavaa asiakasnäkökulmasta. Hukka on määritelty alun perin seitsemään kategoriaan: ylituotanto, yliprosesointi, odottaminen, tarpeettomat liikkeet, kuljetukset ja siirrot, viat ja häiriöt sekä varastointi. Jokin aika sitten listaan on lisätty työntekijöiden osaamisen käyttämättä jättäminen ja ympäristöhukka. Lean-filosofian alkuperä on Japanista Toyota production System-järjestelmästä (TPS). TPS on kahden Toyotan työntekijän, Taichi Ohnon ja Shigeo Shinen, kehittämä järjestelmä tuotannonohjaukseen. (Davim 2015: 1-4)

ABB:n tehtaalla on käytössä jatkuvan parantamisen malli tuotannonkehittämistä varten. JP-toiminnalla pyritään tekemään jatkuvasti pieniä parannuksia, jotka johtavat suurempiin muutoksiin. 6S-työkalulla pidetään huolta työympäristön järjestyksestä sekä tehtaassa että toimistossa. 9 hukan ajattelutavalla pyritään havaitsemaan hukkaa ja turhaa työtä kehitystehtävissä.

3.1.1 Arvovirtakuvaus

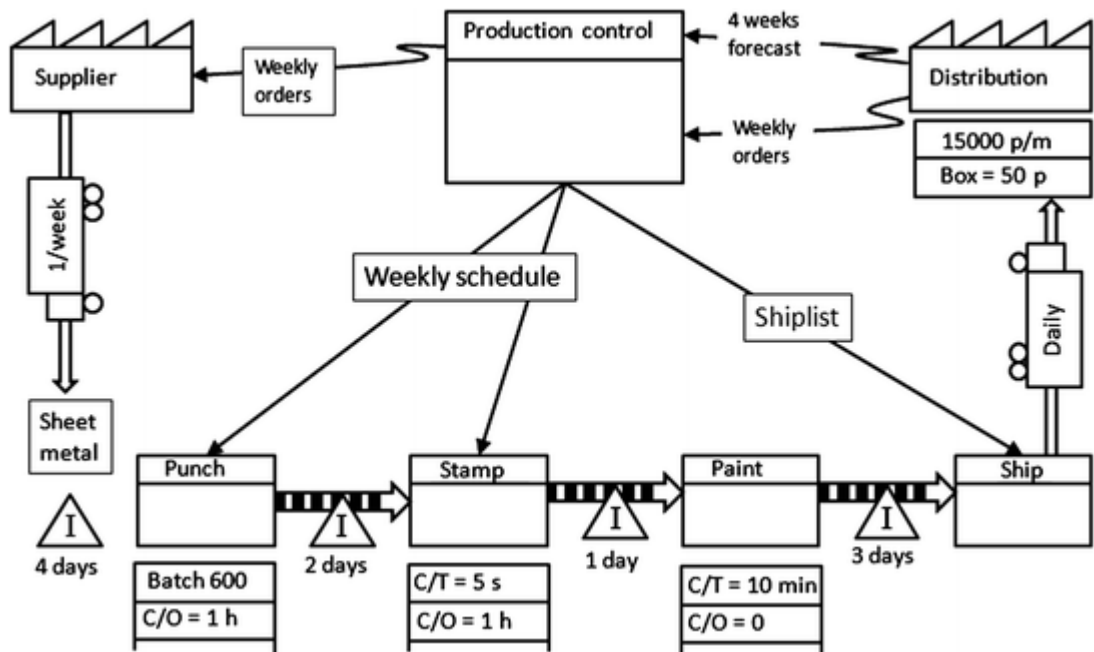
Arvovirtakuvaus on lähtöisin Toyotan materiaalin ja informaation virtausdiagrammista, jonka tarkoitus oli kouluttaa toimittajia Toyotan tavoille. Myöhemmin siitä on kehittynyt ”value stream mapping” (VSM) eli arvovirtakuvaus. Arvovirtakuvauksella pyritään kuvaamaan prosessin nykytila. Nykytilan kuvauksessa seurataan määrätyn prosessin tai koko tehtaan prosessin informaation ja materiaalin virtausta. Tiedolla voidaan kartoittaa tarkasti prosessissa ilmenevät hukat ja kehittää prosessia eteenpäin.(Chakrabarti & Prakash 2013: 823)

Tarkasteluun rajataan osa tai koko prosessi, joka aiheuttaa ongelmia tai luo pullonkaulan tuotantoon. Analysoitava prosessi ajastetaan asiakkaan tilauksesta aina toimitukseen asti. Asiakas voi olla maksava asiakas, joka on tilannut tuotteen tehtaalta tai seuraava tuotannon työvaihe. Prosessi ajastetaan ja työvaiheet kirjataan ylös muistioon, joka myöhemmin jaetaan suurempiin kokonaisuuksiin.(Chakrabarti & Prakash 2013: 823)

Taichi Ohno (1988) kuvaili menettelyä seuraavasti: Me katsomme ainoastaan aikajanaa siitä hetkestä, kun asiakas antaa meille tilauksen, siihen pisteeseen, kun keräämme rahat. Ja me pienennämme tuota aikajanaa poistamalla lisäarvoa tuottamattoman hukan.”(Taiichi Ohno, 1988)

Nykytilan kuvauksen tuloksena saadaan visuaalinen arvovirtakuvaus, joka paljastaa koko tuotantoketjun tilauksesta asiakkaalle. Kuvauksen avulla kuka tahansa pystyy silmäyksellä näkemään tuotteen läpimenoajan ja missä vaiheessa tuote odottaa seuraavaa prosessia (kuva 1.). Tärkeitä termejä kuvauksen ymmärtämisessä ovat Cycle time (C/T), Changeover time (C/O) ja Lead Time. (Chakrabarti & Prakash 2013: 823)

- Cycle Time on pelkästään työhön kuluva aika.
- Changeover Time on työn valmisteluun kuluva aika.
- Lead Time on tilauksesta asiakkaalle kuluva aika mukaan lukien odotusajat eli tuotteen läpimenoaika.



Kuva 1. VSM eli arvovirtakuvaus (Chakrabarti & Prakash 2013: 823)

Nykytilan kuvauksen perusteella tehdään tulevaisuudentilan kuvaus eli "future state map" (FSM). Tulevaisuudentilasta on poistettu kaikki mahdollinen hukka, minkä johdosta tuotteen läpimenoaika saadaan lyhennettyä. Tätä voidaan kutsua myös ideaalitalan kuvaukseksi. Halutun läpimenoajan saavuttamiseksi pyritään kehittämään prosessille toimivampi, usein yksinkertaisempi layout tai muuttamaan työnmenetelmiä.

3.1.2 Littlen laki

Littlen laki on tehdasfysiikan tärkein yhtälö. Sitä käytetään tuotannonkehitystyökaluna valmistusprosessin saannon tai keskeneräisen tuotannon selvittämiseksi. Yhtälöllä voidaan laskea tehtaan keskeneräinen tuotanto eli KET "Work in Process" (WIP). Kääntämällä yhtälöä voidaan laskea saanto eli "Throughput" (TH). Viimeinen elementti yhtälössä on jaksonaika eli "Cycle Time" (CT). (Littlen laki: 2016)

$$CT = \frac{WIP}{TH}$$

3.1.3 9 hukkaa

Lean-ajattelun tärkein tavoite on eliminoida ja minimoida hukkaa tuotannossa. Hukka on määritelty yhdeksään eri kategoriaan, mitkä vaikuttavat haitallisesti läpimenoaikaan.

Poistamalla seuraavassa listattuja hukkia pyritään tuomaan prosessiin enemmän jalostavaa työtä, eliminoimalla ei jalostavaa työtä prosessista. (Davim 2015: 3–6)

1. Kuljetukset ja siirrot

- Osien, materiaalien ja komponenttien liikuttelu, joka ei suoraan liity seuraavaan työvaiheeseen.

2. Varastointi

- Tuotteiden, materiaalin, osien ja komponenttien varastointi, joita ei heti tarvita.
- Varastointihukkaa syntyy, kun tavaraa vastaanotetaan ennen niiden tarvetta.

3. Tarpeettomat liikkeet

- Osien tai työkalujen etsiminen kurkottelu ja hakeminen.
- Työpaikan epäjärjestys ja likaisuus aiheuttavat turhia liikkeitä.

4. Odottaminen

- Työntekijä tai osat odottavat seuraavaa käsittelyvaihetta, työkalua tai komponenttia.

5. Ylituotanto

- Valmistetaan enemmän tai nopeammin kuin seuraava työvaihe pystyy hyödyntämään.
- Ylituotannon seurauksena syntyy seuraavia hukkia: siirtämistä, varastointia ja vaurioitumista.

6. Yliprosessointi

- Kaikki tarpeeton tekeminen, työstäminen tai prosessointi, joka ei lisää asiakkaan saamaa lisäarvoa tuotteelle.

7. Virheet ja niiden korjaamiset

- Tuotteiden ja materiaalien lajittelu, korjaaminen, uudelleen työstäminen ja pois heittäminen.
- Virheiden syitä ovat esimerkiksi puutteellinen työntekijän koulutus ja väärät työkalut ja laitteistot.

8. Osaamisen hyödyntämättä jättäminen

- Kaikki organisaation käytössä olevan taidon, ideoiden ja luovuuden käyttämättä jättäminen.

9. Ympäristö jäte

- Kaikki ympäristöä rasittava jäte.

(JP-yleiskoulutus: 2009.)

3.1.4 Jatkuva parantaminen

Jatkuva parantaminen on lähtöisin Japanista ja juontaa juurensa sanasta ”kaizen”, muutos parempaan. JP-toiminnalla pyritään tekemään jatkuvasti pieniä parannuksia tuotan-

toon. Pienistä muutoksista muodostuu isoja muutoksia, jotka vaikuttavat kokonaistuottavuuteen. Ennen kaikkea jatkuva parantaminen on kulttuuri, missä kuka tahansa voi esitellä kehitysidean.

JP-toiminta edellyttää kulttuuria, missä koko tehtaan henkilökunta on aktiivisesti mukana myynnistä tuotantoon. Järjestelmä vaatii kaikkia esittelemään kehitysideoita ja olemaan jatkuvasti mukana tehtaan toiminnan parantamisessa. Toiminta sisältää kaikkien teoriaosuudessa mainittujen lean-menetelmien hyödyntämisen. Tavoitteet jatkuvan parantamisen toteuttamiseksi pyritään noudattamaan seuraavia ohjeita. (JP-yleiskoulutus: 2009.)

Kokoonpanon häiriötön toiminta

- *Häiriöiden ehkäiseminen kaikessa toiminnassa (myös toimistossa)*
- *Välittömät korjaavat toimenpiteet tehdään heti*
- *Ongelmien juurisyyt selvitetään ja poistetaan nopeasti*

Tuottavuuden parantaminen

- *Arvoa lisäämättömien työvaiheiden tunnistaminen*
- *Hukan poistaminen kaikesta toiminnasta*
- *Yksittäisten työvaiheiden tekeminen keskeytyksettä*
- *Järjestelmälliset ja yhdenmukaiset toimintatavat*
- *Oman työn laadun varmistaminen*

(JP-yleiskoulutus: 2009)

3.1.5 6S

”5S” on alun perin Japanissa kehitetty tekniikka työalueiden organisointia varten. Myöhemmin mukaan on lisätty ”6S safety”, joka on otettu käyttöön ABB:n konetehtaalla. 6S-termi tulee japanin kielen sanoista seiri (sortteeraus), seiton (systematisointi), seiso (siivous), seiketsu (standardisointi), shitsuke (seuranta) ja myöhemmin lisätty safety eli turvallisuus. 6S-tekniikka on ensisijaisesti kulttuuri tehtaan siisteyden, turvallisuuden ja järjestyksen ylläpitämiseksi. Kulttuurin ylläpitämiseksi on luotu jatkuvaan parantamiseen perustuva auditointijärjestelmä, joka pakottaa reagoimaan poikkeamiin. (Davim 2015: 4–5.)

Työpisteet suunnitellaan ja järjestetään 6S tekniikan mukaisesti seuraavasti:

1S Sortteeraus

- tarpeettomien ja viallisten työkalujen korjaaminen tai hävitys.

2S Systematisointi

- tarvittavien työkalujen paikoittaminen ja merkitseminen.

3S Siivous

- alueen perusteellinen siivous ja siivousrutiinien määrittäminen.

4S Standardisointi

- alueen järjestys- ja siivousvastuualuekarttojen sekä auditointijärjestelmän laadinta.

5S Seuranta

- itsenäisesti toimivan järjestelmän seuranta ja poikkeamiin reagoiminen auditointien avulla.

6S Turvallisuus

- turvavälineiden paikkojen määrittäminen ja asettaminen aluekarttaan osana auditointia.

(Davim. 2015: 4–5.)

3.2 Layout-suunnittelu

Layout-suunnittelussa pyritään saavuttamaan toimiva pohjaratkaisu valmistusjärjestelmälle. Suunnittelussa tulee ensin perehtyä tehtaan valmistustapoihin ja prosessiin. Suuressa tehtaassa voidaan valmistaa komponentteja lopputuotteelle, joten tehtaalla voi olla tuoteverstaita, jotka jakautuvat tuotantosoluihin ja työpisteisiin. Yhtä tuotantosolua suunnitellessa on tärkeää ottaa huomioon edeltävä ja sitä seuraava työvaihe, jotta voidaan päätellä virtauksen tarve tuotantosolussa muodostamatta välivarastoja kriittisiin pisteisiin. (Lapinleimu ym. 1997: 309-311.)

Tehdasryhmä on tehdas, jossa toimii eri tehtaita saman rakennuksen tiloissa. Tehtaalla on tuoteverstaita, jotka valmistavat erilaiset osat moottoriin esim. staattori ja roottori. Tuoteverstaiden alle jakautuvat tuotantosolut tai linjat. Työasemat, työpaikat ja koneet muodostavat layout:n tuotantosolun tai -linjan sisällä. (Lapinleimu ym. 1997: 98.)

3.2.1 Tuotantosolu

Tuotantosolu on oma valmistusyksikkönsä, jossa on omat työvälineet ja työntekijät kyseiselle tuotantovaiheelle. Solussa valmistetaan määrätty osa tuotteistolle sille osalle erikoistuneessa solussa. Yksiköt muodostuvat usein erilaisten koneiden yhdistämisestä yhden koneen solusta koneryhmätyyppiseen soluun. Parhaimmassa tapauksessa solu toimii fifo-periaatteella eli ”first in first out”, ensimmäisen sisään tuleva tuote on ensimmäisenä ulosähtävä tuote. (Lapinleimu ym. 1997: 85-91.)

3.2.2 Tuotantolinja

Tuotantolinjoja on kahdenlaisia, tahtilinja ja epätahtilinja. Tahtilinjassa yksikön sisälle ei muodostu ollenkaan välivarastoja. Kappaleet liikkuvat yhtenäisesti työpisteeltä toiselle pisimmän työvaiheen tahdittamana. Pisin työvaihe on siis jokaisen työvaiheen aika, että saadaan linja kulkemaan tahdissa. Epätahtilinjalla muodostuu puskurivarastoja työvaiheitten väliin. Tällöin pisin työvaihe ei määrää muitten työvaiheiden työaikaa. (Lapinleimu ym. 1997: s.81-85.)

Läpäisy aika ja sen hallinta on helposti määritettävissä tuotantolinjan pakkojärjestyksessä. Linjamaista valmistusta pidetään toisinaan jäykähkönä menetelmänä, koska ko-

neiden ja linjan sisällä olevaan työhön ei voida vaikuttaa. Tuotantolinjaa kannattaa käyttää aina kun mahdollista, sen selkeyden ja ohjautuvuuden vuoksi. Virtauksen luominen tuotantoon on aina eduksi, jos valmistettavan tuotteen volyymit ja samankaltaisuus mahdollistavat tuotantolinjan toteuttamisen. (Lapinleimu ym. 1997: 81-85.)

4 AMI-sähkömoottorin valmistusprosessi

AMI on moduulirakenteinen induktiokone, jota valmistetaan ABB Motors and Generators tehtaalla Helsingin Pitäjänmäellä. AMI-moottorin valmistukseen kuuluu kolme pääkomponenttia; staattori, roottori ja runko. Tässä osiossa perehdytään syvemmin staattorin valmistukseen, koska staattorin loppuvalmistus ennen runkoon asentamista on keskeinen osa. AMI-koneiden loppukokoonpanoon tulee imuohjautuvasti roottori ja runkoon asetettu staattori. Loppukokoonpanossa koneeseen asennetaan roottori, laakerit, tuuletin sekä tarvittavat kotelot.

4.1 Staattorin valmistus

Staattorin valmistus koostuu neljästä työvaiheesta; staattoripaketin ladonnasta, vyyhdenvalmistuksesta, kääminnästä ja staattorin kyllästämisestä. Staattorin kytkentä voidaan eritellä kahteen kytkentään: ennen kyllästystä tapahtuvaan kytkentään ja kytkennän jälkeen tapahtuvaan kaapelointiin.

4.1.1 Staattoripaketin ladonta

Staattoripaketti on tehty sadoista sähkölevyistä, jotka puristetaan yhteen. Sähkölevyt asetetaan päällekkäin tuurnaan, missä neljä ohjauspylvästä ja ohjaustapit ohjaavat levyjen oikein asettumista ladonnan aikana. Staattoripaketti puristetaan yhteen 2,2 MN:n voimalla, että levyjen jäysteet ja aaltomaisuus häviävät. Sähkölevyjen ollessa puristuksessa hitsataan alus- ja päätylevyyn neljä sidospalkkia riippuen AMI-koneen mallista. Puristuksesta vapautetun staattoripaketin päätylevyt ja sidospalkit koneistetaan. (P-ohjeisto, 2016.)

4.1.2 Vyyhdenvalmistus

Vyyhdenvalmistuksessa tehdään staattorin sisälle asetettavat vyyhdet, jotka johtavat sähköä staattorin läpi. Johdinmateriaalina käytetään kuparilankaa, joka kelataan aihion ympärille kahdesta tai useammasta kuparikelasta rinnakkain. Aihio asetetaan konekielontaan, missä ympärille kierretään ohjeiden mukainen määrä eristysnauhaa. KytKentäjä ei kytKentäpää eristetään tämän jälkeen. Valmiin eristyksen jälkeen vyyhti levitetään ohjeiden mukaisiin arvoihin, jotta se asettuu staattoripakettiin oikein. (P-ohjeisto, 2016.)

4.1.3 Käämintä

Kääminnässä staattoripakettiin kiinnitetään valmiit vyyhdet. Staattoripaketti nostetaan vaakatasoon kääminnässä käytettävään koneeseen. Vyyhdet asetetaan staattorin sisään vuorotellen ja naputetaan paikalleen vasaralla ja asennuslistan avulla. Vyyhtien päälle asetetaan myös tasovälitäyte ja osaan tasovälitäytteistä asetetaan lämpötilaanturi, jolla voidaan seurata staattorin lämpenemistä. Tasovälitäyteen päälle asetetaan huopa, jonka päälle laitetaan urakiila lukitsemaan vyyhti paikoilleen staattoriin. (P-ohjeisto, 2016.)

Huppuliitoksella liitetään kaksi johdinta toisiinsa. Liitoksessa johtimet taivutetaan ja kova juotetaan toisiinsa kiinni. Liitoksen terävät kulmat suojataan lasikuituteipillä ja lopuksi päälle asetetaan suojasukka. Vyyhdet tuetaan ja sidotaan toisiinsa vaadittavien ilmaeristysvälien säilyttämiseksi. KytKentärenkaisto kytketään vyyhteihin, jotta saadaan myöhemmin liitäntäkaapelit kytkettyä koneeseen. Liitäntöjen määrä vaihtelee riippuen koneen jännitteestä. (P-ohjeisto, 2016.)

4.1.4 Kyllästäminen

Staattori kyllästetään tyhjiökyllästämisessä. Staattori asetetaan ilmatiiviiseen kammioon ja pienennetään kammion painetta tyhjiöpumpulla. Tällöin staattorin kyllästyksessä saadaan kaikki mahdolliset välit täytettyä hartsilla ja ilma poistumaan. Säiliöön lisätään hartsia niin, että staattori on täysin upoksissa. Staattori on säiliössä määrätyn ajan, jonka jälkeen se nostetaan pois ja tarkastetaan. Puhdistuksessa poistetaan ylimääräinen hartsi ja tarkastetaan, että kaikki on kunnossa. Staattoriin sumutetaan kiihdytinliuosta ja nostetaan uuniin kuivumaan hieman vinoon niin, että ylimääräinen hartsi valuu pois. Kyllästyksen jälkeen tarkastetaan vielä staattorin kääminnän kunto, ulkopinnat ja ilmapälipinnat. Kyllästetty staattori siirretään välivarastoon kyllästämis- ulkopuolelle tai suoraan kytkentään, kun staattorin lämpötila on laskenut alle 40 °C:n. (P-ohjeisto, 2016.)

4.2 Staattorin kytkentä

Staattorin kytkentä on insinööriyössä käsiteltävä työvaihe, jota käsitellään tarkemmin luvussa 5 Kytkentäsolun toimintaperiaate.

Staattorin kytkentäsolussa kiinnitetään kaapelit kytkentärenkaistoon. Koneeseen tulee kaapeleita 3–12 kaapeliin riippuen koneen jännitteestä. Staattori tulee hartsattuna kyllästämisestä kytkentään. Kytkennässä tehdään amppliitintä kaapeleille ja vyyhtien ulostuloille. Kaapelit puristetaan toisiinsa kiinni erillisellä liitinosalla. Kiinnityksen jälkeen liitos eristetään nauhalla, kuminauhalla ja viimeiseksi taas nauhalla. Tämän jälkeen liitos tuetaan lisäpaloilla kytkentärenkaistoon. Liitos hartsataan asennuspaikalla ilmakeivahartsilla. Hartsattu staattori jätetään kuivumaan asennuspaikalle yön yli.

Valmis staattori nostetaan runkoon ja kiinnitetään pultiliitoksin tukevasti runkoon kiinni. Työvaihe on valmis ja kone siirtyy kokoonpanoon.

4.3 Moduulirakenteisten AMI-koneiden kokoonpano

AMI-koneiden kokoonpanosolu on jaettu kahteen osaan, iso-AMI ja pikku-AMI -alueiksi. Kokoonpanoon toimitetaan kytkentäsolussa runkoon purkitettu staattori. Tarkasti mitoitettut kaapelit käännetään ja tuodaan siististi pääliitännäkoteloon. Taivutetut kaapelit tuetaan ja hartsataan ilmakeivillä hartsilla. Valmis kone testataan ja maalataan (kuva 2).



Kuva 2. 2 napainen AMI-500 induktiomoottori

5 KytKentäsolumen toimintaperiaate

Staattorin kytKentäsolumessa tehdään kytKentä kahdessa eri paikassa johtuen tuotteiden suuresta kokoerosta. Pienimmät staattorit voidaan asettaa tukijaloille lattian pintaan, mutta suurimmat staattorit nostetaan ja upotetaan asennustasolle, jotta kytKentäkorkeus olisi sopiva. Itse kytKentätyö tehdään samalla tavalla.

Ensimmäiseksi staattorin tullessa osastolle puhdistetaan kierteet, jotta saadaan nostokorvat kiinni staattorin kylkeen. Nostokorvat kiinnitetään staattorin nostoa ja kääntöä varten. Nosturin koukkuun asetetaan nostopalkki ja staattori kiinnitetään nostokorvista palkkiin 1,5 metrin nostoliinoilla. Staattori nostetaan ilmaan, missä se käännetään ketjuavusteisella nostimella pystyasentoon (kuva 3). Pienet staattorit asetetaan lattialle pystyyn kolmen tukijalan varaan. Isommat staattorit nostetaan korotetulle kytKentätasolle mihin staattori upotetaan. Ison staattorin kylkeen kiinnitetään neljä kappaletta kannatinkorvakkeita ja asetetaan tasolle lepäämään.

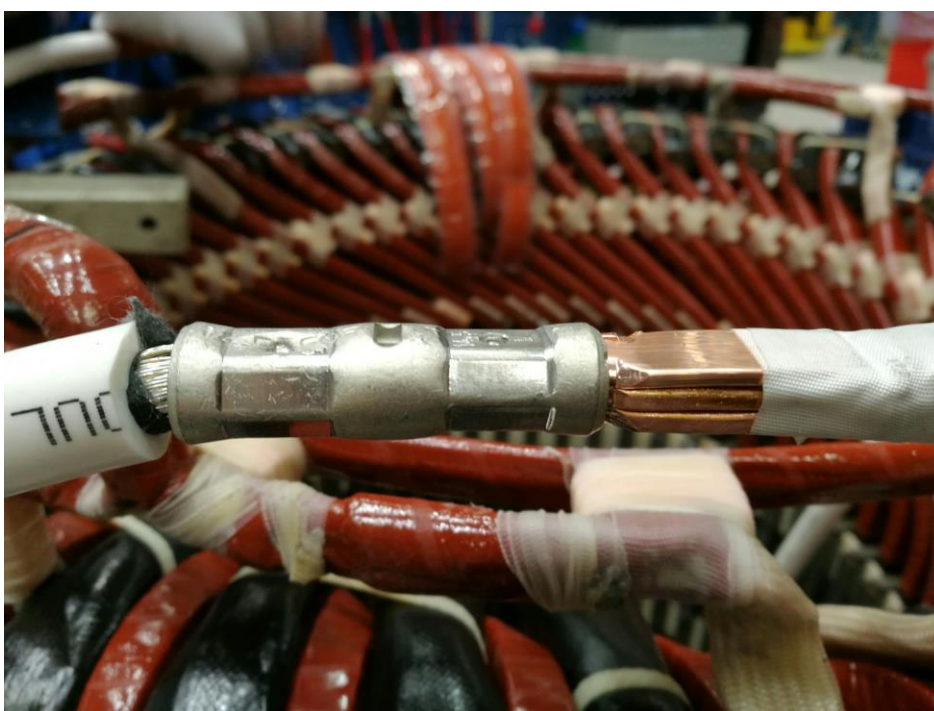


Kuva 3. Staattorin nostopalkki, nostokorvat ja ketjukäännin pystyyn kääntämistä varten

Seuraavaksi työkortilta tarkistetaan liitännään vaadittava kaapelityyppi ja lasketaan mit-tapiirustuksen perusteella oikeanpituiset kaapelit. Kaapelin pituus määräytyy staattorin

ulostulojen etäisyydestä pääliitännäkoteloon. Käämityksen ulostulot puhdistetaan huolellisesti mahdollisesta ylijäämähartsista kyllästyksen jäljiltä.

Kytkeä varten pääliitännän kupariset ulostulot muotoillaan liitintä varten. Muotokuparijohtimet taivutetaan ohjeiden mukaan oikeaan asentoon ja tarvittaessa lisätään täytekuparia. Niputettu muotokuparijohdin puristetaan esipuristusleuoilla, jotta ympärille saadaan pujotettua liitin pääliitännää varten. Liitin asetetaan kiinni ulostuloihin ja puristetaan amppiliitännällä kiinni. Liittimen toiselta puolelta työnnetään pääliitännäkaapeli ja puristetaan amppiliitännällä (kuva 4). Toisinaan yhteen liitimeen kiinnitetään kolmekin kaapelia yhden sijasta.



Kuva 4. Kytkeä varten ulostulon ja pääliitännäkaapelin amppiliitännä

Liitännän jälkeen liitos teipataan ja eristetään. Paljaiden kupariosien ja liitännän päälle kiedotaan lasikuituteippiä peittämään puristuksesta jääneet terävät särmät ja helpottamaan eristystä (kuva 5). Liitoskohta eristetään silikonikuminauhalla ja lopuksi se peitetään nauhalla (kuva 5). Kaapeli tuetaan tuentapaloilla kytkentärenkaistoon määrätylle etäisyydelle.



Kuva 5. Lasikuituteipillä ja silikonikuminauhalla eristetty liitäntä

Hartsikaapissa sekoitetaan ilmakeivahartsista seos hartsausta varten. Ilmakeivahartsia levitetään siveltimellä liitoksen ja tuennan kohdalta kahteen kertaan. Hartsiseoksen kuivumisaika käsittelykuivaksi on kaksi tuntia. Tämä työvaihe kuitenkin suoritetaan hajuhaittojen takia iltavuorossa ja jätetään kuivumaan yön yli.

Valmis staattori nostetaan ja kiinnitetään runkoon ennen kokoonpanoa. Isoimmat staattorit krympataan runkoon. Runko lämmitetään n. 70 °C:n lämpötilaan ennen staattorin asettamista. Staattoripakettiin kiinnitetään nostoraudat, jotka laitetaan kiinni nostopalkin koukkuihin nostoliinojen avulla (kuva 6). Staattori nostetaan runkoon hitaasti oikeaan asentoon.



Kuva 6. Iso-AMI-staattorin vihreät kannatinkorvakkeet ja nostohenkselit runkoon nostamista varten

Staattori kiinnitetään runkoon kahdella eri tavalla riippuen staattorin ja rungon koosta. Pienemmät staattorit kiinnitetään sähkölevypaketin päihin asetettavilla kiinnityslevyillä. Kiinnityslevyjä on neljä, ja ne kiristetään kahdella ruuvilla momenttiin. Isoimmat staattorit kiinnitetään rungon kyljestä sokkatapeilla. Rungon sivuun porataan reikiä magneettiporakoneen avulla. Magneettiporakoneen asentaminen ja porausvaihe vievät paljon aikaa.

Työvaihe on valmis ja runkoon asetettu staattori kuljetetaan kokoonpanoon asennusta varten. Pienemmät AMI-koneet kuljetetaan trukilla kokoonpanoon ja isommat AMI-koneet joudutaan nostamaan joutralle, joka kuljettaa rungon kokoonpanoon. Joutra on tasainen kaukoohjaimella ohjattava kuljetusalusta, joka on hyvin hidaskulkuinen. Joutra ei voi laskea tai nostaa tavaroita, vaan kuljetettavat tavarat nostetaan pois nosturilla.

6 Työvaiheen nykytila

Työtä tehdessä oli tärkeää ensimmäiseksi laatia arvio työvaiheen nykytilasta. Tähän hyödynnettiin osastolla työskentelyä, arvovirtaus analyysiä ja hukan kartoittamista tässä järjestyksessä. Ennen kuin arvovirta-analyysi voitiin tehdä, tuli ymmärtää, miten staattorin kytkentä todellisuudessa tapahtui. Järkevin ratkaisu tähän oli tehdä työtä osastolla ja laatia siitä prosessikaavio (liite 1). Varjostaessa asentajia ja staattorin läpimenoa tehtiin myös havaintoja työssä ilmenevästä hukasta. Osittain samat hukat tulevat esille myös arvovirtausanalyysissä.

6.1 Arvovirta-analyysi

Arvovirta-analyysissä tarkastellaan valitun tuotteen valmistusprosessia tilauksesta aina toimitukseen asti. Aiempien arvovirta-analyysien ja kokemusten perusteella kytkentävaihe on muodostunut ongelmalliseksi työvaiheeksi. Siksi tässä arvovirta-analyysissä keskitytään koko tuotteen valmistusprosessin sijasta vain kytkentäsoluun. Asiakkaaksi määritettiin siis AMI-kokoonpano, koska se on tuotteen seuraava valmistusvaihe.

Kyt kentäsolu jaettiin neljään työvaiheeseen; esivalmistelu, kytkentä, hartsaus ja purkittaminen. Esivalmistelussa valmistetaan staattori kytkentää varten nostamalla se kytkentäpaikalle ja puhdistamalla hartsilla. Kytkentävaiheessa tehdään työlle oikeastaan ainoa jalostava työ, missä pääliitännäkaapelit kytketään staattoriin. Hartsauksessa liitännät ja tuennat hartsataan ja annetaan kuivua. Purkittamisessa staattori nostetaan runkoon ja kiinnitetään.

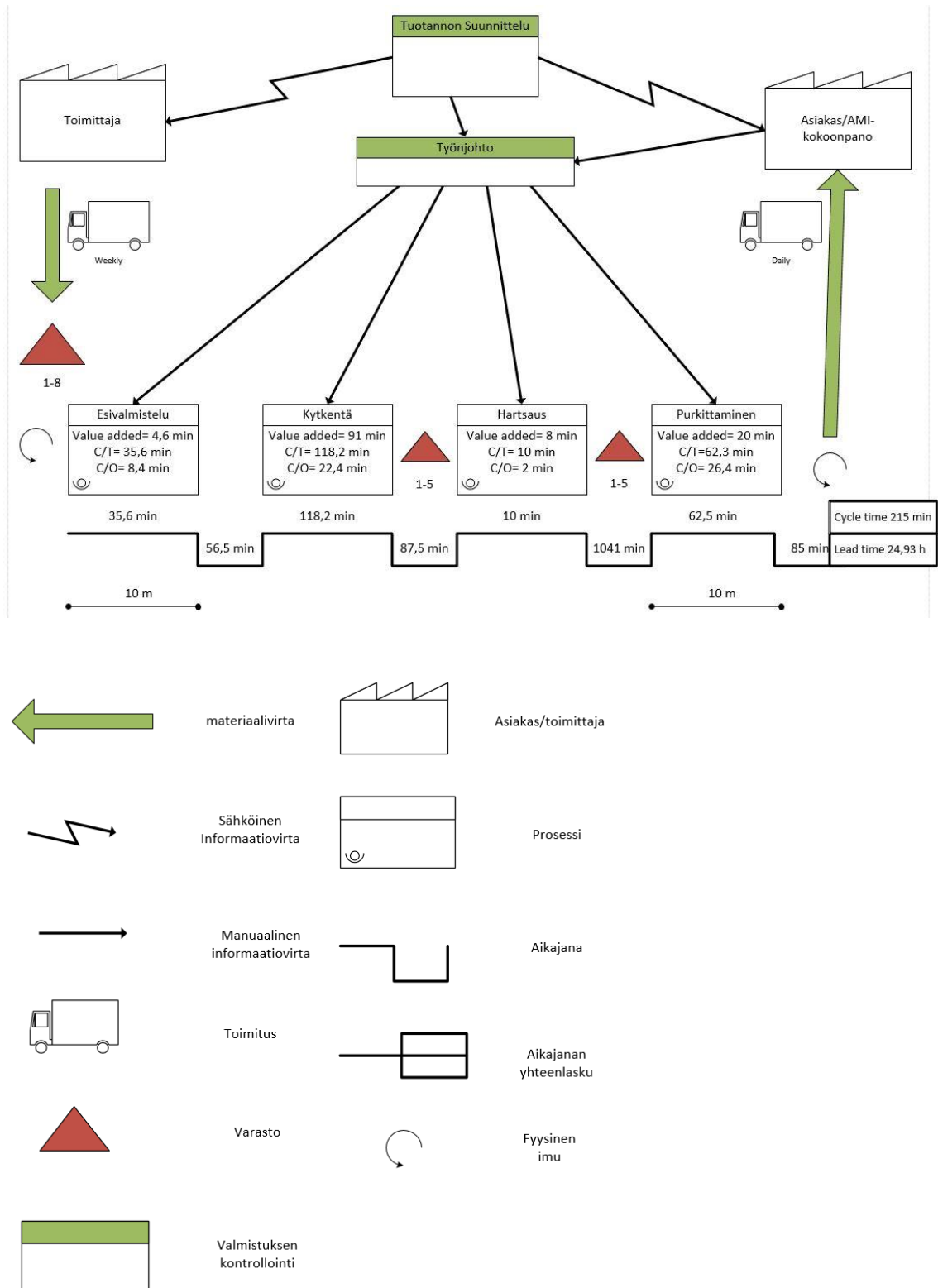
Raaka-data kerättiin Excel-ohjelmaan luodun taulukon avulla. Työ alkoi leimauksesta ja loppui, kun purkittettu staattori lähti kokoonpanoon. Eri vaiheet kirjattiin tarkasti ohjelmaan ajanottomenetelmän avulla. Työvaiheet saatiin tallennettua sekunnin tarkkuudella, mikä todellisuudessa on turhankin tarkka. Raaka-data jaettiin kategorioihin ja kerättiin työvaiheiden ajat ja määritettiin eri hukkiin kuluva aika. Data löytyy liitteestä 2.

Arvovirtausanalyysissä jokaiselle työvaiheelle laskettiin C/T, joka oli kokonaisuudessaan 215 minuuttia. Työvaiheella tehtiin siis jalostavaa työtä vain 3,5 tuntia, kun läpimenoaika staattorille oli 25 tuntia. Varsinaista jalostavaa työtä tehtiin yhteensä vain 9 % koko läpimenoajasta.

Yleensä arvovirta-analyysissä työvaiheiden välillä esitetään aika, miten pitkään tuote odottaa ennen toista työvaihetta. Tässä analyysissä sitä aikaa ei voitu mitata, koska kytkentä on vain yksi osa sähkömoottorin valmistusprosessia, ja työ tehdään käsityönä. Työvaiheiden välisiä puskurivarastoja ei siis muodostu. Tämän vuoksi sen tilalle kirjattiin aika, jolloin staattori odottaa valmistusta, tai työntekijä on tauolla sen hetkisen työvaiheen sisällä.

Arvovirta-analyysistä huomataan (kuva 7), että hartsauksen ja purkittamisen väliin muodostuu pisin odotusaika. Tähän kohtaan on laskettu aika, missä kytketty staattori odottaa hartsausta ja kuivaa hartsauksen jälkeen. Työvaiheen sisällä on siis kaksi varastoa: staattori joka odottaa hartsausta ja staattori joka odottaa purkittamista.

Tässä analyysissä cycle time olisi ollut sama kuin lead time, joten C/T laskettiin vain siitä, kun staattorille tehdään työtä ja tauot työvaiheiden sisällä eriteltiin odotusajaksi työvaiheiden väliin. Prosessilaatikkoihin lisättiin asiakkaalle lisäarvoa tuova työ (value added). Arvovirta-analyysin symbolien tarkemmat merkitykset löytyvät myös kuvasta (kuva 7).



Kuva 7. Arvovirta-analyysi staattorin kytkentäsolusta ja analyysissä käytetyt symbolit

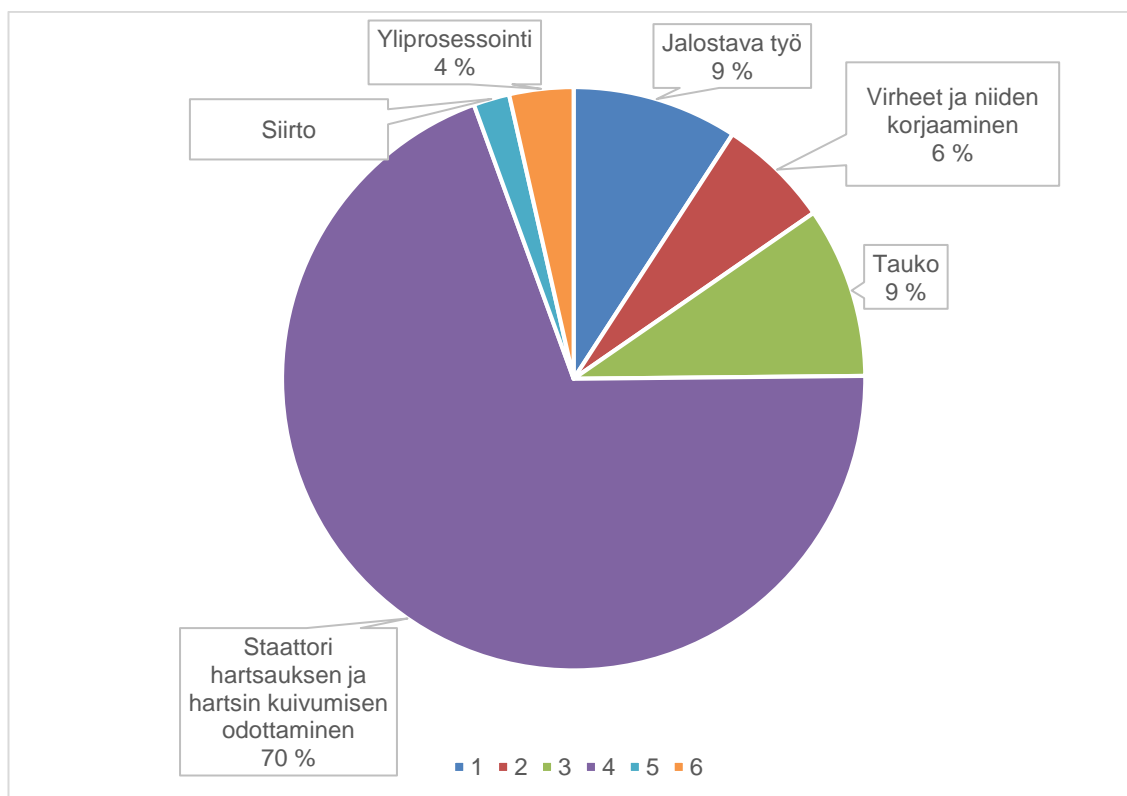
6.2 Tahtiaika

Vuonna 2015 Pitäjänmäen konetehtaalla valmistettiin 500 erikokoista AMI-konetta. Tahtiajan laskeminen päivätasolla on haastavaa, koska tilaukset vaihtelevat vuodenajasta riippuen. Viikkotasolla koneita valmistetaan keskimäärin 14 kappaletta, joten työviikon (5 päivää) aikana ja kahdelle vuorolle kytkettyjä staattoreita valmistuu 3 kappaletta.

6.3 Hukat

9 hukkaa-ajattelutavalla kategorioitiin työssä tapahtuvat hukat ryhmiin ja laadittiin hukan syy- ja seurauskaavio havainnoimaan, mistä pitkä läpimenoaika johtuu (liite 3). Kaaviota lukiessa huomataan, millä alueella on eniten erilaista hukkaa. Kaavion perusteella eniten hukkaa tuovat kuljetukset ja siirrot, tarpeettomat liikkeet ja yliprosessointi, mutta kaavio ei kerro ajallisesti, mihin hukkaan kuluu eniten aikaa.

Arvovirta-analyysistä kerätyn tiedon avulla laskettiin, että ajallisesti työssä eniten hukkaa tapahtuu odottamisessa. Suurimman osan ajasta staattori odottaa, että se hartsataan ja kuivuu. Itse hartsaustyövaihe kestää 8 minuuttia, mutta kuivuminen tapahtuu yön yli. Sektoridiagrammi havainnollistaa mihin hukkaan kuluu eniten aikaa (kuva 8).



Kuva 8. Sektoridiagrammi havainnollistaa prosentuaalisesti työssä ilmenevät hukat ja jalostavan työn määrän.

Sektoridiagrammikaan ei kerro totuutta siitä, mitä hukkaa siirto, yliprosessointi tai virheet ja niiden korjaaminen sisältää. Ennen työtä arvioitiin siirtojen olevan työn suurin hukka, mutta ajallisesti sektoridiagrammissa se näyttää pienimmältä. Pitää muistaa ottaa huomioon, että siirtoa valmistava työ on myös hukkaa. Eri hukat eriteltiin taulukkoon, joka näyttää yksittäiseen hukkaan käytetyn työnajan ja tarkan kuvauksen hukasta (liite 4).

Siirto on suurempi hukka kuin miltä se näyttää, koska siirtoja tehdään työpäivän aikana muille koneille kuin työn alla olevalle koneelle. Virheet ja niiden korjaaminen -kohtaan on merkitty häiriöt eli työn keskeytys. Häiriöt olivat suurimmaksi osaksi toisen staattorin siirtämistä tai runkoon asettamista.

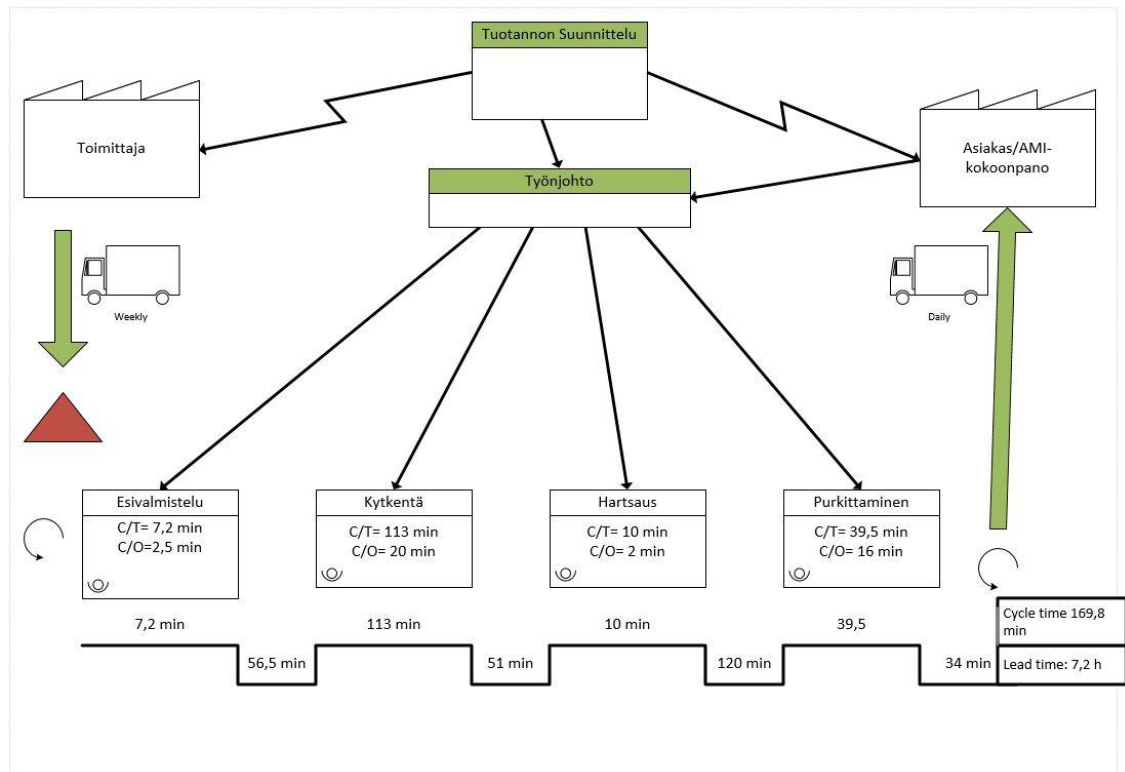
7 Tulevaisuudentilan kuvaus

Tulevaisuudentila (FSM) tehdään arvovirta-analyysin jälkeen, kun on selvitetty työssä esiintyvät hukat. Poistetaan nykytilan työnvaiheesta hukat, mihin voidaan vaikuttaa ja tehdään sen perusteella tulevaisuudentilanalyysi. Tavoite laadittaessa tulevaisuuden tilaa oli poistaa prosessista siirtoja ja odottamista mahdollisimman paljon, jotta saadaan supistettua läpimenoaikaa. Tavoite oli puolittaa läpimenoaika ja parantaa virtausta.

Tulevaisuudentilanalyysistä poistettiin kaikki seuraavat siirrot ja siirtoa valmistavat työvaiheet:

- staattorin kierrereikien avaaminen hartsista
- nostokorvien kiinnittäminen ja noutaminen
- nosturin noutaminen ja kiinnittäminen staattoriin nostoliinoilla
- siirtäminen ja asettaminen kytkentäalustalle
- rungon kääntö pystyasentoon ja staattorin nostaminen runkoon
- työn keskeyttäminen toisen staattorin/rungon siirron vuoksi.

Seuraavaksi haluttiin poistaa odottaminen. Odottaminen muodostui lähes kokonaisuudessaan hartsin kuivumisesta. Yllä mainitun hukkan poistamisen vuoksi saatiin läpimenoaika (lead time) lyhennettyä 25 tunnista noin 7 tuntiin.



Kuva 9. Ideaalitalan kuvaus, jos työvaiheesta on poistettu kaikki mahdollinen hukka

Nykytilan ja tulevaisuudentilan arvovirtauksia verratessa c/t -erotus on lähes olematon 45 minuuttia verrattuna odotuksen erotukseen 18 tuntia. Tärkeimpänä tulevaisuudentilaa luodessa on pyrkiä lyhentämään odotusaikaa.

8 Kytkenän layout-vaihtoehdot

Layout-suunnittelussa pohdittiin erilaisia tuotantotapoja tuotantosolusta tuotantolinjaan. Nykytilan perusteella hartsin kuivuminen pitäisi saada nopeutettua ja tähän vaadittaisiin hartsaushuonetta, jotta päästäisiin ideaalilämpötilaan ja kuivumiseen. Staattorin siirtojen ja kääntöjen määrää pyrittiin minimoimaan, koska siirrot ovat aina turvallisuusriski ja vievät aikaa.

8.1 Ehdot layout-suunnittelussa

Samanaikaisesti suunnittelussa pitää kyseenalaistaa staattorin kääntöä ja siirtoa siinä valossa, että onko niitä tarpeellista poistaa tai muuttaa. Tehtaalla tehdään tuhansia siirtoja vuodessa. Viekö kääntämisen poistaminen kytkennän työvaihetta eteenpäin? Nopeuttaako se koko tuotteen läpimenoaikaa vai tekeekö se kytkennästä haastavampaa? Viekö juuri tämän noston ja siirron eliminoiminen koko tuotantoa eteenpäin?

Kytkenän tekeminen pystyasennossa on nopeampaa kuin sen tekeminen vaaka-asennossa. Pystyasennossa kaksi asentajaa voi tehdä työtä yhtäaikaisesti ja painovoima ei vaikuta kaapeleiden asettamiseen staattorin päälle. Kytkenän tekeminen vaaka-asennossa taas mahdollistaa vain yhden kytkennän tekemisen kerrallaan ja painovoiman takia kaapelit on haastavaa saada asettumaan oikein staattorin ympärille.

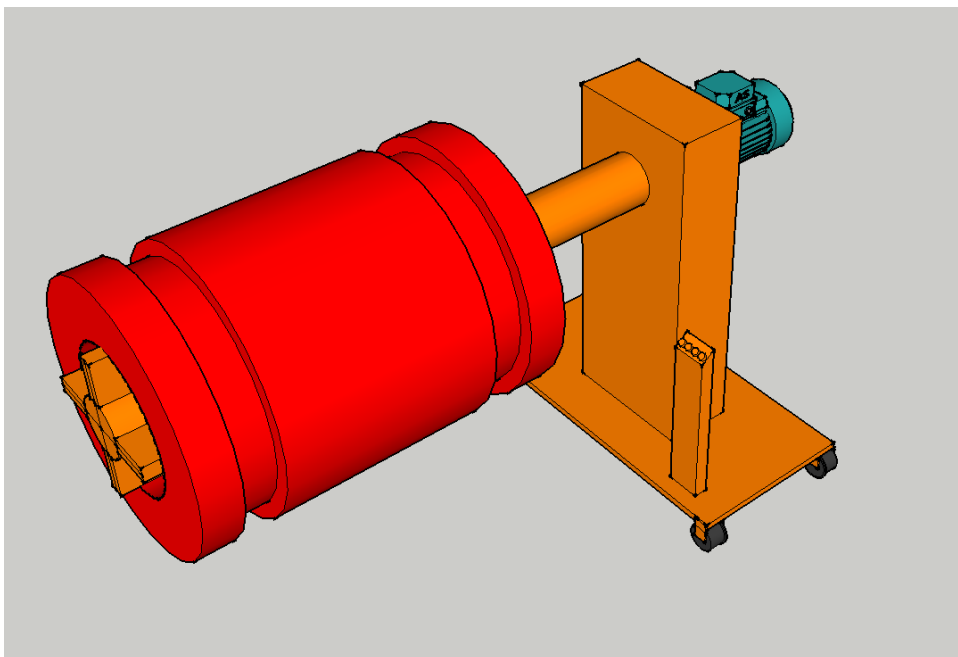
Suunnittelussa tulee myös huomioida staattoreiden suuri koko ero ja kytkentöjen määrä. Toisinaan staattoriin tehdään 3 kytkentää, mutta toiseen saatetaan tehdä 9 kytkentää. Kytkentöjen määrä riippuu koneen napaluvusta ja jännitteestä. Isoimmat staattorit voivat painaa kahdeksan tonnia, kun taas pienimmät ovat alle tuhat kiloa.

8.2 Ehdotus 1: tuotantolinja vaaka-asennossa

Ensimmäisessä vaihtoehdossa pohditaan mahdollisuutta tehdä kytkentä vaakatasossa ja asettaa staattori runkoon vaakatasossa. Tässä vaihtoehdossa saadaan eliminoidua kaikki nosturilla tehtävät siirrot, eikä staattoria tarvitse kääntää pystyyn. Haluttiin myös toteuttaa työnvaihe tuotantolinjamaisesti, jotta saataisiin jatkuva virtaus työvaiheelle.

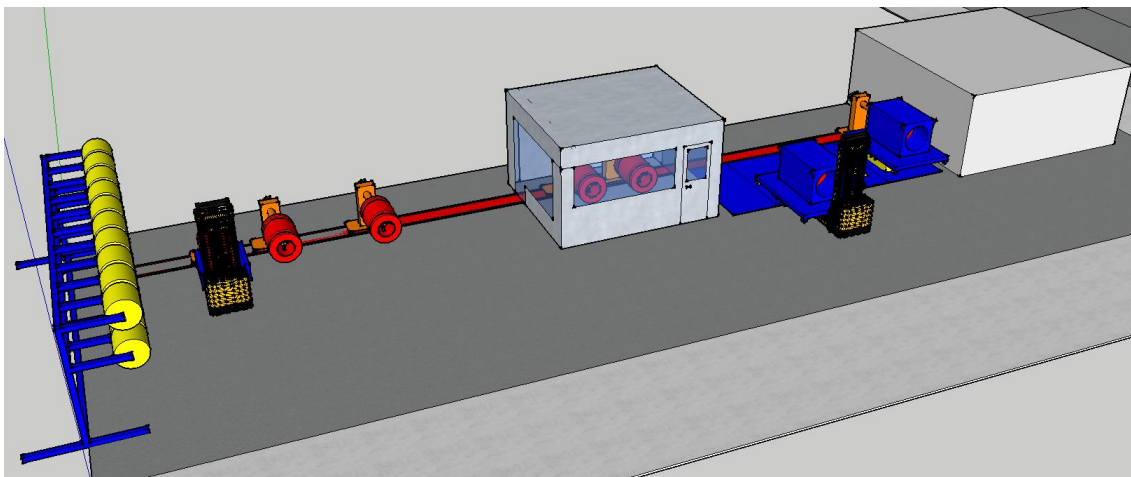
8.2.1 Toimintaperiaate

Vaakakytkennän toiminnan mahdollistaa kytkentäjigi staattorille. Staattori nostetaan trukilla kytkentäjigin ympärille. Kytkenäjigin palkissa on neljä sakaraa, jotka pitävät staattorin vaakatasossa (kuva 10). Jigi kulkee kiskoja pitkin ja sähkömoottori pyörittää staattorin oikeaan kytkentäasentoon.



Kuva 10. Kiskoilla kuleva kytkentä-jigi pyörivällä akselilla

Staattori kytketään tuotantolinjalla, mistä se jatkaa matkaa hartsaushuoneeseen kytkennän valmistuttua (kuva 11). Hartsaushuoneessa staattori hartsataan ja jätetään kuivumaan käsittelykuivaksi. Staattorin kuivuttua se siirtyy purkitusvaiheeseen, jossa runko ajetaan staattoriin vaakatasossa. Purkittamiseen vaaditaan nostin rungon nostoon ja väline työntämään staattori rungon sisään. Kuvassa 8 on kyseinen tuotantolinja 3D-kuvana.



Kuva 11. Tuotantolinja kiskoilla, jossa kytkentä tehtäisiin vaakatasossa

Runkoon asetettu staattori kuljetetaan kokoonpanoon alustan päällä pinoamisvaunun tai muun henkilövoimin toimivan keventimen avulla. Tällöin ei tarvitse erikseen noutaa ja viedä runkoa kokoonpanoon trukilla tai kuljetuslavetilla.

8.2.2 Yhteenveto

Ongelmat ja haasteet

- Kytkennän tekeminen vaakatasossa on asentajalle vaikeaa, koska kaapeleiden asettaminen staattorin ympärille on haastavampaa painovoiman takia. Ajallisesti kytkentään menee enemmän aikaa, koska kytkentää mahtuu suorittamaan vain yksi asentaja kerrallaan. Ergonomia ja työnopeus kärsii.
- Staattorin asettaminen runkoon vaakatasossa on vaikeaa rungon ja staattorin pienien toleranssien vuoksi. Staattorin ja rungon on oltava täysin kohtisuorassa toisiinsa, että se saataisiin runkoon ongelmitta. Isoimmat rungot ovat niin tiukkoja, että staattori krympataan runkoon. Runko siis lämmitetään määrättyyn lämpötilaan, että staattori mahtuisi rungon sisään.
- Mikäli hartsaushuoneessa on eri lämpötila nopeuttamaan hartsin kuivumista. Tulee purkittamiselle odotusaika, koska staattorin pitää jäähtyä määrätyn ajan, jotta se voidaan purkittaa.
- Staattoreiden suuren kokoeron vuoksi kytkentä pitäisi paikoittaa tuotantolinjalle, että kytkentä saadaan suoritettua sopivalla työkorkeudella. Välttämättä kaikkia staattoreita ei voisi siltikään kytkeä vaakatasossa jigillä, koska massat ovat liian suuria.
- Hukkaa muodostuisi kytkentäjiigin siirrosta takaisin tuotantolinjan alkuun, sekä purkitukseen asetettavan rungon ja staattorin kohtisuoruuteen asettamisesta.

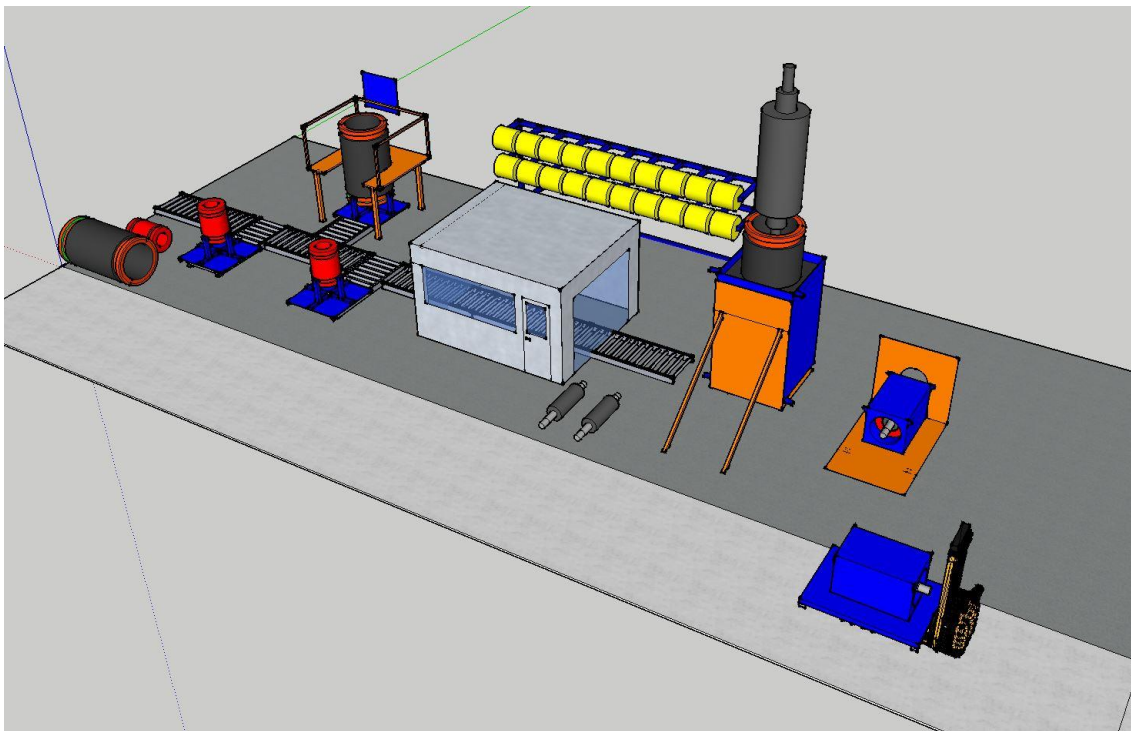
Hyödyt

Ajallisesti staattorin kytkentä vaakatasossa tuotantolinjalla lyhentäisi läpimenoaikaa, mikäli purkitusvaihe toimii saumattomasti. Tuotantolinja mahdollistaisi jatkuvan virtauksen, eivätkä staattorit jäisi odottamaan seuraavaa vaihetta missään tilanteessa. Jatkuvan virtauksen vuoksi ei voi jäädä odottamaan seuraavaa työvaihetta, mikä takaa työntekijöiltä tuotteen jatkuvan käsittelyn prosessin aikana.

- Hukkaa ei muodostuisi kuljetusten ja siirtojen muodossa
- Staattorin kääntäminen eliminoidaisiin täysin prosessista

8.3 Ehdotus 2: tuotantolinja pystyasennossa

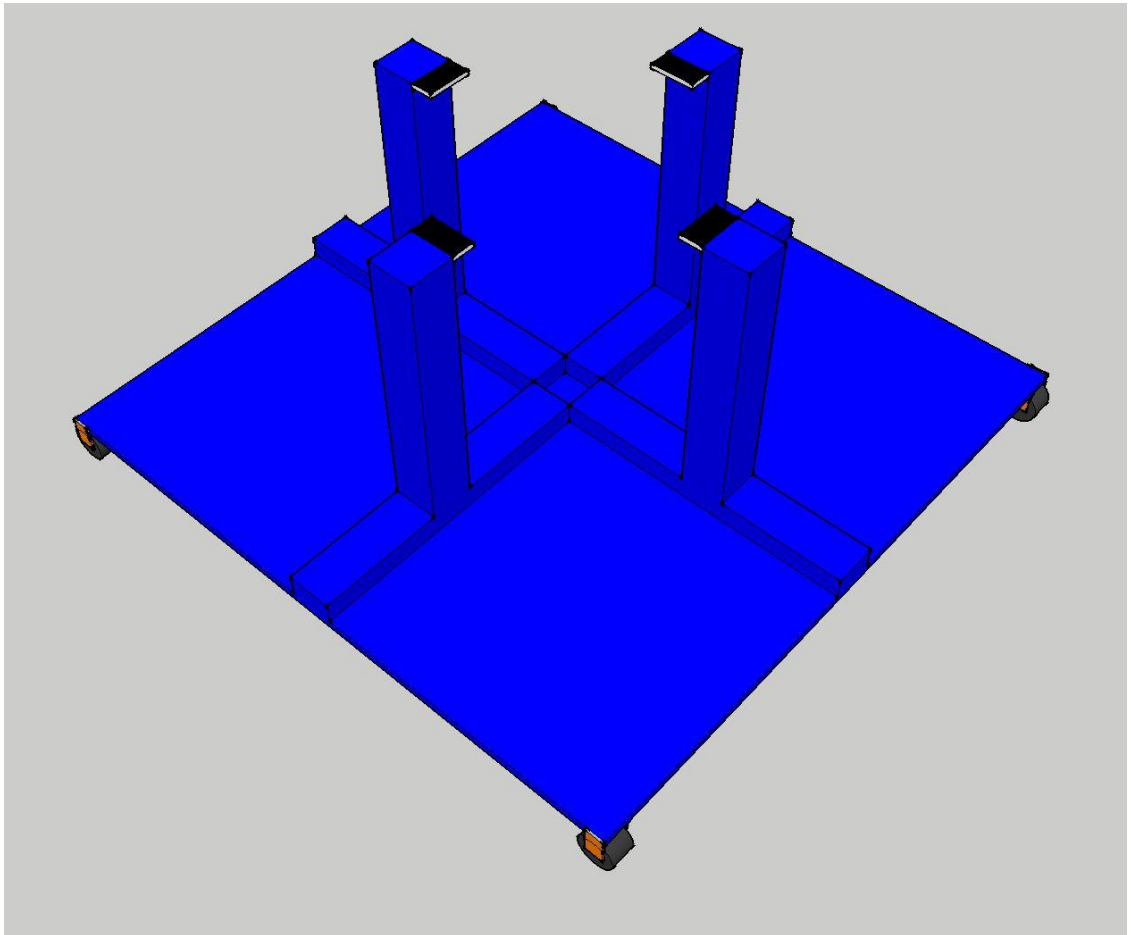
Toisessa vaihtoehdossa pohditaan staattorin kytkentää pystyasennossa tuotantolinjalla. Staattorin runkoon nostaminen toteutettaisiin myös pystyssä ja samalla laitettaisiin roottori runkoon pystyasennossa (kuva 12). Tähän vaihtoehtoon hyödynnetään kääntöpöytää rungon kääntämiseen ja tuotantolinjaa virtauksen luomiseen.



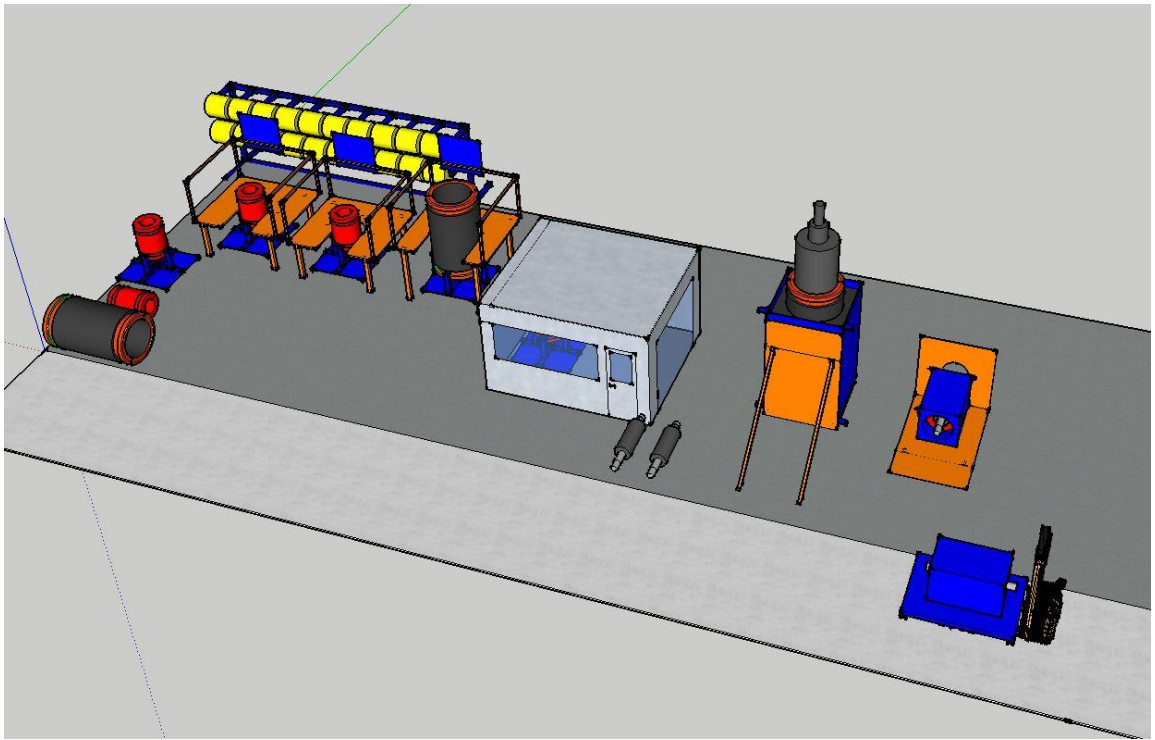
Kuva 12. Tuotantolinja pystykytkennällä

8.3.1 Toimintaperiaate

Staattori esivalmistellaan nostoa varten ja asetetaan pystyasentoon kytkeäalustalle. Kytkeäalusta tukee staattorin pystyasentoon neljän säädettävän tukijalan avulla. Kytkeäalusta liikkuu tuotantolinjaa pitkin kytkeäpaikalle (kuva 13). Alustan ei välttämättä tarvitse kulkea konkreettista tuotantolinjaa pitkin, jos alustaan tehdään pyörät (kuva 14). Pyörät mahdollistaisivat staattorin liikuttelun keventimellä tai jopa ilman.

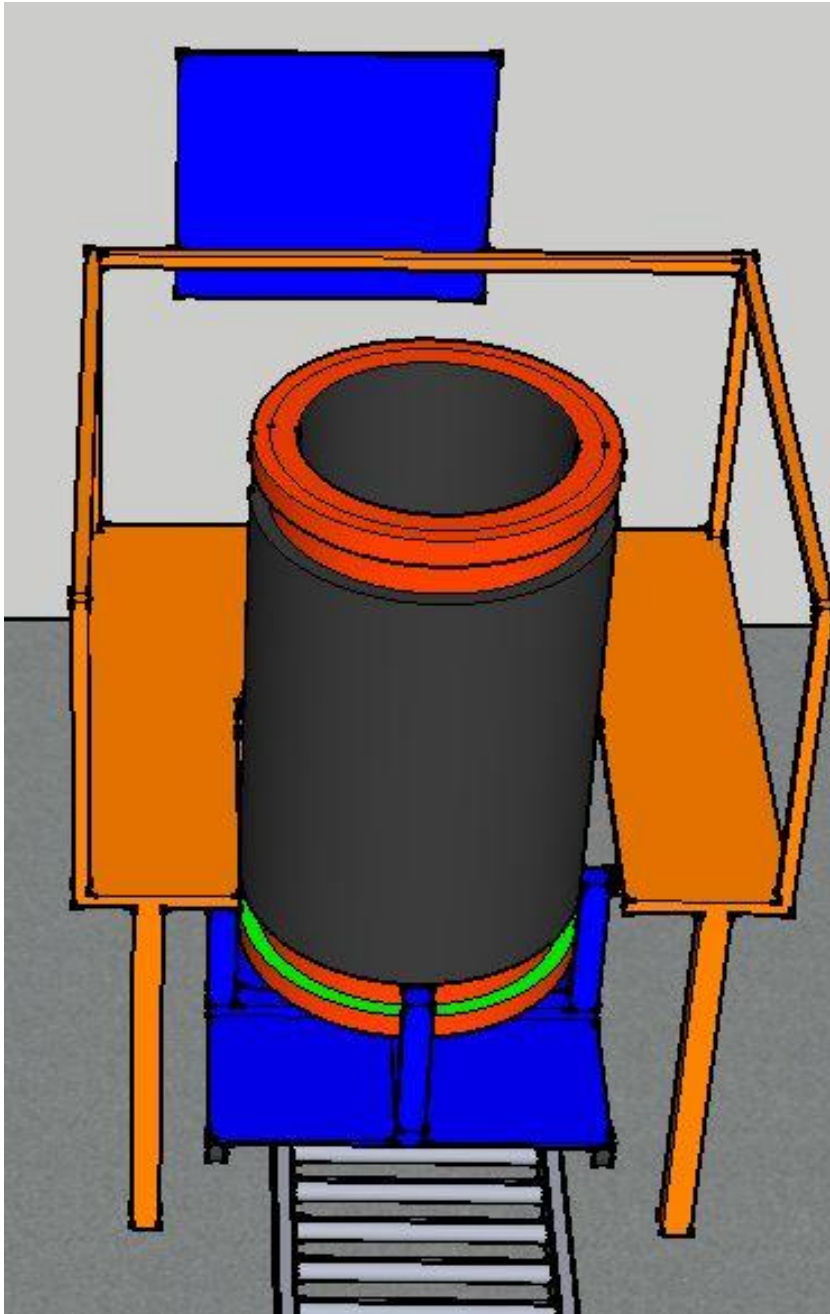


Kuva 13. Kytkeäalusta neljällä säädettävällä tukijalalla



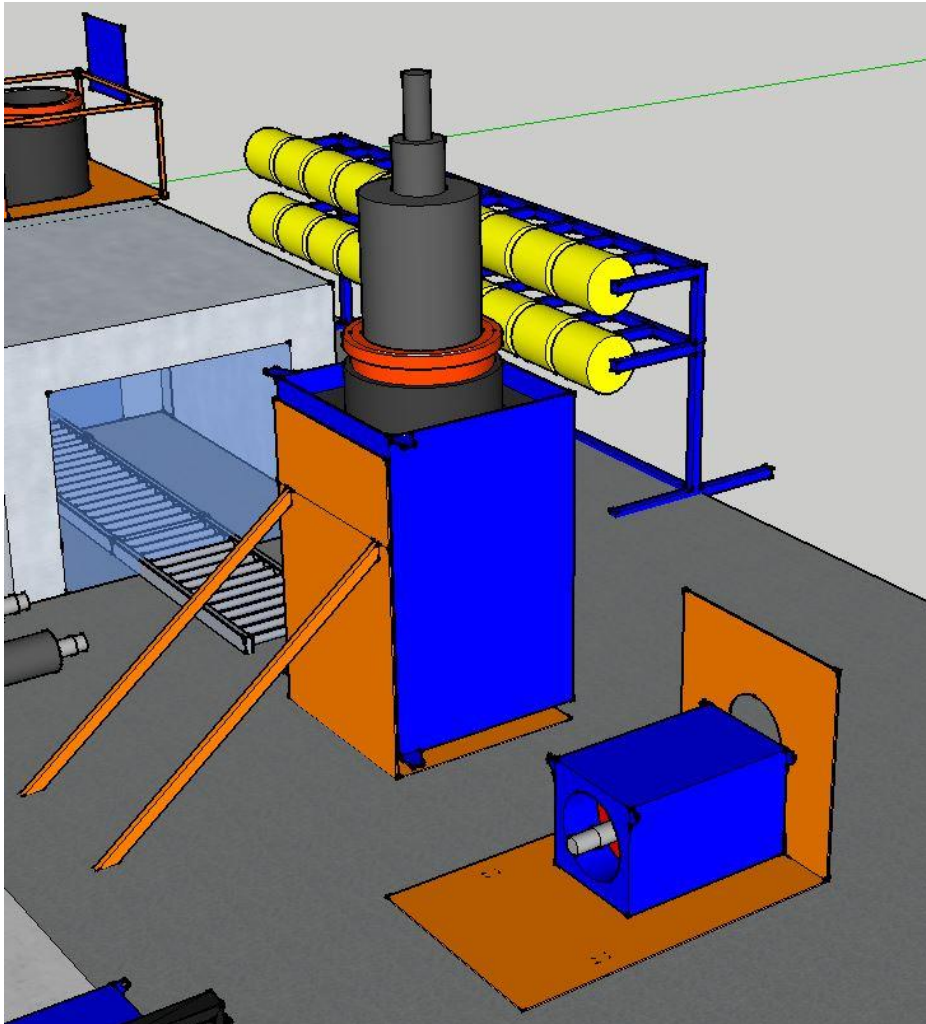
Kuva 14. Tuotantolinja ilman rullarataa vapaasti liikkuvalla kytkentäalustalla

Kytöntäpaikkoja tuotantolinjalla on kolme, yksi isoille staattoreille ja kaksi paikkaa pienemmille staattoreille. Pienempien staattoreiden volyymit ovat suurempia, siksi kyöntäpaikkoja pitää olla kaksi. Kyöntäpaikka seisoo hydraulisen nostimen päällä, joka mahdollistaisi kyöntäkorkeuden säädön sopivaksi riippuen staattoripaketin pituudesta (kuva 15).



Kuva 15. Korkeudensäädöllä varustettu kyöntäpaikka

Tässä vaihtoehdossa staattori kulkee kytkennän jälkeen hartsaushuoneen läpi, mistä se siirtyy purkitusvaiheeseen. Purkitusvaiheessa runko asetetaan ja kiinnitetään kääntöpöytään (kuva 16). Kääntöpöytä nostetaan pystyasentoon, jotta staattori saadaan nostettua pystyasennossa runkoon. Samalla runkoon nostettaisiin myös roottori, ja runko käännettäisiin takaisin vaaka-asentoon.



Kuva 16. Rungon kääntöpöytä staattorin ja roottorin runkoon asettamiseen

8.3.2 Yhteenveto

Ongelmat ja haasteet

Tässä vaihtoehdossa ei ole vielä löytynyt ongelmia tuotantolinjan toiminnassa ja työväliseissä. Kaikki työväliseet ja -menetelmät ovat yksinkertaisia ja toteutettavissa. Hukkaa muodostuu työvaiheelle siirroista ja nostojen valmistelusta.

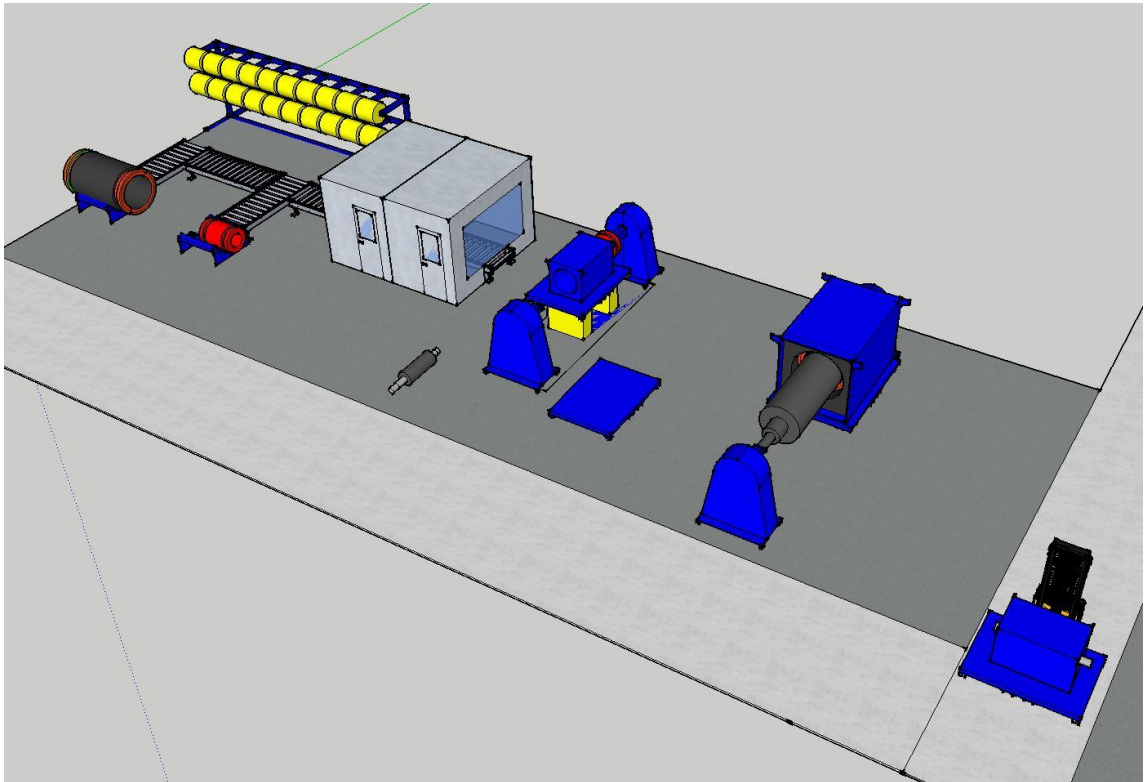
- Haasteellista on luoda tuotantolinja, jossa kytetään kytkemään isoimmat ja pienimmät staattorit.
- Kuljetukset ja siirrot muodostavat suurimman hukan ajallisesti. Siirtoja tulee yhtä paljon, kuin nykyisellä layoutilla.
- Runko jouduttaisiin kääntämään ja nostamaan kääntöpöydälle sekä nostamaan kääntöpöydältä kuljetuslavetille, koska purkitettu staattori ja roottori -yhdistelmä painaa arviolta 10–25 tonnia.

Hyödyt

- Staattorin nostaminen runkoon on yksinkertaisempaa pystyasennossa, koska painovoima ohjaa staattoria paikalleen.
- Kääntöpöytä mahdollistaisi myös roottorin nostamisen runkoon pystyasennossa. Tämä vapauttaisi työvaiheen kokoonpanosta, joka vaatii tällä hetkellä suuria työkaluja ja kahta nosturia, koska roottorin asennus toteutetaan vaakatasossa.

8.4 Ehdotus 3: Tuotantolinjan kytkentä vaaka-asennossa

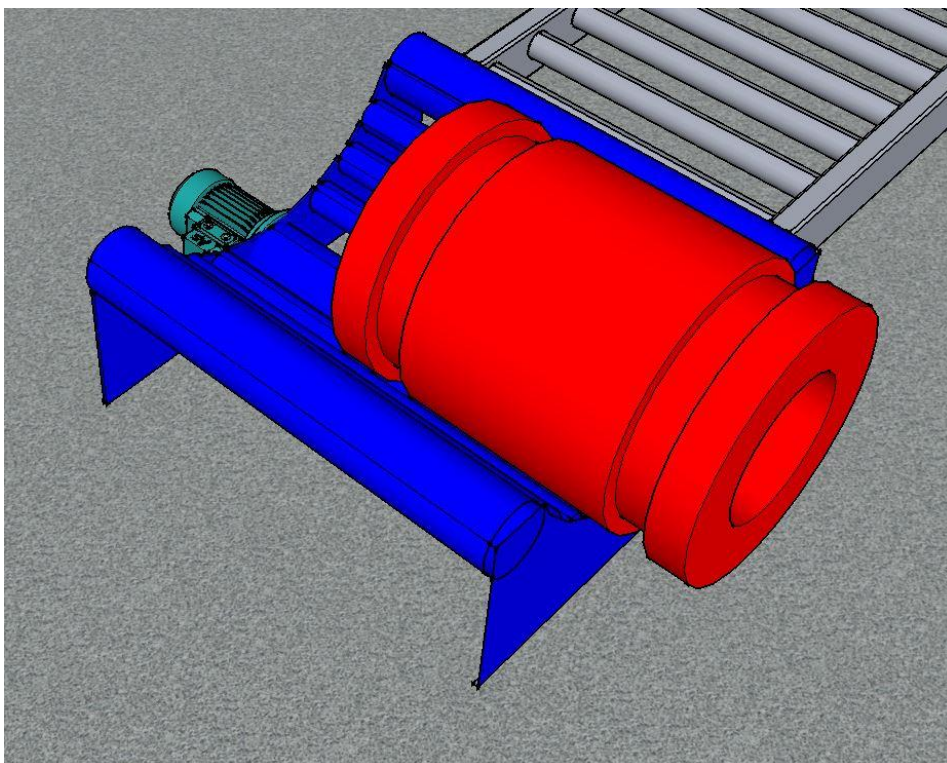
Tässä vaihtoehdossa kytkentä tehdään vaaka-asennossa ja staattori kulkee rullaradalla kytkentävaiheen läpi. Kytkentäpaikalla staattoria pyöritetään hihnalla toimivan pyörityslaitteen avulla, jotta kytkentä päästään suorittamaan halutussa asennossa. Staattori ja roottori asennetaan runkoon vaakatasossa kahden pukin ja saksinostimen avulla (kuva 17).



Kuva 17. Tuotantolinja rullaradalla

8.4.1 Toimintaperiaate

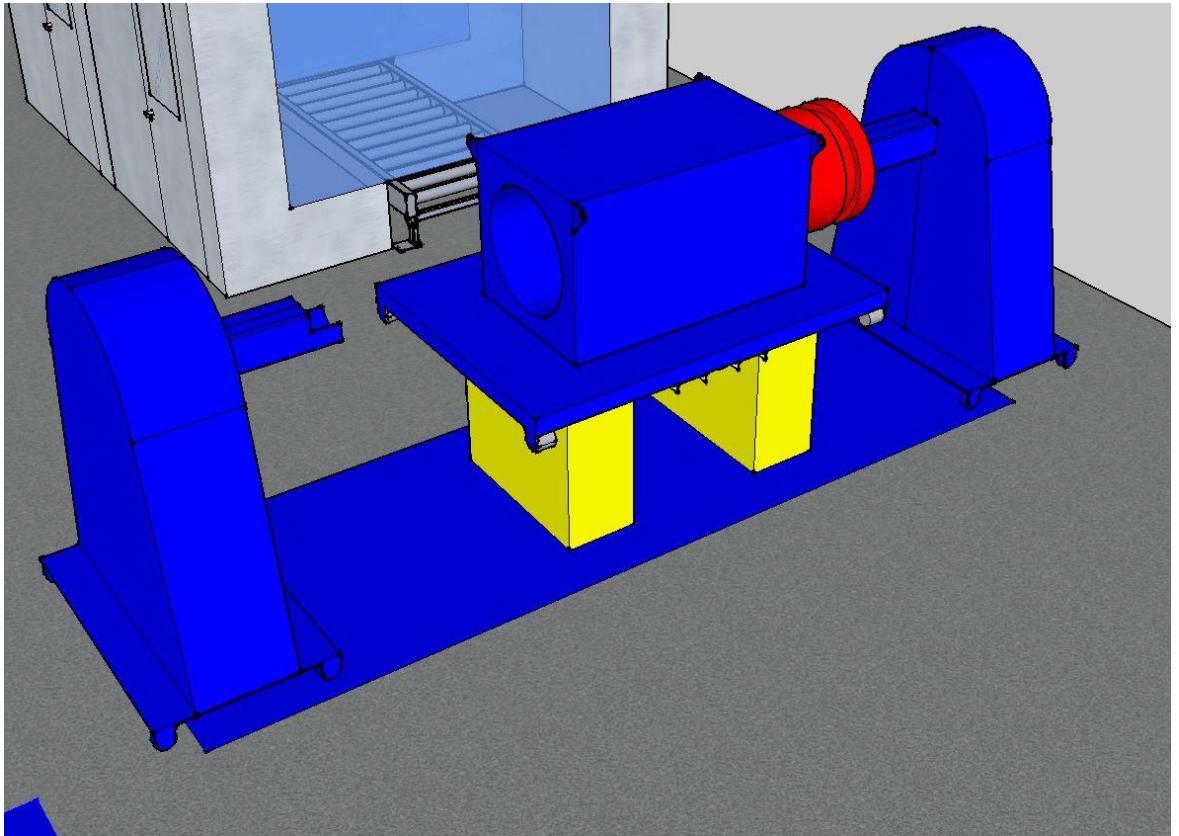
Staattori kuljetetaan rullaradalla kytkentäpaikalle, jossa on hihnalla ja sähkömoottorilla pyörivä alusta. Alustan tulee pyöriä, jotta kytkentä saadaan suoritettua sopivalla korkeudella (kuva 18). Kytchentäpaikan pyörityslaitteen paras toteutustapa on vielä avoin, koska staattorin ulkopinta ei ole tasainen, mikä tekee pyörittämisestä haastavaa. Sidepalkit saattavat estää tasaisen pyörimisen.



Kuva 18. Kytchentäpaikka, joka mahdollistaa staattorin pyörittämisen

Runko nostetaan sille valmistetun kuljetusalustan päälle ja kiinnitetään alustaan pulkein. Kuljetusalusta ajetaan saksinostimen päälle purkittamisvaihetta varten. Kuljetusalusta mahdollistaa rungon kuljetuksen keventimellä tuotantoon asti ilman muita nosto- ja kuljetuslaitteita.

Valmiiksi kytketty staattori kulkee tuotantolinjaa pitkin hartsauskoppiin, missä hartsaus suoritetaan samalla tavalla kuin muissakin vaihtoehdoissa. Käsittelykuivaksi kuivunut staattori siirtyy purkivaiheeseen. Staattori nostetaan pukin ympärille ja runko nostetaan kohtisuoraan samalle korkeudelle staattorin kanssa (kuva 19). Staattori ajetaan sisään runkoon pukilla. Seuraavassa vaiheessa roottori nostetaan kahden pukin varaan ja toinen pukki siirretään, jotta roottori asettuu rungon sisään. Roottorin asettaminen staattorin sisään on helpompaa, koska sen on tarkoitus pyöriä koneen sisällä, joten staattorin ja roottorin väliin jää ilmarakoa.



Kuva 19. Staattorin ja roottorin purkittamisen mahdollistava laite

8.4.2 Yhteenveto

Ongelmat ja haasteet

Ongelmat tässä vaihtoehdossa muodostuvat hyvin samanlaisiksi kuin ensimmäisessä layout vaihtoehdossa, jossa tuotantolinja oli myös vaaka-asennossa. Tässä haastavimmaksi muodostuu sopivan pyörityslaitteen suunnittelu kytkentäpaikalle.

- Hukkaa muodostuu sopivan työvälineen kiinnittämisestä staattorin ympärille, jotta staattori saadaan pyörimään tasaisesti kytkentäpaikalla.
- Staattorin runkoon asentaminen on vaikeaa purituslaitteen kohtisuoraksi saamiseksi.

Hyödyt

Tässä vaihtoehdossa saadaan samat hyödyt kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, mutta tämä layout mahdollistaisi myös roottorin asentamisen runkoon tuotantosolussa.

- Turhat käännöt ja siirtelyt saataisiin minimoitua tällä layoutilla.
- Roottorin asentaminen saataisiin tehtyä ennen kokoonpanovaihetta.
- Läpimenoaika lyhenee hartsausvaiheen kuivumisprosessin nopeuduttua
- Tuotantolinja luo virtauksen tuotantosoluun ja pakottaa jatkuvan työn tekemisen solussa.

9 Tulokset ja päätelmät

9.1 Keskeiset tulokset

Staattorin kytkentäsolun arvovirta-analyysistä paljastui kaksi merkittävää hukkaa siirtäminen ja odottaminen. Siirto muodostui staattorin esivalmistelusta, pystyyn kääntämisestä ja runkoon nostamisesta. Odottamisaika koostui lähes täysin hartsin kuivumisesta ja osittain muiden staattoreiden siirrosta, jotka keskeyttivät seurattavan staattorin työn.

Tärkeintä kytkentäsolun kehittämisessä on luoda jatkuva virtaus kytkentäsoluun. Virtauksen voi toteuttaa parhaiten tuotantolinjalla, jossa staattori kulkee vaaka- tai pystyasennossa. Pystyasennossa toteutettu tuotantolinja on yksinkertaisempi ratkaisu, koska itse kytkentätyö tehdään samalla tavalla, mutta silloin staattorin pystyyn kääntämisen hukka säilyisi. Etuna tämä mahdollistaisi kuitenkin pystyasennossa purkittamisen ja samalla runkoon voi laittaa roottorin pystyasennossa.

9.2 Ideoita

Seuraavaksi tulisi perehtyä ilmakeivahartsin kuivumiseen ja selvittää, miten nopeasti hartsi on todellisuudessa mahdollista kuivattaa käsittelykuivaksi ilman, että se vapauttaisi hajuhaitallisia höyryjä. Hartsausmenetelmä on ollut käytössä vuosikymmenet. On hyvin mahdollista, että hartsaukseen on jo kehitetty erilainen aine, josta ei seuraa ympäristöhaittoja.

Erilaisia layout-ehdotuksia suunnitellessa heräsi kysymys: kannattaako kaikkia AMI-sarjan staattoreita kytkeä samalla tuotantolinjalla? Tuotteiden kokoero on niin merkittävä, että voi olla kannattavaa tehdä kytkentä kahdessa eri paikassa. Esimerkiksi, siirtäisi AMI560-710 kytkennän kokonaan kokoonpanoalueelle. Säilyttäisi nykyisen kytkentäsolun pelkästään AMI400–500 -kytkennälle ja kehittäisi siihen tuotantolinjan. Tämä vaihtoehto on varteen otettava, koska AMI400–500-koneita valmistetaan noin kolme kertaa enemmän kuin suurempia tuoteperheen koneita.

10 Yhteenveto

Työn tavoite oli kehittää AMI400–710-staattorin kytkentäsolun läpimenoaikaa ja tehdä layout-ehdotuksia tämän toteuttamiseksi. Prosessista tehtiin nykytilan kuvaus ja kartoitettiin työvaiheissa ilmenevät hukat. Hukan määrittämisen jälkeen toteutettiin tulevaisuudentilan kuvaus, mistä poistettiin kaikki mahdollinen hukka ja analysoitiin, miten paljon saatiin lyhennettyä läpimenoaikaa. Tämän ideaalitulanteen perusteella suunniteltiin erilaisia layout-vaihtoehtoja.

Arvovirtakuvausta hyödynnettiin nykytilan analysoinnissa. Kytkentätyö ajastettiin ja jaettiin neljään työvaiheeseen; esivalmistelu, kytkentä, hartsaus ja purkitus. Työvaiheista selvitettiin; jalostavaan työhön kuluva aika, odottaminen, virheet ja niiden korjaaminen,

tauko ja yliprosessointi. Ei jalostava työ eroteltiin taulukkoon, missä arvioitiin erilaisiin hukkatöihin kuluva aika.

Tuloksista voidaan todeta, että työ täytti sille asetetut vaatimukset. Läpimenoaika puolituu missä tahansa layout-vaihtoehdossa. On kuitenkin lähes mahdoton arvioida, miten paljon läpimenoaika lyhentyisi. Jokaisessa layout-vaihtoehdossa läpimenoaika lyhenee tavoitteeksi asetetun ajan jo pelkästään hartsausprosessin kehittämisen johdosta. Hartsin kuivuminen aiheuttaa suurimman odotuksen tuotantoprosessissa.

Layout-ehdotuksissa päädyttiin suurpiirteisiin toteutuksiin ja pyrittiin tuomaan täysin uutta näkökulmaa työnvaiheelle. Jokainen ehdotus virtauksen parantamiseksi oli tuotantolinjamainen ja liikkeen työnvaiheelta toiselle ilman odotusta.

Lähteet

ABB. 2016. ABB-lyhyesti. ABB yhtymän esittely. Verkkodokumentti:
<<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>> Luettu:
20.10.2016

Chakrabarti Amaresh, Prakash Raghu V., 2013. A Method to Understand and Improve Your Engineering Processes Using Value Stream Mapping. Springer. Viitattu 5.12.

Davim J. Paulo, 2015. Reaserch advances in industrial Engineering. Aveiro, Portugal. Springer.

Historia 2016, Teknologijahtaja vuosikymmenten kokemuksella verkkodokumentti.
Saatavissa: <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>> Luettu: 21.11.2016

JP-yleiskoulutus. 2009. Saatavissa: ABB:n sisäisestä verkosta. ABB Oy. Luettu:
16.12.2016.

Lapinleimu Ilkka, Kauppinen Veijo, Torvinen Seppo, 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät.

Littlen Laki. 2016. Quality knowhow Karjalainen Oy Verkkodokumentti:
<<http://www.sixsigma.fi/fi/lean/littlen-laki/>> Luettu 16.12.2016.

P-ohjeisto. 2016. Saatavissa: ABB:n sisäisestä verkosta. Luettu: 20.10.2016