Tampereen yliopisto

Joonas Luomi

AUTOMAATTIVARASTON HYÖTYJEN SELVITYS YRITYKSESSÄ

Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tarkastaja: Ville Toivonen
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Joonas Luomi: Automaattivaraston hyötyjen selvitys yrityksessä
Tampereen yliopisto
Konetekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö
Toukokuu 2020

Yritykset käyttävät automaattivarastojärjestelmiä parantaakseen materiaalin käsittelyä. Varastoitavien osien täysi jäljitettävyys sekä lyhyemmät osien hakuajat ovat automaattivarastojärjestelmän hyötyjä. Tässä kandidaatintyössä tutkitaan automaattivaraston hyötyjä yrityksen kokoonpanovaiheessa. Prosessipumppuja kokoonpanevan yrityksen tavoite on tarkentaa automaattivaraston hyötyjä. Hyötyjen selvityksen myötä voidaan tarkastella automaattivaraston kannattavuutta sekä pohtia mahdollisia jatkotoimenpiteitä. Työssä käytetään esimerkkinä Konecranesin valmistamaa Agilon-materiaalinhallintajärjestelmää, joka käyttää edistyksellisempää teknologiaa kuin yrityksen nykyinen automaattivarasto. Nykyiseen automaattivarastoon voidaan varastoida ainoastaan pienempiä osia ja työkaluja. Työn tavoitteena on selvittää automaattivaraston hyödyt pumpun kokoonpanovaiheessa ja saada hyödyistä konkreettisia tuloksia, joita voidaan käyttää investointipäätöksen tukena.

Työ rakentuu kahdesta vaiheesta: kirjallisuustutkimuksesta ja teknisestä suunnittelusta. Kirjallisuustutkimusvaihe sisältää aluksi Lean-oppia, jossa keskitytään hukkalajien poistamiseen tuotannosta, virtauttamiseen ja 5S-menetelmään. Materiaalinvirran kehittämisen teoria käsittää yleisiä asioita, jotka tulee huomioida suunniteltaessa tuotantoprosessin materiaalivirtaa. Viimeiseksi esitetään teoriaa layout-suunnittelusta, joka sisältää layout-suunnittelun vaiheita ja varaston suunnittelua.

Tekninen suunnittelu pitää sisällään automaattivarastoon varastoitavien osien selvityksen ja automaattivaraston kapasiteetin määrittämisen. Lisäksi määritetään automaattivaraston sijaintipaikka. Teknisen suunnittelun avulla pystytään selvittämään tarkemmin automaattivaraston hyödyt kokoonpanovaiheessa. Ennen varsinaista teknistä suunnittelua arvioitiin nykytilannetta haastattelemalla työntekijöitä sekä tekemällä yksinkertaisia mittauksia etäisyyksistä ja osien kokoluokista. Agilon-materiaalinhallintajärjestelmästä saatiin lisätietoja keskustelemalla Agilon liiketoiminnan myyntipäälliköiden kanssa. Teknisessä suunnittelussa käytettiin yrityksen tilastotietoja osien läpimeno- ja varastointiaikojen määrittämiseen. Kapasiteettilaskennan avulla selvitettiin tarvittava automaattivaraston kapasiteetti. Automaattivaraston sijaintipaikan määrittämiseen käytettiin apuna teoriaa materiaalivirtojen kehittämisestä.

Työn lopputulokseksi saadaan lista automaattivaraston hyödyistä pumpun kokoonpanovaiheessa. Automaattivarastojärjestelmän merkittävimmät hyödyt voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: tuotannon tehokkuus, turvallisuus sekä laadukkuus. Määrällisen tutkimuksien tuloksia ovat automaattivaraston kapasiteetti, keräilyn poistamisen myötä säästyvä aika ja kokoonpanovaiheen läpimenoajat. Laadullisen tutkimuksen tuloksia ovat päätelmät työturvallisuuden parantumisesta ja kokoonpanovirheiden vähentymisestä. Lopussa esitetään myös ehdotuksia jatkotoimenpiteille ja muita parannusehdotuksia, jotka tehostavat kokoonpanoprosessia yrityksessä.

Avainsanat: tuottavuus, Agilon-materiaalinhallintajärjestelmä, Lean-ajattelu, 5S-menetelmä, kokoonpanon materiaalivirta

ALKUSANAT

Tämä tekniikan kandidaatintyö tehtiin prosessipumppuja valmistavalle yritykselle. Yritys tarjosi muutamia työn aiheita, joista valitsin opintojeni näkökulmasta mielenkiintoisimman aiheen tutkittavaksi. Tutkimuksen kiinnostavuutta lisäsi konkreettisten toimien tarkastelu teollisessa ympäristössä.

Suuret kiitokset kuuluvat yrityksen tuotantopäällikölle, joka mahdollisti työn tekemisen yrityksessä sekä esitteli mielenkiintoisia työn aiheita. Haluan kiittää myös yrityksen toimihenkilöitä ja työntekijöitä, joilta sain tärkeitä tietoja työn tutkimusta ajatellen. Lisäksi kiitän Konecranesin Agilon liiketoiminnan myyntipäälliköitä Jarkko Hemmiä ja Kai Lindforsia, jotka esittelivät Agilon-materiaalinhallintajärjestelmän sekä kommentoivat työssä esiin tulleita ratkaisuja.

Tampereella, 5.5.2020

Joonas Luomi

SISÄLLYSLUETTELO

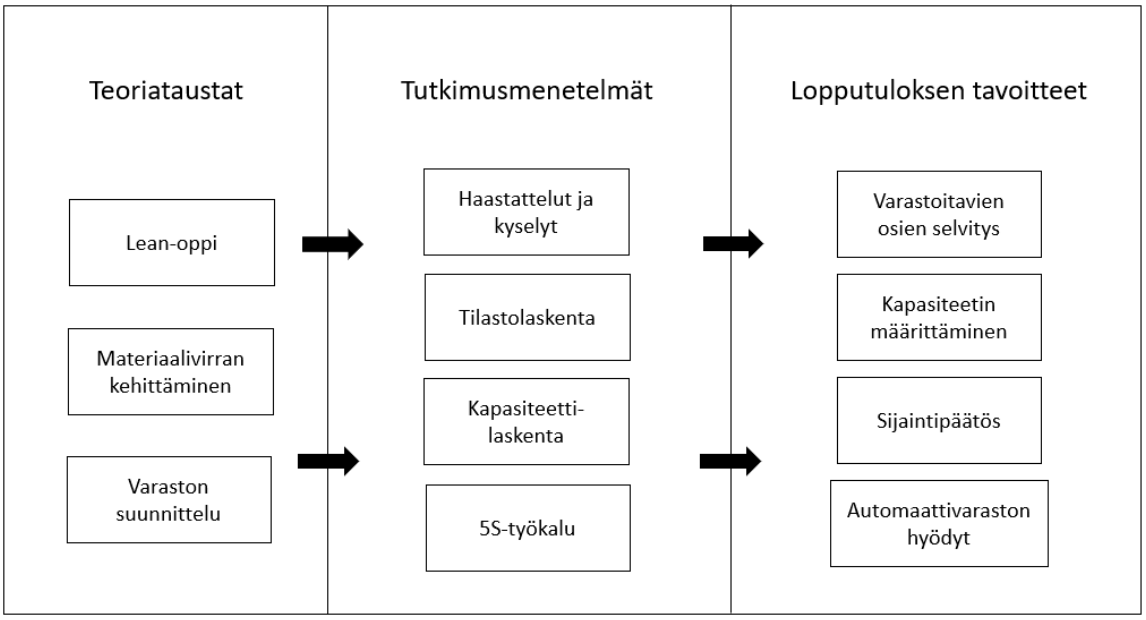
1. JOHDANTO 1
    1.1 Tutkimusongelma, tutkimusmenetelmät ja tavoitteet 1
    1.2 Työn rakenne 2
2. HUKAN POISTAMINEN JA VIRTAUTTAMINEN 3
    2.1 Hukkalajien poistaminen tuotannosta 3
    2.2 Virtauttaminen 5
    2.3 5S-malli 7
    2.4 Uuden teknologian hankinta Toyotan tapaan 8
3. MATERIAALIVIRRAN SUUNNITTELU 9
    3.1 Materiaalivirran kehittäminen 9
    3.2 Layout-suunnittelun vaiheet 10
    3.3 Varaston suunnittelu 12
4. NYKYTILANTEEN ARVIOINTI 14
    4.1 Kokoonpanoprosessin kuvaus 14
    4.2 Osien varastointipaikat ja hakumatkat 16
    4.3 Etsimiseen kuluva aika 17
    4.4 Työturvallisuus 17
    4.5 Työn laadukkuus 17
    4.6 Nykyinen automaattivarasto 18
5. TEKNINEN SUUNNITTELU 19
    5.1 Varastoitavien osien määrittäminen 19
        5.1.1 Juoksupyörät 20
        5.1.2 Tiivisteet 21
        5.1.3 Muut varastoitavat osat 22
    5.2 Automaattivaraston kapasiteetin määrittäminen 23
    5.3 Automaattivaraston sijainnin tutkiminen 25
    5.4 Automaattivaraston hyötyjen selvittäminen 28
        5.4.1 Hukka-ajan poistaminen 28
        5.4.2 Agilon-materiaalinhallintajärjestelmä 30
        5.4.3 Muut hyödyt 31
6. TUTKIMUKSEN PÄÄTELMÄT 33
    6.1 Tulokset automaattivaraston hyödyistä 33
    6.2 Jatkotoimenpiteet ja parannusehdotukset 35
LÄHTEET 37

1. JOHDANTO

Lapinleimun (2000, s. 10) mukaan tuotantojärjestelmiä kehitetään usein jatkuvilla parannuksilla, sillä suuret muutokset ovat kalliita ja vaativat paljon työtä. On myös suurempi riski tehdä radikaali muutos yrityksessä verrattuna pienempiin jatkuviin parannuksiin. Tuotantojärjestelmiä kehitetään jatkuvasti yksittäisten tekniikoiden kehittymisen seurauksena ja etenkin uusien tekniikoiden saavuttaessa riittävän teknistaloudellisen tason. (Lapinleimu 2000, s. 10) Tekniikka on kehittynyt myös varastointiprosesseissa. Nykyään monet yritykset omistavat tai vuokraavat automaattivarastojärjestelmiä yksinkertaistamaan ja nopeuttamaan tuotannon prosesseja. Tämän työn aiheena on selvittää automaattivaraston hyötyjä sekä tutkia sen vaatimuksia yrityksessä. Automaattivaraston hyötyjä selvitään pumpun kokoonpanovaiheessa. Automaattivaraston hyötyjen selvityksessä ja teknisessä suunnittelussa käytetään esimerkkinä Konecranesin valmistamaa Agilon-materiaalinhallintajärjestelmää.

1.1 Tutkimusongelma, tutkimusmenetelmät ja tavoitteet

Työn tutkimusongelma on automaattivaraston kannattavuuden selvittäminen tuotannon tehokkuuden näkökulmasta. Kuvassa 1 esitetään työn teoriataustat, tutkimusmenetelmät sekä lopputuloksen tavoitteet.



Kuva 1. *Työn teoriataustat, suunnittelumenetelmät ja lopputuloksen tavoitteet*

Automaattivaraston hyötyjen selvittämisen lisäksi tavoitteena on määrittää sen sijaintipaikka, tarvittava kapasiteetti ja mitä osia automaattivarastoon on mahdollista varastoida. Teknisen suunnittelun myötä voidaan määrittää tarkemmin automaattivaraston hyödyt yrityksen kokoonpanoprosessissa. Automaattivaraston valmistajan tuotetietoja käytetään apuna selvitykseen, mitä osia varastoon voidaan asettaa. Tarvittavan kapasiteetin selvittämiseen hyödynnetään tietoja yrityksen tuotantomääristä, tilauseristä ja pumpun tuoterakenteesta. Sijaintipaikan määrittämiseen käytetään apuna teoriaa materiaalivirtojen kehittämistä sekä Lean-oppia. Lopputuloksen tavoite on saada konkreettisia tuloksia automaattivaraston hyödyistä, joita voidaan käyttää investointipäätöksen tukena.

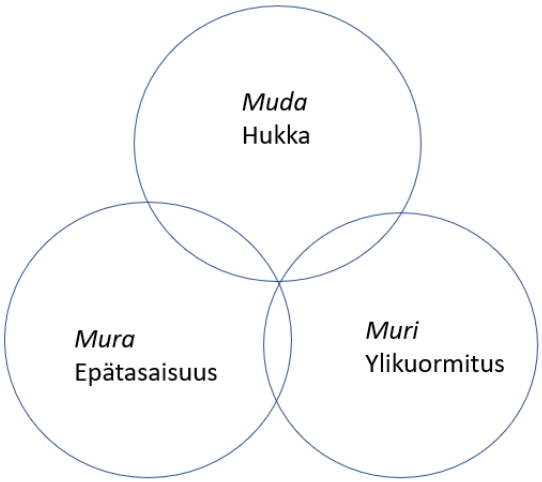
1.2 Työn rakenne

Luvuissa 2 ja 3 esitetään työn taustalla olevaa teoriaa. Luvussa 2 käydään läpi Lean-oppia, jossa keskitytään hukan poistamiseen ja virtauttamiseen. Luku 3 sisältää teoriaa materiaalivirtojen kehittämisesti ja layout-suunnittelusta. Teoriaa hyödynnetään muun muassa teknisten vaatimusten selvityksessä. Luvussa 4 arvioidaan nykytilanne ja esitetään mahdollisia parannuskohteita. Luku 5 sisältää automaattivaraston teknisen suunnittelun ja hyötyjen tarkemmat selvitykset. Luvussa 6 esitetään työn tuloksien päätelmät. Lopussa esitetään ehdotuksia jatkotoimenpiteille ja parannusehdotuksia, joiden avulla tuotantoprosessi kehittyy.

2. HUKAN POISTAMINEN JA VIRTAUTTAMINEN

Lean-ajattelu on peräisin Japanista ja se on kehitetty Toyotan tuotantoperiaatteiden mukaan. Lean-ajattelun avulla määritetään arvoa lisäävät toimintatavat ja kohdistetaan yrityksen resurssit juuri näiden toimintojen toteuttamiseen. (Kouri 2010, s. 6) Tuotteiden arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta on ensimmäinen askel Lean-ajattelulle. Seuraava askel on tunnistaa koko arvovirta tuotekohtaisesti. Arvovirta sisältää kaikki tuotteelle arvoa lisäävät toiminnat. Arvovirran määrittäminen tuo esille usein suuren määrän turhaa toimintaa eli hukkaa. (Womack & Jones 1996, s. 19)

Toyotan työntekijät käyttävät japanilaisia termejä *muda, muri ja mura*. Nämä ovat suomeksi hukka, ylikuormitus ja epätasaisuus (Kuva 2).



Kuva 2. *Kolme M-termiä mukaillen lähteestä (Liker 2006, s. 115)*

Näiden kaikkien termien poistaminen on yhtä tärkeää Lean-toiminnassa, koska pelkästään hukkien poistaminen tuotannosta voi jopa heikentää ihmisten ja tuotantojärjestelmän tuottavuutta. (Liker 2006, s. 114)

2.1 Hukkalajien poistaminen tuotannosta

Hukan osuus perinteisesti johdetussa operaatiossa on hyvin suuri. Lean-ajattelun lähtökohta on kartoittaa materiaalien arvovirta läpi prosessin ennen kuin voidaan tutkia prosessia sen tarkemmin. Tarkan materiaalivirran kuvaamiseksi kannattaa käydä paikan päällä tutkimassa materiaalivirran reitti. Piirtämällä materiaalivirran reittejä sekä laskemalla aikoja ja matkoja voidaan havainnollistaa arvovirtaa. (Liker 2006, s. 29–30) Hukkaa on kaikki ihmisen arvoa tuottamaton toiminta, joka kuluttaa resursseja. Esimerkiksi

virheiden tekeminen, turhat prosessivaiheet, turhat työntekijöiden liikkeet ja osien odottaminen työn aloittamiseksi ovat arvoa tuottamatonta toimintaa. (Womack & Jones 1996, s. 15) Kouri (2010, s. 10) sanoo, että Lean-ajattelussa työtahtia kasvatetaan poistamalla erilasia hukkia. Tuotannon hukat voidaan jakaa seitsemään luokkaan (Kouri 2010, s. 10–11; Liker 2006, s. 28–29):

1. ylituotanto
2. odottelu ja viivästykset
3. tarpeeton kuljettaminen
4. laatuvirheet
5. tarpeettomat varastot
6. ylikäsittely
7. tarpeeton liike työskentelyssä.

Tässä työssä keskitytään poistamaan työntekijöiden tarpeettomat liikkeet pumpun kokoonpanovaiheessa, sillä osien etsimiseen kuluu turhaa aikaa. Kun tarvittavia osia etsitään muiden osien joukosta, jokainen ylimääräinen nostelu ja siirto on materiaalien ylikäsittelyä. Lisäksi laatuvirheet vähentyvät, kun osien keräily on yksinkertaista.

Bicheno ja Holweg (2009, s. 24) tuovat esille hukkalajeja, jotka ovat alkuperäisen listan lisäksi olennaisia tuotannossa. Uusista hukkalajeista olennaisia tutkimuskohteen kannalta ovat

- käyttämätön ihmisten potentiaali
- ajanhukka
- asioiden kesken jättäminen.

Käyttämätön ihmisten potentiaali on esimerkiksi sitä, että työntekijän ajatuksia ei kuunnella, vaan ajatellaan hyvien ideoiden olevan peräisin ainoastaan johtajilta. Tämä hukka liittyy suoraan ajatukseen, että Toyotan tuotantojärjestelmän tavoite on luoda ajattelevia ihmisiä. Jotta ihmisten potentiaali saadaan hyödynnettyä, se vaati selkeää viestintää työntekijöiltä johdolle sekä johdolta työntekijöille. (Bicheno & Holweg 2009, s. 24) Nykytilanteen arvioinnissa pyritään hyödyntämään ihmisten käytettävissä oleva potentiaali tekemällä haastatteluita ja keskustelemalla kokoonpanolinjaston työntekijöille. Näin saadaan ajatuksia itse työn tekeviltä ihmisiltä sekä johdolta. Käyttämätön potentiaali voidaan ajatella myös työn tehokkuuden kautta. Kun automaattivaraston avulla saadaan osat lähemmäksi työntekijää, pystytään työtahtia kasvattamaan huomattavasti. Näin ihmisen käytettävissä oleva potentiaali voidaan hyödyntää tehokkaammin.

Ajanhukan minimointi kuuluu tämän työn yhteen päätavoitteesta. Automaattivaraston avulla pystytään poistamaan osien etsimiseen kuluva ajanhukka, mikä parantaa tuottavuutta. Hukkaa on myös se, ettei asioita saateta päätökseen. Kun etäisyyksiä pienennetään säästääkseen aikaa, mutta ei tehdä mitään hyödyllistä säästetyllä ajalla, on se silloin hukkaa. Kun automaattivaraston avulla poistetaan osien etsimiseen kuluva aika, on silloin hyödyn tultava esille työtahdin nopeutumisena.

2.2 Virtauttaminen

Huuhka (2017, s. 188) sanoo, että jatkuvan tuotannonvirran tavoite on poistaa ylimääriset pysähdykset ja liikkeellelähdöt tuotannosta. Materiaalivirta tehtaan sisällä pyritään samaan jatkuvaksi. Tarkoituksena on saada tuotteet virtamaan pysähtymättä läpi arvoketjun. Täten tehtaan laitteistot pitää asetella niin, että materiaalivirta laitteiden välillä on yksinkertainen ja etäisyydet mahdollisimman lyhyitä. (Kouri 2010, s. 8)

Virtauttamisen ihannetta ei kuitenkaan kannata soveltaa tilanteisiin, jonne se ei sovi. Puskurivarastoja kannattaa käyttää silloin, kuin jatkuva osien virtaus ei ole mahdollista. Virtauttamisen periaate antaa kuitenkin selkeän suunnan toiminnalla. Tavoitteena on pienten tavaraerien tilaaminen, prosessien sijoittaminen lähelle toisiaan ja osien pitäminen liikkeessä välttämällä materiaalivirran keskeytyksiä. Oikeaan paikkaan asetut puskurivarastot mahdollistavat paremman kokonaisvirtauksen. Prosessin nopeampi virtaus parantaa yleisesti ottaen tuotannon laatua. (Liker 2006, s. 90–93)

Lean-ajattelun mukaan tuotannon virtauttamista tulee kehittää. Virtauttamisen tavoitteena on saada valmistus tehtyä tilauskannan tarpeen mukaisesti eli ei tehdä varastoon ylimääräistä. Läpäisyajalla määritetään virtauksen tehokkuus eli kuinka kauan tuotteella menee aikaa valmistukseen. Virtauttamisella saadaan toimitusajat pienemmäksi, kun tuotteita saadaan valmistettua nopeammassa ajassa. Tuotantolinjaston läpäisyaikaa saadaan pienemmäksi poistamalla erilaisia odotusaikoja, kuten suunnittelemalla tuotantoreitit mahdollisimman selkeiksi. (Kouri 2010, s. 20–21) Yksiosaisessa virtauksessa vältetään materiaalin siirtelyä edestakaisin, mikä parantaa tuottavuutta (Liker 2006, s. 96).

Myös laatuongelmat ja konehäiriöt tulevat esiin paremmin, kun materiaalivirta on tehokkaampaa. Laadunvarmistusta ei Lean-ajattelun mukaan tehdä erillisillä laatutestauksilla, vaan tavoitteena on poistaa kaikki mahdolliset häiriöt niiden ilmaantuessa. Virheiden löytäminen on tärkeää, ettei virheellisten tuotteiden tekemiseen kuluteta aikaa. Syntyneet virheet pitää ottaa puheenaiheeksi, jotta niiden aiheuttajat voidaan poistaa tuotannosta. (Kouri 2010, s. 24) Virtauttaminen vapauttaa myös tehtaan lattiatilaa, kun poistetaan lattialla olevat varastot. Vapautunut tila mahdollistaa lisäkapasiteetin hankkimisen. Lisäksi

työturvallisuus parantuu, kun virtaus on yksinkertaisempaa ja turhat työntekijöiden liikkeet sekä nostelut karsitaan pois tuotannosta. (Liker 2006, s. 96).

Kouri (2010, s. 21) korostaa läpäisyajan koostuvan tavallisesti yli 99 % odottamisesta. Virtausta tehostamalla voidaan siis pienentää tuotteiden läpäisyaikoja. Tuotannon läpäisyajan pienentäminen perustuu odotusaikojen minimointiin tuotannossa. Tällöin työtahdin ei tarvitse kasvaa, jos turhat odotukset saadaan poistettua tuotannosta. (Kouri 2010, s. 21)

Automaattivaraston teknisessä suunnittelussa virtauttaminen otetaan huomioon siten, että automaattivaraston sijaintipaikka tukee mahdollisimman hyvin yksinkertaista materiaalivirtaa. Myös pumppujen kokoonpanot pysyvät paremmin liikkeessä, kun läpäisyaika pienenee ja osien etsiskelyyn ei kulu turhaa aikaa.

Kun jokin työvaihe on muita tehokkaampi, muut vaiheet ruuhkautuvat turhan varaston takia, mikä vaikeuttaa ja hidastaa niiden toimintaa. Tahtiajan määrittämisen avulla voidaan kertoa työntekijöille, missä ajassa tuotteita pitää valmistaa. Tahdistamalla toimintaa voidaan varoittaa työntekijöitä aina, kun tuotannossa ollaan aikataulusta edellä tai jäljessä. (Liker 2006, s. 94–95) Tahtiajan laskemiseen voidaan käyttää kaavaa

$$Tahtiaika = \frac{Tuotantoaika}{Haluttu\ tuotantomäärä}. \quad (3)$$

Tahtiaika on aika, joka voidaan käyttää enintään tietyn työvaiheen suorittamiseen. Tahtiaika kertoo siis, kuinka usein tuotantolinjan päästä täytyy valmistua uusi tuote. (Stevenson 2011, s. 286)

Tässä työssä tahtiaika määritetään tuotantoajan ja valmistuneiden prosessipumppujen mukaan. Tahtiaikaa käytetään automaattivaraston kapasiteetin määrittämisessä. Tuotannon toiminnassa tahtiaikaa voidaan hyödyntää työtehtävien jakamisessa, jotta ei tehdä liikaa keskeneräistä tuotantoa hankaloittamaan muita kokoonpanoprosessin työvaiheita.

Heijunka tarkoittaa tuotannon tasoittamista volyymien suhteen eli tavoitteena on rakentaa tasapainoinen aikataulutus työtehtäville. Heijunkan yksi tavoite on saada työvoiman ja koneiden käyttö tasapainoiseksi. (Liker 2006, s. 118) Tuotanto tasoitetaan valmistamalla tuotteitta pienemmissä erissä asiakastarpeiden mukaisesti. Kun tuotanto on hyvin tasoitettu, ylikuormitukset vähentyvät ja varastointitarpeet pienentyvät. Pienerätuottamisen tavoitteena on saada tuotannosta tehokkaampaa ja nopeampaa. (Kouri 2010, s. 18–19) Pienerätuotannon hyviä puolia ovat (Kouri 2010, s. 18–19)

- työn vaihtelevuus

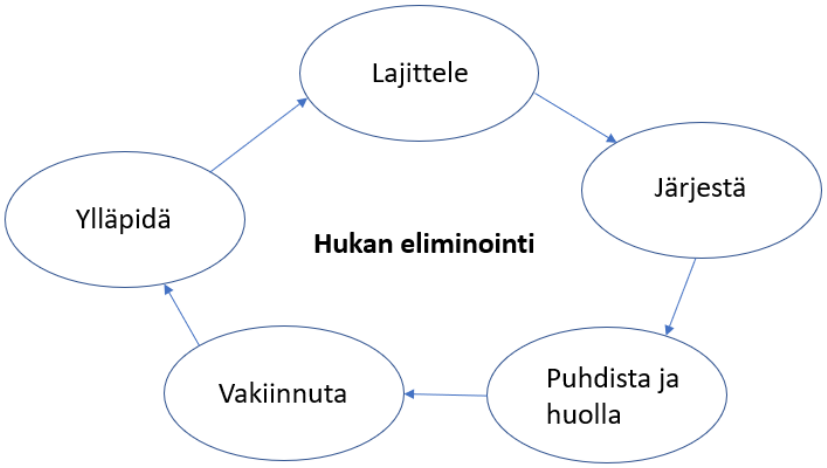
- tasaisempi työtahti
- vakaampi tuotanto
- sähläämisen vähentyminen.

Tässä työssä tuotantolinjan tasoittamista volyymien suhteen käsitellään työn lopussa, kun kokoonpanoprosessille esitetään parannusehdotuksia. Tuotantolinjan tasapainotus ei ole yksinkertaista, jos työvaiheiden suorittaminen riippuu useasta eri tekijästä, kuten komponenttien toimituksista.

2.3 5S-malli

Lean-ajattelun mukaan tuottavaa ja laadukasta työtä voidaan tehdä vain siistissä ympäristössä. Tämän takia on kehitetty 5S-menetelmä, jonka avulla pyritään varmistamaan työpisteiden siisteys ja järjestys. Toisin sanoen kehitetään toiminnan systemaattisuutta sekä kurinalaisuutta. (Kouri 2010, s. 26)

5S-menetelmän avulla parannetaan työturvallisuutta, vähennetään työvälineiden etsimiseen kuluvaa aikaa ja helpotetaan työn tekemistä hyvän järjestyksen avulla. Lean-ajattelun mukaan tehokas toiminta ja hukkien tunnistaminen on mahdollista ainoastaan siistissä ympäristössä. (Kouri 2010, s. 26–27) Chapman (2005) kirjoittaa, että tuotantolaitokset voivat kärsiä järjestäytymättömyydestä, mikä näkyy muun muassa häiriötekijöiden määrässä ja tehottomampana tuotantona. 5S-menetelmän viisi tekijää ovat (Chapman 2005; Bicheno & Holweg 2009, s. 78; Kouri 2010, s. 27): lajittele (*Seiri*), järjestä (*Seiton*), puhdista ja huolla (*Seiso*), vakiinnuta (*Seiketsu*) ja ylläpidä (*Shitsuke*). Nämä viisi tekijää muodostavat järjestelmällisen työympäristön (Kuva 3).



Kuva 3. *5S-menetelmä mukaillen lähteestä (Liker 2006, s. 151)*

Aluksi lajitellaan työkalut ja materiaalit niiden käyttötarkoituksen mukaan sekä poistetaan tarpeettomat tavarat. Toisessa vaiheessa järjestetään tarvittaville työvälineille omat paikat. Kolmannessa vaiheessa huolehditaan koneiden ja työvälineiden puhtaudesta. Neljännessä vaiheessa huolehditaan, että toimenpiteet tehdään joka kerta samanlailla. Jokainen työntekijä osallistuu järjestelyihin ja siivoukseen rutiininomaisesti. Viimeisessä vaiheessa ylläpidetään vakiintuneita käytäntöjä. Työpisteiden järjestystä tulee tarkkailla systemaattisesti. (Kouri 2010, s. 27) 5S-järjestelmän tavoitteena on tehdä työympäristöstä sellainen, että työntekijä löytää heti tarvittavat osat tai työkalut (Liker 2006, s. 151).

Kouri (2010, s. 27) huomauttaa, että 5S:n mukaista toimintaa tulee toteuttaa kaikessa työskentelyssä. Bicheno ja Holweg (2009, s. 80) korostavat turvallisuutta 5S-järjestelmässä. Hyvässä 5S-järjestelmässä turvallisuus täytyy olla jokaisessa vaiheessa näkökulmana. Toisin sanoen turvallisuusmenettelyjä tulee kehittää ja ylläpitää. Toimintatapojen, jotka eivät ole turvallisia, poistaminen täytyy sisällyttää 5S-järjestelmään. Jotkin yritykset käyttävät tarkistuskierroksia turvallisuuden varmistamiseksi. Esimerkiksi linjaesimies tekee tarkistuskierroksen päivittäin, aluepäällikkö viikoittain ja jaostopäällikkö kuukausittain. (Bicheno & Holweg 2009, s. 80)

5S-menetelmää käytetään apuna nykytilanteen ongelmien ratkaisemisessa. Nykytilanteessa kaikille pumpun osille ei ole järjestyksellisiä paikkoja, joten 5S-menetelmän mukaan osille määritetään uudet varastointipaikat.

2.4 Uuden teknologian hankinta Toyotan tapaan

Toyotalla on ollut käytössä uuden teknologian investointiin oma menetelmä. Siinä arvioidaan konkreettisesti uuden teknologian hyötyjä ja selvitetään, mitä lisäarvoa se tarjoaa prosessille. Myös Toyotalla tutkitaan, miten uusi teknologia vaikuttaa nykyisiin prosesseihin, ennen kuin tehdään ostopäätökset. Tutkimuksien avulla pyritään löytämään mahdollisuuksia poistaa tuotannosta hukkaa ja tasoittaa materiaalien virtausta. (Liker 2006, s. 160)

Tässä työssä toimitaan Toyotan menetelmän mukaisesti. Ennen tarkempaa investointisuunnitelman tekemistä selvitetään, mitä konkreettisia hyötyjä tulee tuotannon toimintaan automaattivaraston myötä. Investointilaskelmia mietitään sen jälkeen, kun ollaan vakuuttuneita automaattivaraston hyödyistä kokoonpanoprosessille.

3. MATERIAALIVIRRAN SUUNNITTELU

Materiaalivirran suunnittelun tavoitteena on saada materiaalien virtaus nopeammaksi, mikä yleensä parantaa työn laatua. Pienten tavaramäärien liikkeessä pitäminen on vaihtoehtona parempi kuin tuottaa suuria tavaramääriä, jotka jäävät odottamaan seuraavia työvaiheita tai asiakkaita. Autovalmistaja Toyotan yksi tuotannon periaate on pienentää varastoja materiaalin virtauksen parantamiseksi. Kuitenkin oikeisiin paikkoihin sijoitettavat puskurivarastot parantavat materiaalinvirtausta. (Liker 2006, s. 90–93)

3.1 Materiaalivirran kehittäminen

Santos et al. (2006, s. 18) korostavat tuotantolaitteiden ja varastoinnin järjestyksen vaikutusta suoraan tuotannon läpimenoaikaan ja suoritustehoon. Uuden laitteen sijoittaminen ensimmäiseen tyhjään paikkaan vähentää asennuksen kustannuksia, mutta ongelmat materiaalivirran kanssa ilmaantuvat myöhemmin. On tärkeää analysoida uuden laitteen optimaalinen sijaintipaikka ja sen vaikutukset materiaalivirtaan, ennen kuin ostaa laitteen. Uuden laitteen sijaintipaikan tulee parantaa entisestään materiaalivirtaa. On muistettava, että laitteen asennus tehdään kertaalleen, mutta materiaali virta on jatkuva prosessi. (Santos et al. 2006, s. 19–20) Materiaalin käsittelyn suunnittelussa pyritään poistamaan tarpeettomat ja epätaloudelliset käsittelyt. Layout pitää suunnitella siten, että materiaalin siirrot ovat lyhyitä ja aina kohti tuotteen lopullista valmistumista. (Muther 1955, s. 65)

Uusia laitteitta hankitaan teknologian kehittymisen takia. Uuden laitteen sijaintipäätös on tärkeä tuotantolinjaston toimivuuden kannalta. Uudet laitteet asetetaan usein paikkaan, jossa on valmiiksi tyhjää tilaa. Välillä kuitenkin joudutaan siirtämään muita laitteita tehdäkseen uudelle hankinnalle tilaa, jos uuden laitteen halutaan tukevan parhaiten järjestelmän tehokkuutta. Layout-muutoksien avulla voidaan vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen yhtä lailla kuten uusien laitteiden hankinnoilla. (Santos et al. 2006, s. 19) Usein tavoitellaan koneiden korkeita käyttöasteita kannattavuuden kannalta, koska suuremman kapasiteetin omaavan koneen hankintakustannukset ovat suuremmat. Kuormitushuippuja ja tulevaisuuden kasvua kuitenkin pystytään hallitsemaan paremmin koneilla, joilla ovat matalat käyttöasteet. (Lapinleimu 2000, s. 71)

Materiaalivirran määrittämiseksi täytyy selvittää työpisteiden väliset riippuvuudet. Ennen lopullisen järjestelyn suunnittelemista on hyvä kuvata materiaalivirtaa kaavioilla. Lopulli-

siin sijaintipäätöksiin voidaan tarvita kuitenkin laskukaavoja, kun arvioidaan vaihtoehtoisia materiaalivirran reittejä. (Muther 1955, s. 193) Yhdistelemällä toimitusketjun vaiheita voidaan prosesseista tehdä järkeviä kokonaisuuksia. Tämän seurauksena läpäisyaikaa saadaan pienemmäksi ja toimitusketjuun ei kulu niin paljon kustannuksia, kun suoritetaan useampia käsittelyeriä kerralla. Kun läpäisyaika pienenee, toimituksista saadaan nopeampia ja asiakastyytyväisyys kasvaa. (Huuhka 2017, s. 188)

Pumppujen osien materiaalivirtojen tutkimisen tavoitteena on löytää paras mahdollinen sijaintipaikka automaattivarastolle ja sen myötä kehittää materiaalivirtoja. Turvallisuusnäkökulmat pyritään ottamaan huomioon suunniteltaessa ratkaisuja, kuten varmistamalla tarpeeksi tilavat kulkureitit ja työskentelytilat.

3.2 Layout-suunnittelun vaiheet

Tarve layout-suunnittelulle voi johtua monenlaisista syistä. Olemassa olevaa layoutia voidaan joutua muuttamaan uusien tuotteiden, valmistusmenetelmien kehittymisen tai uuden tarkastussuunnitelman takia. Toisaalta layout-suunnittelua tarvitaan, kun tuotanto siirretään uuteen paikkaan tai suunnitellaan kokonaan uusi tehdas. (Roy 2005, s. 36) Yritykset joutuvat ennemmin tai myöhemmin muuttamaan layoutia, joten on tärkeää tuntea layout-suunnittelun vaiheet (Santos et al. 2006, s. 18).

Layout-päätökset ovat merkittäviä yrityksen toiminnalle, koska niiden toteuttaminen vaatii usein paljon pääomaa ja työntekoa. Lisäksi layoutin rakenne vaikuttaa suuresti yrityksen toiminnan kustannuksiin ja tehokkuuteen. (Stevenson 2011, s. 248) Roy (2005, s. 36–37) luettelee hyvän layoutin seuraamuksia:

1. materiaalin käsittely ja kuljetus minimoitu
2. työntekijöiden liikkeet mahdollisimman vähäiset
3. odotusaika ja keskeneräiset tuotteet minimoitu
4. lisääntynyt tuotettavuus ja parempi laatu
5. kehittyneemmät työmenetelmät ja pienempi läpäisyaika.

Stevenson (2011, s. 248) mainitsee myös pullonkaulojen välttämisen olevan layout-suunnittelun tavoite. Näiden listattujen asioiden tuloksena informaatio- ja materiaalivirta paranevat sekä ihmisten liikkeet ovat tehokkaampia. Tilojen, tuotantolaitteiden sekä ihmisten hyödyntäminen on myös tehokkaampaa hyvän layout-suunnittelun tuloksena. Lisäksi layoutin juostavuus ja turvalliset työolosuhteet kuuluvat hyvän layoutin piirteisiin. (Roy 2005, s. 37)

Automaattivarasto kehittää materiaalinkäsittelyä, koska osien jäljitettävyys parantuu ja osien nostelut vähentyvät. Myös osien toimittaja voi tuoda suoraan tilatut osat automaattivarastoon, kun niille ovat selvät paikat. Nyt työntekijä joutuu itse hakemaan kauempaa osat, joten automaattivarasto vähentää työntekijöiden liikkeitä. Tuottavuus lisääntyy, kun osien etsimiseen ei kulu aikaa. Kokoonpanovirheet vähentyvät, kun kokoonpanija tilaa kokoonpanotyön osat automaattivarastosta työnumeron avulla.

Layout-suunnitteluun tarvitaan kuusi perusvaihetta, joiden avulla suunnitellaan toimiva ratkaisu layoutin ongelmalle. Tämä kuusivaiheinen järjestelmä soveltuu yleisesti kaikkiin layout-suunnitteluihin, mutta kaikkia kohtia ei tarvitse suorittaa riippuen tutkimuskohteesta. Vaiheet ovat (Santos et al. 2006, s. 29–33)

1. tutkimusongelman rajaus
2. tutkimusongelman analysointi
3. ratkaisujen etsiminen
4. oikean ratkaisun valitseminen
5. ratkaisun yksityiskohtainen selvitys
6. suunnittelu ratkaisun toteuttamiseksi.

Aluksi rajataan tutkimusongelma, jonka jälkeen voidaan suorittaa analyysejä systemaattisesti layoutin tutkimuskohteelle. Kolmannessa vaiheessa etsitään sopivia ratkaisuja tutkimusongelmalle. (Santos et al. 2006, s. 31) Layoutia kannattaa suunnitella aluksi kokonaisuutena ja sen jälkeen miettiä eri työpisteiden välisiä yhteyksiä materiaalivirtojen avulla. Aluksi etsitään ongelmalle ideaalinen ratkaisu, jonka jälkeen suunnitellaan käytännöllistä ratkaisua sisällyttämällä siihen todelliset rajoitteet. Sen seurauksena saadaan yksinkertainen ja käytännöllinen ratkaisu. Kun heti suunnitteluvaiheessa huomioidaan tietyt rajoitteet, yksinkertaisen layoutin suunnittelu vaikeutuu. (Muther 1955, s. 145–146)

Neljännessä vaiheessa valitaan tilanteeseen sopivin vaihtoehto. Kolmannessa vaiheessa esitetyt ratkaisut arvioidaan joidenkin kriteereiden perusteella. Kannattaa pitää kuitenkin mielessä, että yksinkertaisimmat ratkaisut ovat yleensä parhaita. On tehty paljon isoja kehityssuunnitelmia layoutin parantamiseksi, mutta niitä ei ole koskaan toteutettu niiden monimutkaisuuden takia. Tilankäyttö tehtaan korkeus suunnassa kannattaa huomioida erityisesti. Nykyään merkittävä määrä yrityksiä käyttää ylhäällä olevaa tilaa väliaikaisina varastoina, jolloin tehtaan tilat käytetään tehokkaammin hyödyksi. (Santos et al. 2006, s. 31)

Viidennessä vaiheessa hyväksyttyä ratkaisua kehitetään muun muassa turvallisuuden näkökulmasta, koska ratkaisun tulee täyttää vaaditut turvallisuusmääräykset. Lopuksi

eritellään ratkaisun yksityiskohdat ja esitetään yksityiskohtaisesti ratkaisun tuomat hyödyt verrattuna nykytilanteeseen. Viimeisessä vaiheessa suunnitellaan ratkaisun toimeenpanon ongelmat. Layout-suunnittelun jälkeen ratkaisun pitää toimia tehokkaammin kuin entinen. Jälkeenpäin kannattaa seurata, että ratkaisu toimii niin kuin pitääkin. (Santos et al. 2006, s. 32)

Tässä työssä ei keskitytä viimeiseen vaiheeseen. Tutkimustyössä rajataan tutkimusongelma, analysoidaan ongelma, etsitään mahdolliset ratkaisut tutkimusmenetelmien avulla ja valitaan niistä paras vaihtoehto sekä esitetään ratkaisun tuomia hyötyjä nykytilanteeseen verrattuna.

3.3 Varaston suunnittelu

Turhia varastoja tulee välttää, sillä ne vaikeuttavat materiaalivirtojen ohjaamista (Sakki 2003, s. 71). Varaston suunnittelussa on tärkeää huomioida komponenttien tilausvälit. Eniten käytetyt osat kannattaa sijoittaa lähemmäksi työpistettä ja harvemmin käytettävät kauemmaksi. Myös osien väliset yhteydet kannattaa selvittää, koska samaan aikaan tarvittavien osien sijoittaminen yhteen paikkaan säästää aikaa sekä valmistuskustannuksia. Lisäksi varaston suunnitellussa on huomioitava kulkukäytävien lukumäärä ja leveys, osien kuljetustavat varastoon sekä tarve tehdä osamäärien tarkistuslaskentoja. (Stevenson 2011, s. 257)

Lean järjestelmissä pyritään välttämään välivarastoita. Välivarastot nähdään toistuvien ongelmien aiheuttajina, koska ne peittävät muun muassa konehäiriöiden vaikutuksia tuotannossa, mutta toisaalta välivarastot toimivat varmuusvarastoina ongelmien ilmaantuessa. (Stevenson 2011, s. 628–629) Suuret varastot ovat aina merkki yrityksen sisäisistä tai yrityksen ja sen toimittajien välisistä ongelmista. Yhteistyön ja johdon sitoutumisen avulla voidaan parantaa tavaratoimituksien oikeaa rytmiä ja tavaravirtojen jatkuvaa tasapainoa. (Sakki 2003, s. 71)

Manuaalivarasto on edelleen yleisin varastointimenetelmä. Manuaalivarastoinnissa hyödynnetään erilaisia työvälineitä, kuten tietoteknisiä sovelluksia ja moderneja työkoneita. Manuaalisessa varastoinnissa työntekijät suorittavat itse materiaalien käsittelyn toisin kuin automaattivarastonnissa. Automaattivarasto toimii taas tietokoneen ohjaamilla varastohisseillä tai erilaisilla kuljettimilla, joiden avulla tavaroiden siirtely automatisoidaan. Automaattivarasto vähentää henkilöstön tarvetta, mutta teknisen vian ilmantuessa koko varastoinnin toiminta voi pysähtyä. (Hokkanen & Virtanen 2012, s. 24–25) Tässä työssä

tutkitaan hyötyjä, kun manuaalivarastoinnista siirrytään automaattivarastointiin. Automaattivaraston yleisiä hyötyjä ovat osien täysi jäljitettävyys sekä osien keräilyn nopeutuminen.

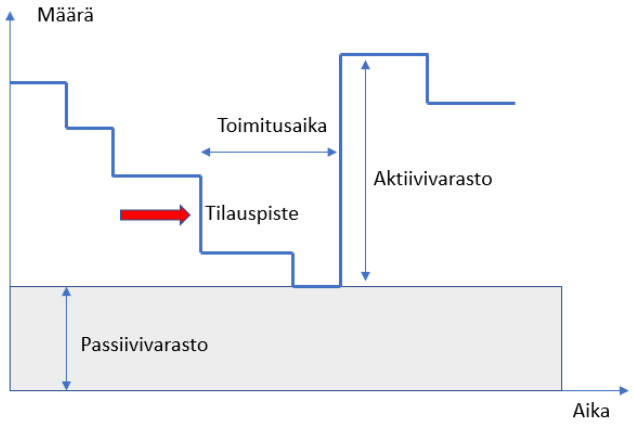
Varastojen ollessa suuria kulutuksien ja muutoksien seuranta on vaikeampaa. Jos tuotannon työvaiheita optimoidaan erikseen, voi siitä seurata osien ruuhkautumista varastoihin, mikä huonontaa toimituskykyä. Toisin sanoen jokaisella työpisteellä on väärää tavaraa. Mitä vähemmän yrityksessä on yhteistyötä, sitä enemmän tarvitaan varastoimista. (Sakki 2003, s. 74) Varaston keskiarvo voidaan laskea kaavalla

$$varaston\ keskiarvo = varmuusvarasto + \frac{toimituserä}{2}. \quad (1)$$

Kaavaa voidaan käyttää tilanteissa, jossa varastoitavat osat ovat enimmäkseen varastoohjattavia. Silloin osille asetetaan tietyt varmuusvarastot sekä toimituserät riippuvat kulutustasoista. Tilausohjattaville osille varaston keskiarvo voidaan määrittää varastointiaikojen historiatiedoista. Varaston kiertonopeus saadaan määritettyä kaavalla (Hokkanen & Virtanen 2012, s. 167)

$$varaston\ kiertonopeus = \frac{vuoden\ käyttö}{varaston\ keskiarvo}. \quad (2)$$

Kuvassa 4 esitetään varaston muodostuminen. Passiivivarastosta käytetään myös nimeä varmuusvarasto.



Kuva 4. *Varaston muodostuminen mukaillen lähteestä (Sakki 2003, s. 75)*

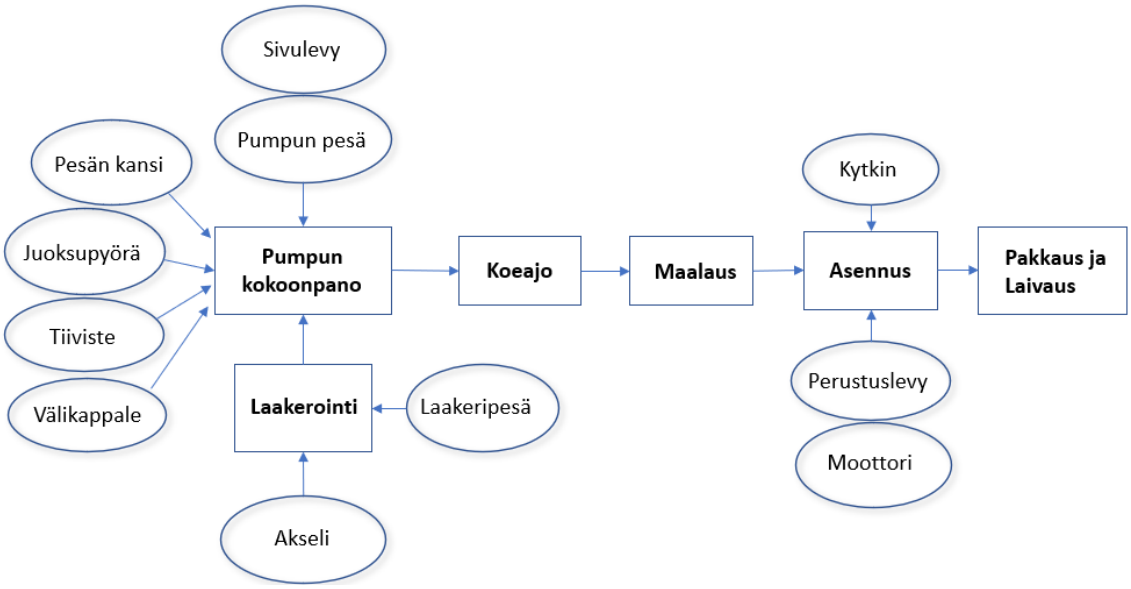
Kuvasta nähdään, kuinka varaston osien lukumäärä kasvaa ajan suhteen. Kun tiedetään osien tarvepäivät tai asetetaan varmuusvarastotasot, tilauspiste osataan ajoittaa oikeaksi. Tilauksille on tietty toimitusaika, jonka jälkeen osat saapuvat varastoitavaksi. Osien lukumäärät vähentyvät varastosta tahtiajan mukaisesti, mutta vaihtelevat tuotantovolyymit vaikuttavat varastotasoihin.

4. NYKYTILANTEEN ARVIOINTI

Nykytilanteen arvioinnissa käydään läpi kokoonpanoprosessin vaiheita sekä pumpun kokoonpanovaiheen ongelmakohtia. Nykytilannetta arvioidaan haastattelemalla työntekijöitä ja tekemällä havaintoja seuraamalla pumpun kokoonpanoa paikan päällä. Kokoonpanoprosessin tarkempaan kuvaukseen käytetään apuna yrityksen toiminnanohjauksen kuvauksia.

4.1 Kokoonpanoprosessin kuvaus

Yritys valmistaa sopimusvalmistajana prosessipumppuja, joita käytetään muun muassa vesilaitoksien ja paperiteollisuuden prosesseissa. Prosessipumppujen kokoonpanoprosessi (Kuva 5) sisältää laakeroinnin, pumpun kokoonpanon, koeajon, maalauksen, kytkimen ja sähkömoottorin asennuksen sekä pakkauksen kuljetusta varten.



Kuva 5. *Kokoonpanoprosessi*

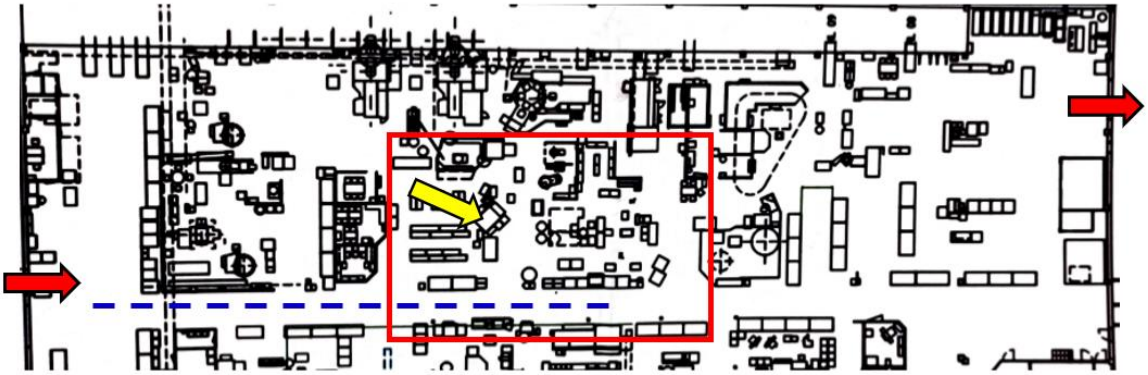
Pumpun kokoonpanossa yhdistetään laakerointi, akselitiiviste, juoksupyörä, välikappale, pumpun pesä sekä pesän kansi. Ennen pumpun kokoonpanoa pumpun pesälle suoritetaan koeponnistus. Koeponnistuksessa pumpun pesä täytetään vedellä, jonka jälkeen se paineistetaan. Koeponnistuksen aikana tarkistetaan pesän vuodot. Koeponnistusta varten sivulevy ja pesän kansi asennetaan pumpun pesään kiinni. Jos pesässä ei ole vuotoja, on se valmis kokoonpantavaksi. Vaihtoyksikön (laakerointiyksikkö, välikappale, pesän kansi, juoksupyörä) kokoonpano tapahtuu asennustelineessä. Kokoonpano aloi-

tetaan kiinnittämällä välikappale laakerointiyksikköön. Sen jälkeen asennetaan akselitiiviste, joka on mekaaninen-, dynaaminen-, tai punostiiviste, kiinni pesän kanteen. Tiivisteen asennuksen jälkeen pesän kansi liitetään kiinni välikappaleeseen. Juoksupyörä kiinnitetään laakerointiyksikön akseliin kiinni erikoiskierteiden avulla. Lopuksi vaihtoyksikkö nostetaan puominostimen avulla hydrauliselle kääntöpöydälle, jossa vaihtoyksikkö asennetaan pumpun pesään kiinni 12-16 ruuvilla. Kun pumpun välyssäädöt ja tarkistukset on tehty, saadaan lopputuloksena kuvan 6 mukainen pumppu, joka siirretään koeajettavaksi.

Kuva 6. *AHLSTAR-pumppu (Sulzerin tuotevalikoima)*

Työn tutkimuskohteena on pumpun kokoonpanovaiheen osien varastointi. Nykytilanteessa kokoonpanon osien varastointi tapahtuu lähes kokonaan manuaalivarastoinnin avulla. Osa tilauskohtaisista erikoisosista, kuten o-renkaat ja holkit, varastoidaan nykyiseen automaattivarastoon. Myös työkaluja, kuten koeponnistuksen laipat, varastoidaan automaattivarastossa. Pumpun pesät varastoidaan lattialla, ja tutkimuspäivänä pumpun pesiä oli lattialla välivarastossa yli 100 kappaletta. Laakerointiyksiköt varastoidaan kuormalavahyllyssä. Pumpun pesät ja laakerointiyksiköt nostetaan työpisteelle puominostimilla. Pesän kannet ja sivulevyt ovat hyvässä järjestyksessä avohyllyissä, jotka ovat suunniteltu näitä osia varten. Sen sijaan juoksupyörät ja tiivisteet ovat hyllyissä, joista oikean osan löytäminen on välillä haastavaa. Juoksupyörät, sivulevyt, pesän kannet, välikappaleet sekä tiivisteet siirretään varastoihin edellisistä vaiheista pöytävaunujen avulla, mutta pienemmät osat on helppo kantaa käsissä.

Kuvassa 7 esitetään osa tehtaan layout-kuvasta, jossa punaisilla nuolilla kuvataan osien vastaanottopaikkaa ja valmiiden prosessipumppujen lastauspaikkaa kuljetusta varten.



Kuva 7. *Layout-kuva*

Punaisen suorakulmion sisällä sijaitsee koeponnistus- ja pumpun kokoonpanopiste. Tiivisteet, juoksupyörät ja muut kokoonpanossa tarvittavat osat varastoidaan myös suorakulmion rajaamalla alueella. Keltaisen nuolen kohdalla on nykyinen automaattivarasto, jossa varastoidaan erikoisosia sekä työkaluja. Osat saapuvat vastaanottopaikalle (vasen punainen nuoli), jossa tapahtuu osien tarkastukset. Vastaanottopaikalta osat siirretään pöytävaunuilla sinistä katkoviivaa pitkin varastoihin. Juoksupyörille, tiivisteille sekä muille osille ovat omat hyllyt. Yksi tuottavuutta heikentävä ongelma on oikean työnumero-osan etsimiseen kuluva aika, koska osat eivät ole työnumeron mukaisessa järjestyksessä.

Osien etsimiseen kuluva aika, pitkät osien hakumatkat ja nykyisen automaattivaraston ohjauksen käytön monimutkaisuus ovat keskeisiä ongelmia. Lisäksi osien varastointitavan turvallisuudessa on puutteita, koska niitä pinotaan päällekkäin. Osien kolhiintumisia ja työntekijöiden loukkaantumisen riskiä voidaan vähentää, kun osia ei pinota. Myös varastoinnin epäjärjestys hankaloittaa tuotannon seuraamista. Tällä hetkellä työpisteellä vaaditaan kokemusta, jotta osat osataan noutaa oikeista varastointipaikoista. Tämän takia kesätyöntekijöiden kouluttaminen tai työntekijöiden ristiinkouluttaminen on aikaa vievää.

4.2 Osien varastointipaikat ja hakumatkat

Nykytilanteessa kaikille osille ei ole tarkkoja paikkoja. Osille on kuitenkin määritetty omat varastointialueet ja -hyllyt. Pumput pesät varastoidaan lattialla ja juoksupyörät sekä tiivisteet hyllyissä. Varasto-ohjattavat pienosat ovat jakelulaatikoissa kokoonpanon läheisyydessä. Pumpun kokoonpanija joutuu hakemaan joitain osia kymmenien metrien päästä, mikä vie paljon aikaa. Turha osien keräilyyn kuluva aika heikentää tuottavuutta. Myös suuret välivarastot hidastat oikeiden osien löytämistä ja vaikeuttavat työalueella liikkumista aika ajoin.

Tuotannon tuottavuuden kehittämisen sekä työn mielekkyyden kannalta on tärkeää saada osien hakumatkat mahdollisimman lyhyiksi. Osien etsiminen useita minuutteja on turhauttavaa, mikä huonontaa työmotivaatioita sekä tekemisen laadukkuutta. Lisäksi painavien osien nostelu matalista tavarahyllyistä ei ole hyväksi fyysiselle ergonomialle.

4.3 Etsimiseen kuluva aika

Osien etsimiseen kuluvan ajan minimointi on tärkeää useammasta näkökulmasta. Nykytilanteessa osia voidaan joutua etsimään jopa 20 minuuttia. Tuottavuus paranee, kun saadaan tehtyä enemmän kokoonpanoja samassa ajassa. Silloin pystytään vastaamaan kysyntään paremmin ja työn kannattavuus parantuu. Tuotantoerien myöhästymiset vähentyvät, kun pumpun kokoonpanon läpäisyaika pienenee.

Kokoonpanoprosessi on kustannustehokkaampaa, kun hukkaan kuluva aika poistetaan. Toisin sanoen sama tuotantomäärä saadaan tuotettua pienemmällä työmäärällä, kun työaika käytetään itse työn tekemiseen. Kun etsimiseen kuluva aika minimoidaan, voidaan työvoiman palkkaamisessa säästää tai kasvattaa tuotantomääriä.

4.4 Työturvallisuus

Tuotannon toiminta pitää olla mahdollisimman turvallista. Hyllyvarastoinnin turvallisuudessa on puutteita, mikä lisää työtapaturmien riksiä. Tutkimuspäivänä pumpun pesiä oli lattialla jopa 150 kappaletta, mikä vaikeutti työalueella liikkumista. Myös osien siirteleminen on hitaampaa, kun lattialla olevia pumpun pesiä täytyy väistellä.

Toinen turvallisuusriski on juoksupyörien varastointi. Nykytilanteessa juoksupyöriä pinotaan päällekkäin varastohyllyihin, jolloin vaarana on juoksupyörien putoaminen lattialla tai työntekijän päälle. Myös pitkät hakumatkat lisäävät työtapaturmien riskiä, kun osia kannetaan tai kuljetaan pöytävaunujen avulla pitkiä matkoja.

4.5 Työn laadukkuus

Kun kaikille osille ei ole tarkkaan määritettyjä varastointipaikkoja, osien hukkumisia tapahtuu ajoittain. Varsinkin pienemmät tilausohjattavat erikoisosat jäävät helposti huomaamatta, jos ne asetetaan vaihtelevasti eri varastohyllyihin. Myös väärien osien asentamisia on tapahtunut, kun huolimattomuuden takia kerätään vääriä osia kokoonpanotöihin. Väärien osien asentamiset ovat hukkaa, joiden poistaminen tuotannosta on tärkeää. Laadukkuutta heikentää myös osien kolhiintumiset. Osien pinoaminen varastohyllyihin lisää kolhiintumisen riskiä.

4.6 Nykyinen automaattivarasto

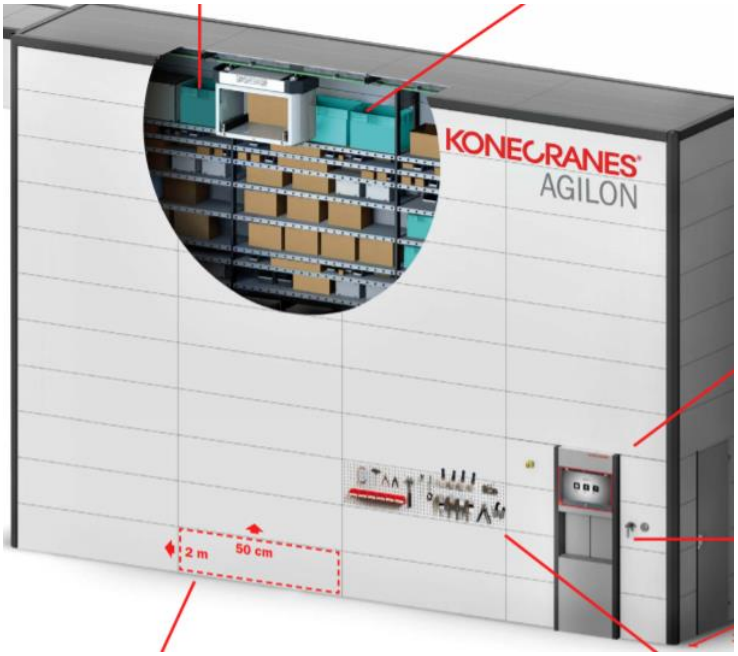
Nykyiseen automaattivarastoon varastoidaan työkaluja sekä erikoisosia, kuten ruuveja, o-renkaita, tulppia ja putkiyhteitä. Ongelmana on kuitenkin automaattivaraston käyttämisen haasteet, koska siinä on monimutkainen käyttöjärjestelmä. Työntekijöillä on osaamispuutteita käyttää automaattivarastoa. Automaattivarastosta on monimutkaista hakea osia, ja osan noudettaessa lavan tyhjennys järjestelmästä saattaa unohtua, kun tyhjennys pitää tehdä erikseen. Silloin järjestelmän mukaan varastossa ei ole tilaa, vaikka lavat ovatkin tyhjiä.

5. TEKNINEN SUUNNITTELU

Tekninen suunnittelu käsittää varastoitavien osien selvityksen, tarvittavan varastokapasiteetin määrittämisen sekä sijaintipaikan valitsemisen. Teknisen suunnittelun jälkeen voidaan tutkia tarkemmin automaattivaraston hyötyjä kokoonpanovaiheessa.

5.1 Varastoitavien osien määrittäminen

Tässä työssä käytetään esimerkkinä Konecranesin Agilon-materiaalinhallintajärjestelmää (Kuva 8), joka pystyy käsittelemään kaikenlaisia materiaaleja, joiden leveys on enintään 600 mm, syvyys 400 mm ja korkeus 450 mm. Vastaavat minimimitat osille ovat 30 mm, 30 mm ja 30 mm. Osien maksimipaino on 25 kg ja minimipaino 50 grammaa. Pienimmät osat täytyy siis varastoida laatikoihin.



Kuva 8. *Agilon-materiaalinhallintajärjestelmä (Agilon esite)*

Agilon-materiaalinhallintajärjestelmän myötä kokoonpanojen esivalmistelu on mahdollista. Varastointityöntekijä voi järjestellä osat työnumeroittain samaan laatikkoon setiksi ja syöttää laatikot automaattivarastoon. Agilon-materiaalinhallintajärjestelmä työntää ulos esivalmistellut laatikot pyyntöjen mukaan rullaradalle, josta kokoonpanija pystyy nopeasti noutamaan kokoonpanotyön osat, eikä osien etsimiseen kulu turhaa aikaa. Jos rullaratakäyttöpistettä ole, voi kokoonpanija tilata työnumeron laatikot yksitellen käyttöpisteelle eli tukiasemalle. Jos esivalmisteluja ei olla tehty, Agilon-järjestelmä tuo työnumeron osat yksitellen kokoonpanon pyyntöjen mukaisessa järjestyksessä.

Pumpun kokoonpanovaiheessa käsiteltäviä pääosia ovat seuraavat: pumpun pesä, sivulevy, pesän kansi, juoksupyörä, akselitiiviste sekä laakerointiyksikkö. Pienempiä osia ovat holkit, ruuvit, o-renkaat, tulpat ja putkiyhteet. Pumpun pesä ja laakerointiyksikkö ovat kooltaan liian suuria varastoitavaksi automaattivarastoon. Pesän kannet ja sivulevyt ovat järjestyksessä avohyllyissä, joten niiden asettamisesta automaattivarastoon ei ole tarvetta. Sen sijaan juoksupyörille ja mekaanisille tiivisteille ei ole järjestyksellisiä varastohyllyjä, joten niiden asettaminen automaattivarastoon on hyödyllistä. Myös pienemmät osat voidaan asettaa automaattivarastoon yhdessä juoksupyörien ja tiivisteiden kanssa.

Tutkimuspäivänä juoksupyöriä ja mekaanisia tiivisteitä oli molempia noin 250 kappaletta varastossa odottamassa kokoonpanoa. Kun tuotannon ajoitus toimii suunnitellusti, osien varastointimäärät ovat 80-100 kappaletta. Osien määrien vaihteluväli on suunnilleen noin 80-300 kappaletta. Seuraavaksi käydään läpi tarkemmin automaattivarastoon varastoitavat osat.

5.1.1 Juoksupyörät

Kokoonpanossa asennetaan pumppukohtaisesti erikokoisia juoksupyöriä. Kuvassa 9 on kuva juoksupyöristä, joiden halkaisijat vaihtelevat taulukon 1 mukaisesti.

Kuva 9. *Juoksupyörät*

Juoksupyörien maksikorkeus on noin 200 mm, joten korkeus ei ole rajoittava tekijä Agilon-järjestelmän näkökulmasta. Agilon-järjestelmään voidaan asettaa osia, joiden syvyys on enintään 400 mm. Juoksupyörissä syvyys on rajoittava tekijä. Taulukossa 1 esitetään juoksupyörien kokoluokat ja niiden osuudet kaikista juoksupyöristä. Tulokset on laskettu vuoden 2019 otoksesta, jossa juoksupyöriä on yhteensä 3969 kappaletta.

Kokoluokka	Halkaisijat (mm)	Painot (kg)	Osuudet (%)
1	125-200	1,5-3,5	4.2
2	200-300	3,5-10,0	50.2
3	300-380	10,0-20,0	25.1
4	380-400	<25,0	13.5
4	400-470	-	7.0

Taulukko 1. *Juoksupyörät*

Juoksupyöristä seitsemän prosenttia on halkaisijaltaan yli 400 mm. Agilon-järjestelmään voidaan varastoida enintään 400 mm leveitä juoksupyöriä. Enintään 400 mm leveiden juoksupyörien keskimääräinen halkaisija on 289,4 mm. Juoksupyörät varastoidaan erillisiin laatikoihin. Pienemmät juoksupyörät varastoidaan pienempiin laatikoihin, jolloin optimoidaan automaattivaraston tilankäyttö.

5.1.2 Tiivisteet

Prosessipumppuihin asennetaan asiakkaan tarpeen mukainen tiiviste. Tiivisteitä ovat mekaaninen liukurengastiiviste, punostiiviste sekä dynaaminen tiiviste. Mekaaniset tiivisteet saapuvat pahvilaatikoissa. Kuvassa 10 on mekaanisten tiivisteiden nykyinen varastohylly.

Kuva 10. *Mekaaniset tiivisteet*

Punostiivisteet ovat varasto-ohjattuja osia, joille on omat säilytyslaatikot kokoonpanopisteen läheisyydessä. Dynaamiset tiivisteet kootaan koneistetuista valuosista, jotka ovat varasto-ohjattuja osia. Dynaamisten tiivisteiden osat säilytetään hieman kauempana ole-

vassa varastohyllyssä. Mekaaniset tiivisteet ovat tilausohjattuja osia ja kokoonpanovaiheessa niiden etsimiseen kuluu turhaa aikaa. Tiivisteistä automaattivarastoon varastoidaan mekaaniset tiivisteet.

Mekaaninen tiiviste on pumpun yleisin tiivistetyyppi. Niiden osuus vaihtelee välillä 50-80 prosenttia riippuen pumpun tuoterakenteista. Mekaaniset tiivisteet toimitetaan yksittäisissä pakkauksissa eli pakkaukset voidaan varastoida suoraan sellaisinaan. Pienimmät pakkaukset ovat kooltaan 100x100x100 mm (leveys, syvyys, korkeus) ja suurimmat pakkaukset ovat 250x250x250 mm kooltaan. Pakkaukset painavat maksimissaan pari kilogrammaa, joten paino ei ole rajoittava tekijä. Arvion mukaan pakkaukset ovat keskiarvoltaan 200x200x200 mm kokoluokkaa.

5.1.3 Muut varastoitavat osat

Juoksupyörien ja mekaanisten tiivisteiden lisäksi automaattivarastossa varastoidaan muita pienempiä tilausohjattavia erikoisosia (Kuva 11).

Kuva 11. *Putkiyhde*

Erikoisosia ovat holkit, ruuvit, o-renkaat, tulpat ja putkiyhteet. Suurin osa pienistä osista ovat varasto-ohjattavia osia, joille ovat omat laatikot kokoonpanopisteen läheisyydessä. Pienemmät erikoisosat varastoidaan yhdessä juoksupyörän kanssa työkohtaisesti. Jos erikoisosat saapuvat varastoitavaksi ennen juoksupyörää, valitaan laatikkokoko juoksupyörän koon mukaisesti.

5.2 Automaattivaraston kapasiteetin määrittäminen

Tilastojen mukaan yritys valmisti yhteensä 4192 prosessipumppua vuonna 2019. Juoksupyöriä valmistettiin yhteensä 4928, kun osa juoksupyöristä valmistettiin varaosiksi. Prosessipumppuja valmistetaan arkipäivinä, joten vuodessa kertyy yhteensä 253 työpäivää. Vuoden 2019 tahtiaika saadaan määritettyä kaavan (3) mukaisesti:

$$tahtiaika = \frac{253\ pv}{4192\ kpl} = 0{,}060\frac{pv}{kpl}.$$

Työpäivän aikana työskennellään kahdessa kahdeksan tunnin vuorossa eli yhden työpäivän aikana työskennellään yhteensä 16 tuntia. Kun tahtiaika muutetaan tunneiksi, saadaan tahtiajaksi 0,97 tuntia. Toisin sanoen vuonna 2019 prosessipumppuja valmistui noin tunnin välein eli yhden työpäivän aikana kokoonpantiin keskimäärin 16,57 prosessipumppua. Yrityksen tavoite tuotantomäärä päivässä on noin 20-22 prosessipumppua päivässä, kun markkinatilanne on hyvä.

Tutkimusmateriaaliin on listattu puolen vuoden pumppujen kokoonpanojen tarve-, aloitus- ja lopetuspäivät. Kokoonpanoaikoihin sisältyy pumpun kokoonpano, pumpun koeajo sekä maalaus. Kun tarkastellaan aloitus- ja lopetuspäivän erotusta, saadaan laskettua pumpuille läpimenoaikojen keskiarvo ja keskihajonta. Tuloksien laskennassa käytetään läpimenoaikoja, jotka ovat enintään 21 päivää. Tilastoja suodatetaan, koska suuremmat läpimenoajat ovat yksittäisiä poikkeuksia, ja ne vääristävät huomattavasti läpimenoaikojen tuloksia. Tuoterakennetietojen virheet ja puutteet ovat syitä pitkille läpimenoajoille, jotka eivät johdu yrityksen omasta toiminnasta. Taulukossa 2 esitetään pumppujen kokoonpanojen läpimenoaikojen tulokset.

Läpimenoajat päivissä	keskiarvo	minimi	maksimi	keskihajonta
toteutuneet	2,05	0	21	2,98
suunnitellut	0,30	0	4	0,50

Taulukko 2. *Läpimenoaikojen tulokset*

Toteutunut läpimenoaika on 28 tuntia pidempi kuin suunniteltu läpimenoaika. Läpimenoaika koostuu työnteosta, mutta varsinkin odotusvaiheesta työvaiheiden välillä. Läpimenoaikaa pidentää muun muassa töiden keskenjääminen tiedonpuutteen vuoksi, osien puuttumiset ja vaihtelevat työmäärät kokonpanopisteessä työvuoroittain. Myös hidas informaatiovirta asiakkaiden ja yrityksien välillä voi olla syynä pitkiin läpimenoaikoihin. Läpimenoaikaa pidentää myös osien etsimiseen kuluva aika, mutta silloin puhutaan päivien sijaan minuuteista.

Osien saapumisajan ja pumpun kokoonpanon aloitusajan erotuksesta voidaan arvioida osien varastointiaikaa. Jos kokoonpano jää kesken, siirretään pumppu sivuun osien

kanssa. Tarkkoja päiviä osien saapumisista työnumeroittain ei ole olemassa, mutta osien tarvepäivä on arviolta kolme päivää aikaisemmin kuin suunniteltu työn aloituspäivämäärä. Taulukossa 3 esitetään osien varastointiajat.

	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskihajonta	<17 pv	>30 pv	>60 pv
Varastointiajat (pv)	16,60	0	198	23,86	68,05%	15,86%	4,67%

Taulukko 3. *Osien varastointiajat*

Taulukosta 3 nähdään, että osien arvioitu keskimääräinen varastointiaika on 16,6 päivää. Pidemmät varastointiajat kasvattavat keskiarvoa, koska suurin osa varastointiajoista on alle 17 päivää. Yli 60 päivän varastointeja on kuitenkin alle 5 prosenttia.

Varaston keskiarvo voidaan yleisesti määrittää kaavan (1) mukaisesti varmuusvaraston ja toimituserin avulla, mutta kaavaa on vaikea soveltaa tähän tutkimukseen. Yrityksessä pääosien varastointiin ei ole määritetty tiettyjä varmuusvarastoja, eikä toimituserät ole suoraan kulutuksesta riippuvia. Yritys valmistaa prosessipumppuja sopimusvalmistajana tilauskohtaisesti. Tarvittavan varaston kapasiteettia voidaan arvioida käyttämällä aikaisemmin laskettua osien keskimääräistä varastointiaikaa ja tahtiaikaa. Tahtiajasta saadaan laskettua yhden päivän keskimääräinen tuotantomäärä. Kun keskimääräinen varastointiaika ja päivän keskimääräinen tuotantomäärä tiedetään, pystytään arvioimaan tarvittavaa varaston kokoa. Keskimääräinen varaston kapasiteetti pumppujen lukumääränä on:

$$keskimääräinen\ kapasiteetti = 16{,}60\ pv * 16{,}57 \frac{kpl}{pv} = 275{,}06\ kpl.$$

Keskimääräisen kapasiteetin laskennassa käytettiin keskimääräistä varastointiaikaa sekä keskimääräistä tuotantomäärää. Varastointiajan määrityksessä käytettiin puolen vuoden tilastoja ja tuotantomäärän määrityksessä vuoden tilastoja. Täten keskimääreinen kapasiteetti huomioi tuotannon toiminnan häiriötekijät, joten tarvittavan kapasiteetin määrittämiseen voidaan käyttää edellä laskettua keskimääräistä kapasiteettia.

Varaston kiertonopeus voidaan laskea kaavan (2) mukaisesti:

$$kiertonopeus = \frac{4192 \frac{kpl}{v}}{275{,}06\ kpl} = 15.24 \frac{1}{v}.$$

Kun vuodessa valmistetaan yhteensä 4192 pumppua ja varastossa on keskimäärin 275,06 pumpun osat, voidaan ajatella varaston täyttyvän ja tyhjentyvän vuodessa 15,24 kertaa.

Osien varastointiin käytetään kahta laatikkokokoa. Isomman laatikon mitat ovat 500x400 mm (leveys, syvyys) ja pienemmän laatikon mitat ovat 300x400 millimetriä. Juoksupyörät

ja erikoisosat pitää asettaa aina laatikoihin, mutta tiivistepakkaukset Agilon-järjestelmä pystyy käsittelemään sellaisenaan.

Juoksunpyörän kokoluokat 1 ja 2 laitetaan pienempään laatikkoon. Kokoluokat 3 ja 4 varastoidaan isompaan laatikkoon. Tarvittavan kapasiteetin määrittämiseen voidaan käyttää aikaisemmin laskettua keskimääräistä kapasiteettia pumppujen lukumääränä. Kun pumppuja on varastossa 275 kappaletta, juoksupyörien prosenttijakauman perusteella tarvitaan isoja laatikoita 106 kappaletta ja pienempiä 150 kappaletta (Taulukko 4). Halkaisijaltaan liian suuria juoksupyöriä Agilon-järjestelmään on noin 19 kappaletta 275 kappaleen erästä.

Pumpuissa on 50-80 prosenttisesti mekaaninen tiiviste. Kun lasketaan ylärajalla mekaanisten tiivisteiden lukumäärä 275 kappaleen erästä, saadaan tulokseksi yhteensä 220 kappaletta tiivisteitä. Kun automaattivarasto mitoitetaan nykyisten varastointiaikojen mukaisesti, vaaditaan varastolta kapasiteettia taulukon 4 mukaisten osien määrille.

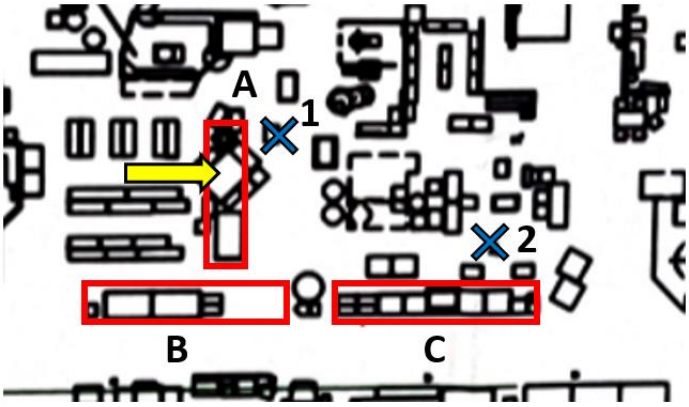
varastoitavat pakkaukset	leveys (mm)	syvyys (mm)	korkeus (mm)	lkm
iso laatikko	500	400	200	106
pieni laatikko	300	400	150	150
mekaaninen tiiviste	200	200	200	220

Taulukko 4. *Varastoitavat pakkaukset*

Agilon-järjestelmän mitat laskettiin taulukon 4 mukaisille varastoitaville pakkauksille (Konecranes, Jarkko Hemmi). Agilon-järjestelmän koko on 6,1m x 8,0m x 1,6m (korkeus, pituus, leveys). Kyseisillä pakkausten lukumäärillä Agilon-järjestelmän täyttöaste on 85 prosenttia.

5.3 Automaattivaraston sijainnin tutkiminen

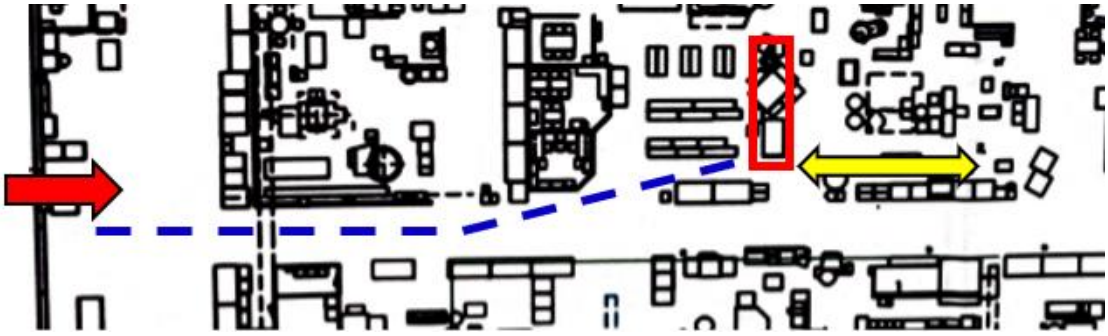
Kuvaan 12 on merkitty mahdolliset automaattivaraston paikat kirjaimilla A, B ja C. Siniset rastit (1 ja 2) ovat työpisteitä. Kuvaan merkatut varaston paikat ovat kaikki mahdollisia tilan ja kulkuväylien suhteen, mutta tavoitteena on löytää automaattivarastolle optimaalisin paikka.



Kuva 12. *Mahdolliset automaattivaraston sijaintipaikat*

Työpisteessä 1 tapahtuu pesän kannen, sivulevyn ja välikappaleen liittäminen pumpun pesään kiinni koeponnistusta varten. Nykyinen automaattivarasto sijaitsee keltaisen nuolen kohdalla. Sinne varastoidaan erikoisosia, kuten o-renkaita. Työpisteessä 2 tapahtuu pumpun kokoonpano. Kokoonpanossa asennetaan muun muassa juoksupyörä, akselitiiviste ja laakeriyksikkö kiinni pumppuun.

Sijaintipaikka A on lähimpänä työpistettä 1, jossa tapahtuu koeponnistus. Koeponnistuspisteellä tarvitaan välillä erikoisosia, jotka varastoidaan automaattivarastoon. Agilon-järjestelmään on mahdollista asentaa useita tukiasemia. Kun tukiasemat sijoitetaan eri puolille automaattivarastoa, varastotyöntekijöiden ja kokoonpanijoiden liikkeet eivät mene päällekkäin. Tällöin varastotyöntekijä voi asettaa osia varastoon toisella puolella, kun taas kokoonpanija tilaa tarvittavat osat kokoonpanonpisteen puoleiselta tukiasemalta. Jos automaattivarasto sijoitetaan paikan A kohdalle, varastotyöntekijät tuovat osat kuvaan 13 merkittyä reittiä pitkin.

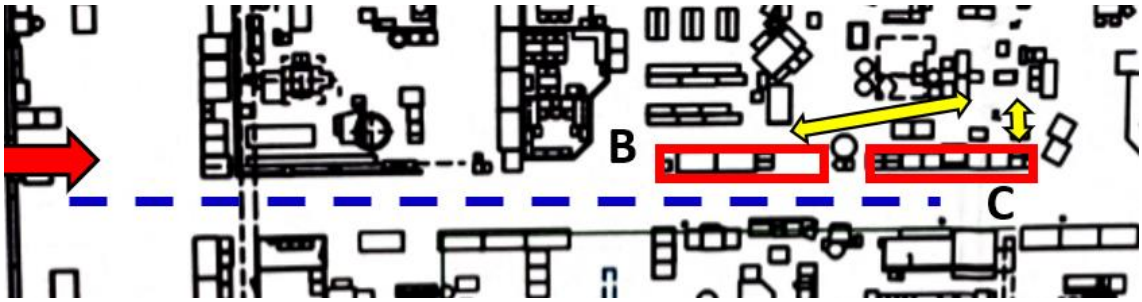


Kuva 13. *Sijaintipaikka A*

Lyhin reitti tuoda osat sijaintipaikalle A on tuoda kuvan mukaista reittiä pitkin. Tällöin sivulevyjen ja pesän kansien avohyllyjen paikkaa on siirrettävä, jotta kulkeminen automaattivarastolle on esteetöntä. Sijaintipaikalle A mahtuu enintään 8 metriä pitkä varasto. Sijaintipaikan hyvä puoli on sen sijainti aivan koeponnistuksen työpisteen läheisyydessä,

mutta etäsyyttä pumpun kokoonpanopisteeseen tulee noin 10 metriä. Nykyinen automaattivaraston on myös siirrettävä pois, jotta uusi automaattivarasto mahtuu paikalle.

Sijaintipaikat B ja C sijaitsevat pääkulkuväylän varrella. Kuvassa 14 esitetään sijaintipaikat B ja C tarkemmin. Molemmat sijaintipaikat ovat tehtaan tukipylväiden väleissä, joissa tilaa on käytettävissä 10 metriä.



Kuva 14. *Sijaintipaikat B ja C*

Kulkuväylän puoleinen tukiasema, josta varastoitavat osat syötetään sisään, kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähellä tavaroiden vastaanottoa, jotta varastotyöntekijän ei tarvitse kävellä niin pitkää matkaa. Kulkuväylän puoleinen tukiasema on silloin kuvan mukaan katsottuna sijaintipaikan vasemmassa päässä. Kokoonpanon puoleinen tukiasema, josta osat noudetaan, kannattaa sijoittaa oikeaan päähän, jotta noudettavat osat ovat mahdollisimman lähellä kokoonpanopistettä. Sijaintipaikan B:n etäisyys (pidempi keltainen nuoli) on noin 8 metriä. Vastaavasti sijaintipaikan C etäisyys kokoonpanopisteelle on pari metriä. Sijaintipaikka B on taas lähempänä osien vastaanottopaikkaa ja koeponnistuspistettä.

Taulukossa 5 esitetään sijaintipaikkojen vertailu, jossa kriteereinä ovat lattiatilan koko, etäisyyksiä työpisteille sekä helppokulkuisuus sijaintipaikalle. Etäisyys 1 tarkoittaa tukiaseman ja työpisteen 1 välistä etäisyyttä. Etäisyys 2 tarkoittaa tukiaseman ja työpisteen 2 välistä etäisyyttä. Etäisyys 3 on osien vastaanottopaikan ja tukiaseman välinen etäisyys.

Sijaintipaikat	A	B	C	tasapainotukset
Lattiatila (m)	**8.5** (1)	**10** (2)	**10** (2)	-
Etäisyys 1 (m)	**2** (3)	**8** (2)	**15** (1)	**0.2**
Etäisyys 2 (m)	**10** (1)	**8** (2)	**2** (3)	**0.7**
Etäisyys 3 (m)	**38** (2)	**32** (3)	**42** (1)	**0.1**
Helppokulkuisuus	1	2	2	-
Loppupisteet	**3.5**	**6.1**	**6.4**	

Taulukko 5. *Sijaintipaikkojen vertailu*

Etäisyyksien pisteytykseen käytetään tasapainotuskertoimia. Koska automaattivarastoon varastoidaan pääosin työpisteellä 2 tarvittavia osia, etäisyys 2 on painoarvoltaan suurin. Työpisteellä 1 tarvittavia osia varastoidaan harvemmin automaattivarastoon, joten etäisyys 1 ei ole niin olennainen. Etäisyys 3 on painoarvoltaan pienin. Varastotyöntekijät joutuvat joka tapauksessa kävelemään yli 30 metriä tuodessaan osia automaattivarastoon, joten muutamat lisämetrit eivät ole niin olennaisia. Varastotyöntekijät eivät myöskään joudu kävelemään automaattivarastolle niin usein kuin kokoonpanijat.

Parhaat pisteet saa sijaintipaikka C, mutta sijaintipaikka B saa lähes samat pisteet. Sijaintipaikka A osoittautuu pisteytyksen mukaan selvästi huonoimmaksi vaihtoehdoksi. Lisäksi vanha automaattivarasto sijaitsee nykyään sijaintipaikalla A, joten sijoittaessa uuden automaattivaraston muualle sen käyttöä voidaan edelleen jatkaa tarvittaessa. Sijaintipaikka C on optimaalisin paikka pumpun kokoonpanovaiheen kannalta.

Kun Agilon-järjestelmä sijoitetaan sijaintipaikalle C, tukiasemat sijoitetaan molemmille puolille. Tukiasema, josta osat syötetään järjestelmään, on vasemmassa päässä. Tukiasema, josta kokoonpanija noutaa osia, asetetaan varaston oikeaan päähän. Täten työntekijöiden kulkumatkat ovat mahdollisimman lyhyitä.

5.4 Automaattivaraston hyötyjen selvittäminen

Automaattivaraston tarkemmat hyödyt tuottavuudelle voidaan selvittää teknisen suunnittelun avulla. Hyötyjä ovat etsimiseen kuluvan ajan poistaminen, laatuvirheiden väheneminen, turvallisuuden parantuminen sekä lattiatilan vapautuminen. Lisäksi Agilon-järjestelmä on edistyksellisempi kuin nykyinen automaattivarasto.

5.4.1 Hukka-ajan poistaminen

Agilon-järjestelmän robotin ajonopeus on 1,25 m/s ja nostonopeus 1 m/s. Agilonin robottia on kehitetty siten, että se pystyy liikkumaan diagonaalisesti, mikä nopeuttaa osien hakuaikoja. Osan asettaminen varastoon ja sen noutaminen vie aikaa noin 15-45 sekuntia. Osan syöttöaikaan vaikuttaa kirjautumistapa järjestelmään sekä käyttäjän kokemus laitteen käytöstä. Hakuaikaan vaikuttaa varaston koko ja osan varastointipaikka. Eniten käytettävät osat Agilon pitää lähellä tukiasemaa, jotta hakuajat ovat mahdollisimman lyhyitä.

Osien järjestely työnumeroiden mukaan nopeuttaa kokoonpanoprosessia. Kun osat laitetaan varastoon työkohtaisesti laatikkoihin, työkortin mukaiset osat ovat nopeasti nou-

dettavissa. Kun osia saapuu varastoitavaksi, perustetaan kokoonpanotyölle oma laatikko. Laatikkoon lisätään sitä mukaan kokoonpanotyön osia, kun ne saapuvat varastoitavaksi. Kun kokoonpanija tilaa kokoonpanotyön osat työnumerolla, Agilon-järjestelmä tuo laatikon ja tiivistepakkauksen peräkkäin. Kokoonpanija pystyy tilaamaan kokoonpanotöitä jonoon työnumeroilla, jolloin Agilon-järjestelmä tuo laatikoita työkohtaisesti tukiaseman ollessa vapaana.

Vuoden 2019 tilastoissa esitetään työnumeroittain pumpun kokoonpanoihin käytetyt työajat. Suunniteltujen työaikojen keskiarvo on 0,94 tuntia ja toteutuneiden työaikojen keskiarvo on 1,09 tuntia. Eroksi saadaan 9 minuuttia, joka johtuu muun muassa osien etsimisestä sekä vaihtelevasta työtahdista. Vuoden 2016 tutkimuserässä (Kuva 15) on laskettu kolmen pumpun kokoonpanon kestot keräily mukaan lukien ja ilman keräilyä.

Keräilyn kanssa

	3 Mittausta YHTEENSÄ/Keskiarvo (min)			
	Kesto	Odotus	LT	VA
Työvaiheen aloituskuittaus ja keräily	16:20	00:00	16:20	00:00
Spiraalipesän purku	05:40	00:00	05:40	00:00
Sarjanumerointi	02:00	00:00	02:00	00:22
Vaihtoyksikön kokoonpano	13:40	00:00	13:40	06:30
Pumpun kokoonpano	17:00	00:00	17:00	06:37
Siirto koeajoon	01:40	00:00	01:40	00:00
Työvaih. lop.kuittaus	01:00	00:00	01:00	00:00
Yhteensä	57:20	00:00	57:20	13:29
Osuus	100 %	0 %	100 %	24 %

Ilman keräilyä

	3 Mittausta YHTEENSÄ/Keskiarvo (min)			
	Kesto	Odotus	LT	VA
Työvaiheen aloituskuittaus ja keräily	10:20	00:00	10:20	00:00
Spiraalipesän purku	03:40	00:00	03:40	00:00
Sarjanumerointi	02:00	00:00	02:00	00:21
Vaihtoyksikön kokoonpano	16:20	00:00	16:20	06:30
Pumpun kokoonpano	16:40	00:00	16:40	06:40
Siirto koeajoon	02:00	00:00	02:00	00:00
Työvaih. lop.kuittaus	01:00	00:00	01:00	00:00
Yhteensä	52:00	00:00	52:00	13:31
Osuus	100 %	0 %	100 %	26 %

Kuva 15. *Pumpun kokoonpanon läpimenoajat*

Huomataan, että keräilyn poistaminen lyhensi läpimenoaikaa 5,3 minuuttia. Otannassa on kuitenkin ainoastaan kolme mittausta, joten tulokset ovat suuntaa antavia. Pumpun kokoonpanon vaiheista työvaiheen aloituskuittaus ja keräily sekä itse pumpun kokoonpano vievät eniten aikaa. Nähdään, että keräilyyn kuuluu melkein yhtä paljon aikaa kuin itse pumpun kokoonpanoon. Kun keräily poistetaan, pumpun kokoonpano on edelleen prosessin pullonkaula, joka määrää minimi tahtia-ajan. Toiseksi eniten aikaa vie nyt vaihtoyksikön kokoonpano, sillä keräilyn poisto lyhentää työvaiheen aloituskuittaus ja keräilyvaihetta 6,0 minuuttia. Kun ajatellaan työvaiheiden, joihin keräily ei vaikuta, keston pysyvän samana, niin keräilyyn kuluu yhteensä 6,0 minuuttia.

Automaattivaraston myötä kokoonpanijan ei tarvitse etsiä osia varastointihyllyistä, vaan Agilon-järjestelmä tuo osat työkohtaisesti tukiasemalle. Kokoonpanijan täytyy kävellä automaattivarastolle kaksi kertaa pumpun kokoonpanon aikana. Kokoonpanija kävelee automaattivarastolle ja tilaa järjestelmästä laatikon, joka sisältää juoksupyörän ja muita erikoisosia. Samalla kuin kokoonpanija vie laatikon työpisteellä, Agilon-järjestelmä noutaa tiivistepakkauksen. Kokoonpanija hakee tiivistepakkauksen, jonka jälkeen osat on kerätty. Taulukko 6 esittää keräilyyn kuluvia aikoja, kun osat noudetaan Agilon-järjestelmästä.

	kuluva aika (s)	lkm	yhteensä (s)
kävelymatka 8 m	2	4	8
1. pakkauksen nouto	30	1	30
2. pakkauksen nouto	30	1	30
			68

Taulukko 6. *Osien keräilyyn kuluva aika Agilon-järjestelmää käytettynä*

Agilon-järjestelmän myötä osien keräilyyn kuluu aikaa 68 sekuntia. Automaattivaraston avulla säästetään aikaa noin 4,87 minuuttia pumpun kokoonpanovaiheessa. Vuonna 2019 valmistettiin yhteensä 4192 prosessipumppua. Tällä tuotantovolyymilla aikaa olisi säästynyt 340 tuntia eli yhteensä 21,3 työpäivää. Toisin sanoen vuodessa valmistetaan 353 pumppua enemmän. Säästyvä aika voi kuitenkin olla paljon suurempi, koska nykytilanteessa osien etsimiseen voi kulua jopa 20 minuuttia.

Tarvepäivien ja pumppujen kokoonpanojen lopetuspäivien erotuksesta voidaan määrittää aikataulun myöhästymiset. Myöhästymisten keskiarvo on 11,0 päivää, kun yli 50 päivän myöhästymisiä ei oteta huomioon. Yli 50 päivän myöhästymisessä myöhästyminen johtuu usein muista toimijoista. Automaattivaraston myötä pystytään valmistaan nopeammassa tahdissa pumppuja, joten myöhästymiset vähentyvät tältä osin. Kuitenkin myöhästymisten pääsyynä ovat toimituksien materiaalipuutteet.

5.4.2 Agilon-materiaalinhallintajärjestelmä

Agilon-järjestelmä ei ole ainoastaan automaattivarasto, vaan se on myös kokonaisvaltaisempi palvelu. Palvelu sisältää Agilon-järjestelmän, Agilon portaalin ja Agilon mobile -ominaisuuden.

Agilon-järjestelmä on älykäs materiaalien varastointijärjestelmä, joka osaa optimoida tehokkaasti osien varastoinnin. Eniten käytettävät osat Agilon varastoi lähemmäksi, jotta hakuajat ovat mahdollisimman lyhyitä. Agilon-järjestelmässä on säädettävät hyllykorkeudet, mikä mahdollistaa hyllyn tilojen optimoinnin. Hyllyjen minimi korkeus on 10 cm ja

säätöjako on 5 cm. Agilon-järjestelmään viedään tai noudetaan osia tukiasemien kautta. Tukiasemaan kirjaudutaan sisään PIN-koodin, sormenjälkitunnistimen tai käyttöavaimen avulla. Viivakoodinlukijan mahdollistaa nopean osien tietojen tallentamisen järjestelmään. Huoltopalveluita hoidetaan huoltokäyntien lisäksi myös etäyhteydellä. Vikojen ilmaantuessa seisokit minimoidaan käyttämällä vaihdettavia varaosamoduuleita.

Agilon-portaali mahdollistaa Agilon-järjestelmän tietojen seurannan. Esimerkiksi varaston osien saatavuudet ja kulutukset ovat helposti luettavissa. Portaalissa on valmiit raportit ja visuaaliset kaaviot Agilon-järjestelmän toiminnasta. Agilon-mobilen avulla materiaalien hallinta onnistuu myös Agilon-järjestelmän ulkopuolella. Sovelluksen voi asentaa mobiililaitteisiin, tablet-laitteisiin ja PDA-laitteisiin, mikä helpottaa ja nopeuttaa automaattivaraston tietojen hallitsemista.

Agilon-järjestelmästä hyötyy eniten, kun se yhdistetään toiminnanohjausjärjestelmiin. Yrityksellä on käytössä kaksi toiminnanohjausjärjestelmään, SAP-järjestelmä sekä RoimaSoftwaren Lean System. Kun Aglion-järjestelmä on liitetty toiminnanohjausjärjestelmiin, voidaan varasto-ohjattavien osien tilaukset automatisoida.

5.4.3 Muut hyödyt

Työturvallisuus parantuu Agilon-järjestelmän avulla entisestään. Nykytilanteessa juoksupyöriä varastoidaan päällekkäin tilanpuutteen takia. Vaarana on juoksupyörien tippuminen lattialle. Agilon-järjestelmässä juoksupyörät ovat laatikossa, joten niiden käsitteleminen on turvallisempaa. Osien etsimisessä joudutaan myös nostelemaan useita kertoja pakkauksia, jotta oikea osa löydetään. Täten osien käsittelykerrat vähenevät automaattivarastoinnin seurauksena, mikä on Lean-ajattelun mukaista.

Agilon-järjestelmässä varastoitaville osille on täysi jäljitettävyys. Tukiasema ottaa kuvan sekä punnitsee jokaisen osan. Kun osat ovat helposti löydettävissä, osien katoamiset häviävät. Varsinkin pienet erikoisosat voivat päätyä väärään varastointipaikkaan, joten niiden löytäminen on hankalaa. Osien täyden jäljitettävyyden avulla kokoonpanovirheet vähentyvät, kun työkortin osat on järjestelty laatikoittain. Kun osat ovat settinä laatikossa, erikoisosat muistetaan paremmin asentaa pumppuihin.

Kun osat varastoidaan automaattivarastoon, lattiatilaa vapautuu. Nykytilanteessa juoksupyöriä ja tiivisteitä on matalissa varastohyllyissä. Kun osia varastoidaan enemmän korkeussuunnassa, lattiatilaa tarvitaan vähemmän. Lattiatilan vapautumisen seurauksena liikkuminen työpisteillä helpottuu tai lattiatilaa vapautuu muihin tarkoituksiin. Suunniteltu Agilon-järjestelmä on 6,1 metriä korkea ja lattiapinta-alaa se vie 12,8 neliömetriä.

Työn tekemisestä tulee mielekkäämpää, kun osat ovat helposti saatavalla. Osien etsiminen pitkään on turhauttavaa. Turhautumisen poistaminen vaikuttaa positiivisesti muun muassa työn tehokkuuteen sekä laadukkuuteen. Työntekijän ollessa turhautunut huolimattomuus ja tapaturmariski kasvavat.

6. TUTKIMUKSEN PÄÄTELMÄT

Tämän työn tutkimus on pääsääntöisesti prosessinparannusmenetelmä, eikä selkeä Lean-parannusmenetelmä. Liker (2006, s. 31) sanoo, että perinteisessä prosessinparannusmenetelmässä mennään lisäarvoa tuottavien prosessien luokse ja parannetaan esimerkiksi tietyn prosessivaiheen käynnissäoloaikaa tai tuodaan prosessiin automatisoitu laite. Yksittäinen prosessin vaihe voi parantua huomattavasti, mutta se parantaa koko prosessin kokonaisarvovirtaa vain vähän. Lean-parannusmenetelmässä taas tavoitellaan yksinkertaista virtausta läpi koko prosessin, kun tuotannosta poistetaan lisäarvotuottamattomat toiminnot pois. (Liker 2006, s. 31)

6.1 Tulokset automaattivaraston hyödyistä

Automaattivarasto parantaa tuotannon toimintaa useasta eri näkökulmasta. Työssä käytetään esimerkkinä Konecranesin valmistamaa Agilon-materiaalinhallintajärjestelmää. Automaattivaraston hyötyjä pumpun kokoonpanovaiheessa ovat

- tuottavuuden lisääntyminen
- turvallisuuden parantuminen
- laatuvirheiden vähentyminen
- työn mielekkyyden lisääntyminen
- lattiatilan vapautuminen.

Tuottavuus lisääntyy, kun etsimiseen kuluva aika poistetaan. Pumpun kokoonpanovaihe lyhenee 4,87 minuuttia automaattivaraston myötä. Toisin sanoen vuoden 2019 tuotantomäärällä valmistetaan vuodessa 353 pumppua enemmän. Säästyvä aika voi olla myös suurempi pumpun kokoonpanovaiheessa, koska välillä osia joudutaan etsimään jopa 20 minuuttia.

Kun osat varastoidaan automaattivarastoon, nykytilanteeseen verrattuna työturvallisuus parantuu. Agilon-järjestelmä varastoi laatikot ja pakkaukset automaattisen robotin avulla. Manuaalivarastoon verrattuna käsittelykerrat vähenevät sekä osien varastointi tapahtuu järjestelmällisemmin. Tilanpuutteen vuoksi osia varastoidaan päällekkäin varastointihyllyissä, josta osat voivat pudota lattialle lisäten tapaturmariskiä.

Laatuvirheet vähentyvät automaattivaraston myötä, kun osat ovat valmiina settinä laatikoissa odottamassa kokoonpanoa. Erikoisosat muistetaan asentaa pumppuihin, kun ne

ovat muiden osien kanssa samassa laatikossa. Nykytilanteessa ei aina tarkasteta tarpeeksi huolellisesti työkortista tarvittavia osia, jolloin vääriä osia voi päätyä kokoonpanoihin. Myös osien kolhiintumiset vähenevät, kun osia ei pinota tilanpuutteen vuoksi, vaan ne varastoidaan laatikoissa automaattivarastoon. Automaattivaraston avulla pumpun kokoonpanon osille saadaan täysi jäljitettävyys, joten kokoonpanovirheet sekä osien hukkumiset vähentyvät.

Työnteko muuttuu mielekkäämmäksi, kun osien keräily on helpompaa. On hyvin turhauttavaa etsiä tiettyä osaa useita minuutteja. Osien nostelut ja siirrot vähentyvät automaattivaraston myötä. Agilon-järjestelmässä tukiasemat ovat hyvällä korkeudella ajatellen työergonomiaa. Myös varastointityöntekijöiden työ helpottuu, kun osat asetetaan aina automaattivarastoon. Nykytilanteessa varastointityöntekijä ei ole aina varma osan oikeasta varastointipaikasta. Turhautunut työntekijä on myös tapaturma-alttiimpi ja huolimattomampi, jolloin se myös vaikuttaa työn tekemisen laadukkuuteen.

Agilon-järjestelmä vie huomattavasti vähemmän tilaa verrattuna nykyisiin varastointihyllyihin. Agilon-järjestelmä osaa optimoida hyllyjen tilankäytön sekä automaattivarastoinnissa hyödynnetään varastointi korkeussuunnassa. Pumpun kokoonpanovaiheeseen mitoitettu Agilon-järjestelmä vie lattiatilaa yhteensä 12,8 neliömetriä. Kun lattiatilaa vapautuu, liikkuminen on helpompaa ja tilaa syntyy muille laitteille.

Uudet automaattivarastojärjestelmät ovat helppokäyttöisiä. Nykyiseen automaattivarastoon verrattaessa Agilon-järjestelmän käyttö on paljon helpompaa. Kun Agilon-järjestelmään asetetaan varasto-ohjattavia osia, osapuuteuhkat huomataan ajoissa automaattisen varastotason seurannan ansiosta. Yhdistämällä Agilon toiminnanohjausjärjestelmään (SAP, RoimaSoftware Lean System) voidaan osien tilaukset automatisoida. Agilon-portaali mahdollistaa tietojen seurannan, kuten varaston osien saatavuudet sekä kulutukset. Portaalissa on myös valmiit raportit ja visuaaliset kaaviot varastoitavissa osista.

Kokoonpanoprosessin pullonkaula on koeajo, joka määrää minimitahtiajan. Kun pumpun kokoonpanovaiheen läpimenoaika lyhenee, pumppuja valmistuu nopeammassa tahdissa. Tällöin on huolehdittava, ettei koeajon eteen synny suurta välivarastoa. Jos koeajo ei pysy työtahdin mukana, koeajon kapasiteettia on kasvatettava lisäämällä työvoimaa tai työtunteja. Toinen vaihtoehto on säästää pumpun kokoonpanovaiheen työvoimasta, koska sama määrä pumppuja pystytään valmistamaan lyhyemmässä ajassa automaattivaraston myötä.

6.2 Jatkotoimenpiteet ja parannusehdotukset

Jatkotoimenpiteitä ovat automaattivarastojärjestelmiä valmistavien toimittajien vertailu, tarjouspyyntöjen lähettäminen sekä investoinnin kannattavuuslaskelmat. Kun kahdesta viiteen toimittajaa on valittu, lähetetään tarjouspyynnöt kyseisille toimittajille. Tarjouspyyntöihin kannattaa panostaa. Mitä huolellisemmin tarjouspyynnöt tehdään, sitä tarkemmat toimittajien vastaukset sekä budjettitarjoukset ovat lähtökohtaisesti. Tarjousvertailun perusteella valitaan paras toimittaja. Budjettitarjouksen avulla lasketaan investoinnin kannattavuutta. Automaattivarastonjärjestelmien vuokraus on nykyään hyvin yleistä, jolloin investointivaroja ei sidota kerralla laitteeseen. Agilon-palvelupaketin vuokraus sisältää itse laitteen lisäksi muun muassa

- varaosat
- ennakkohuoltotoimenpiteet huolto-ohjelman mukaisesti
- etätuen ja vikatilanteissa teknisen tuen puhelinpäivystyksen
- korjaustyöt, jotka aiheutuvat normaalista järjestelmän käytöstä.

Kasvaneen tuotantomäärän tulee kattaa automaattivarastojärjestelmän kulut, jotta investointi on kannattava. Tuotantomäärän kasvun (vuodessa 353 kappaletta) tulee kattaa vuokrauskulut. Pitää kuitenkin muistaa, että automaattivarastosta on tuottavuuden lisäksi myös muita hyötyjä, kuten turvallisuuden parantuminen sekä työn mielekkyyden lisääntyminen. Jos investointi osoittautuu taloudellisesti kannattavaksi, aloitetaan neuvottelut kyseisen toimittajan kanssa.

Vaikka automaattivarasto helpottaa ja nopeuttaa pumpun kokoonpanoa, prosessia tulee kehittää myös kokonaisvaltaisemmin. Tällä hetkellä tuotannon ongelmana on työpisteiden vaihtelevat kuormitukset. Sen vuoksi välivarastot paisuvat suuriksi, mikä taas vaikeuttaa materiaalien käsittelyä. Toisin sanoen tuotantolinjaston tasapainottamisessa on kehitettävää. Nykytilanteessa esimerkiksi pumpun pesiä voi olla lattialla jopa 150 kappaletta, mikä hankaloittaa liikkumista ja oikean pumpun pesän löytämistä. Eteen voi tulla myös tilanteita, jossa pumpun kokoonpano odottaa osia, kun työvaiheita ei olla tehty optimaalisessa järjestyksessä osavalmistuksessa. Kun tuotantolinjan tasapainotus tehdään ensin, varastojen kapasiteettitarve ei tarvitse olla niin suuri paremman materiaalivirtauksen vuoksi.

Kokoonpanoprossia voidaan tasapainottaa Lean-ajattelun mukaisesti poistamalla toiminnasta hukkaa, epätasaisuutta ja ylikuormitusta. Hukkaa poistetaan suunnittelemalla työvaiheiden toimintatavat mahdollisimman yksinkertaisiksi, kuten tehtiin automaattiva-

raston teknisessä suunnittelussa. Osien varastointipaikkojen on kannattavaa olla työpisteiden läheisyydessä, jolloin osien keräilyyn ei kulu turhaa aikaa. Epätasaisuutta voidaan poistaa varmistamalla, että tilausten osavalmistus tehdään oikeassa järjestyksessä. Kun osat valmistetaan suunnitellusti, osien kohtaavuus kokoonpanopisteissä parantuu ja läpäisyajat lyhenevät. Työntekijöiden tulee tehdä työvaiheita työjonon mukaisessa järjestyksessä, jolloin välivarastot eivät kasva suuriksi. Työpisteiden ylikuormitusta voidaan vähentää ristiinkoulutuksella. Kun työvuorossa riittää osaamista jokaiselle työvaiheelle, työntekijöitä pystytään kierrättämään työpisteiden välillä. Tasaiset työpisteiden kuormitukset edesauttavat tasaista materiaalivirtaa, mikä parantaa tuottavuutta.

LÄHTEET

Agilon esite, verkkosivu. Saatavissa (15.4.2020): https://www.konecranes.com/

Bicheno, J. & Holweg, M. (2009). The Lean toolbox, 4th edition. PICSIE Books, Buckingham.

Chapman, C.D. (2005). Clean House with Lean 5S, Quality Progress. 38 (6), pp. 27–32.

Huuhka, T. (2017) Tehokkaan hankinnan työkalut, Books on Demand, Helsinki.

Kouri, I. (2010). Lean-taskukirja, Teknologiateollisuus ry, Helsinki.

Lapinleimu, I. (2000). Ideaalitehdas, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.

Liker, J.K. (2006). Toyotan tapaan, suom. M. Niemi, Readme.fi, Helsinki.

Murthy, D. N. P. & Jack, N. (2014). Extended Warranties, Maintenance Service and Lease Contracts Modeling and Analysis for Decision-Making, 1st ed. Springer, London.

Muther, R. (1955). Practical plant layout, McGraw-Hill, New York.

Roy, R.N. (2005). A modern approach to operations management, New Age International P Ltd, New Delhi.

Sakki, J. (2003). Tilaus-toimitusketjun hallinta, 6. uudistettu painos, Hakapaino Oy, Espoo.

Santos, J., Wysk, R. & Torres, J.M. (2006). Improving production with lean thinking, Wiley, Hoboken.

Simo, H. & Virtanen, S. (2012). Varastonhoitajan käsikirja, Sho Business Deveplopment Oy, Tallinna.

Stevenson, W.J. (2011). Operations management, 11th ed. McGraw-Hill/Irwin, New York.

Sulzerin tuotevalikoima, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.4.2020): https://www.sulzer.com/

Womack, J.P. & Jones, D.T. (1996). Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation, Simon & Schuster, New York.