



Hydraulisyliinterien tuotannon kehittäminen

Case Hydroline Oy:n tuotannon järjestelyt

Samu Koponen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma

Koponen, Samu

Hydraulisyliinterien tuotannon kehittäminen. Case Hydroline Oy:n tuotannon järjestelyt

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2021, 49 Sivua.

Tekniikan ja liikenteen ala. Logistiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja kehittää toimeksiantajan pyynnöstä kohdeyrityksen hydraulisyliinterien tuotantoa. Työ tehtiin osana toimeksiantajan kehitysprojektia, jonka tarkoituksena oli kehittää sekä järjestellä kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välistä aluetta tehokkaammaksi, vähentäen alueelle kerääntyvää keskeneräistä tuotantoa sekä aukaista tälle alueelle syntyvää pullonkaulaa.

Kehitysprojekti alkoi alueen kartoituksella ja ongelmakohtien etsinnällä. Työntekijöiden ja johdon haastatteluilla sekä vapaalla havainnoinnilla esiin nousi alueelle kerääntyvän keskeneräisen tuotannon liiallinen määrä ja sen epäjärjestys. Pääkomponenttien kuljetus tapahtuu niille suunnitelluilla kuljetusvaunuilla. Alueelle kerääntyvien kuljetusvaunujen määrä on useita kymmeniä ja ne jätettiin putkivarsituotannon ja kokoonpanon väliselle alueelle ilman minkäänlaista järjestystä. Tätä lähdettiin kehittämään tekemällä alueelle kuljetusvaunuille nimetyt varastopaikat. Alueen järjestelyillä saatiin parannettua putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisen alueen virtausta sekä vähennettyä keskeneräisen tuotannon määrää.

Kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisellä alueella testattiin myös Decawaven reaaliaikaisen seurantajärjestelmän MDEK1001-testipakettia, joka hyödyntää seurannassa Ultra-wideband-tekniologiaa. Testipakkauksella saatiin testattua kuinka kyseinen seurantajärjestelmä ja sen teknologia soveltuu kohdeyrityksen tehdasympäristöön. Tällä testauksella saatiin hyvää pohjaa tulevaisuutta varten, minkälainen seurantajärjestelmä soveltuu kohdeyrityksen tehdasympäristöön.

Avainsanat (asiasanat)

lean, keskeneräinen tuotanto, kehitys, seurantajärjestelmät

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Koponen, Samu

Developing hydraulic cylinder production process

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2021, 49 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Logistics. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The goal of the thesis was to research and develop the production of hydraulic cylinders of the target company at the request of the client. The work was done as part of the client's development project. The purpose of the development project was to develop and organize the target company's area between production and assembly to be more efficient, reducing work in progress and opening the bottleneck in the area.

The development project began with a mapping of the area and the search for problem areas. Employee interviews and free observation highlighted the excessive amount of unfinished production accumulating in the area and its disorder. The main components are transported in transport trolleys designed for them. The number of transport wagons accumulating in the area is several dozen and they were left in the area between production and assembly without any order. This was started by developing designated storage locations to the area. The area's arrangements improved the flow between production and assembly area and reduced the amount of work in progress.

The area between production and assembly of the target company was also tested with Decawave's real time locating system MDEK1001-test package, which utilizes Ultra-wideband technology for locating. The test kit was used to test how the locating system and its technology are suitable for target company's factory environment. This testing provided a good basis for the future, what kind of locating system is suitable for the target company's factory environment.

Keywords/tags (subjects)

lean, work-in-progress, development, locating system

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

| | |
|--|-----------|
| Lyhenteet..... | 7 |
| 1 Johdanto | 8 |
| 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet..... | 8 |
| 1.2 Hydroline Oy..... | 9 |
| 2 Katsaus tutkimusmenetelmiin..... | 10 |
| 2.1 Työn rajaukset ja tutkimuskysymykset | 10 |
| 2.2 Katsaus tutkimusmenetelmiin | 11 |
| 3 Hydraulikka ja hydraulisylinteri | 13 |
| 3.1 Hydraulitekniikan perusteet..... | 13 |
| 3.2 Hydraulisylinterin rakenne | 13 |
| 3.3 Sylinterityypit | 15 |
| 4 Tuotannonohjauksen periaatteet..... | 16 |
| 4.1 Tuotantomuodot | 16 |
| 4.1.1 Tilauksesta suunnittelu (ETO, Engineer to Order) | 17 |
| 4.1.2 Tilauksesta valmistus (MTO, Make to Order) | 17 |
| 4.1.3 Tilauksesta kokoonpano (ATO, Assembly to Order) | 17 |
| 4.1.4 Varasto-ohjautuva tuotanto (MTS, Make to Stock) | 18 |
| 4.2 Lean | 18 |
| 4.3 Lean-ajattelu | 19 |
| 4.4 Imuohjaus..... | 20 |
| 4.5 Työntöohjaus..... | 22 |
| 4.6 Pullonkaula | 23 |
| 4.7 Kapeikkoajattelu..... | 23 |
| 4.8 Kanban..... | 24 |
| 4.9 Keskeneräinen tuotanto (KET) | 25 |
| 4.10 Jatkuva keskeneräinen tuotanto (CONWIP) | 27 |
| 5 Ultra-Wideband teknologia ja Decawave seurantajärjestelmä | 29 |
| 5.1 Ultra-Wideband..... | 29 |
| 5.2 UWB:n toiminta ja sen edut..... | 29 |
| 5.3 Seurantajärjestelmä: Decawave..... | 29 |
| 5.4 Decawave MDEK1001 Evaluation and Development Kit | 30 |
| 5.4.1 Paketin sisältö | 30 |
| 5.4.2 Ohjelmisto..... | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.4.3 | Virtalähteet..... | 30 |
| 5.4.4 | Järjestelmän suorituskyky..... | 30 |
| 5.4.5 | Kehityspaketin käyttötarkoitus..... | 31 |
| 6 | Tutkimuksen toteuttaminen | 32 |
| 6.1 | Kohdeyrityksen tuotanto | 32 |
| 6.2 | Alkutilanteen kartoitus..... | 34 |
| 6.3 | Ongelmakohdat..... | 34 |
| 6.4 | Kehittäminen..... | 36 |
| 7 | Decawave seurantajärjestelmän testaus | 38 |
| 7.1 | Järjestelmän käyttöönotto | 38 |
| 7.2 | Järjestelmän testaus tehdasympäristössä | 40 |
| 8 | Tulokset..... | 42 |
| 9 | Pohdinta..... | 44 |
| | Lähteet | 47 |

Kuviot

| | | |
|-----------|---|----|
| Kuvio 1. | Työn rajaus..... | 10 |
| Kuvio 2. | Sylinterin rakenne (Hydroline Oy, koulutusmateriaali) | 14 |
| Kuvio 3. | Yksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, koulutusmateriaali) | 15 |
| Kuvio 4. | Kaksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, koulutusmateriaali) | 15 |
| Kuvio 5. | Tuotantomuodot (Arnold, Chapman & Clive 2012, 3)..... | 18 |
| Kuvio 6. | Työntö- ja imuohjaus (Haverila ym. 2009, 423)..... | 20 |
| Kuvio 7. | Kanban imuohjausjärjestelmä (Marek ym. 2001, luku 2.)..... | 25 |
| Kuvio 8. | CONWIP toimintaperiaate (Marek ym. 2001)..... | 28 |
| Kuvio 9. | Kohdeyrityksen layout (mukaillen Hydroline Oy) | 32 |
| Kuvio 10. | Putkivarsituotannon pääkäytävä kokoonpanoa päin | 33 |
| Kuvio 11. | Kuljetusvaunu..... | 33 |
| Kuvio 12. | Odottavien kuljetusvaunujen määrä ennen kokoonpanoa | 34 |
| Kuvio 13. | Putkivarsituotannon pääkäytävä | 35 |
| Kuvio 14. | Kuljetusvaunujen rivipaikat ja käytävät | 36 |
| Kuvio 15. | Kahden kuljetusvaunun levyiset rivit ja käytäväpaikka | 37 |
| Kuvio 16. | Decawave MDEK1001 Evaluation and Development Kit | 38 |
| Kuvio 17. | Raspberry Pi 3 model B yhdistettynä DWM1001-DEV piirilevyyn | 39 |
| Kuvio 18. | Yhteystekniikat laitteiden välillä (Decawave) | 39 |

| | |
|--|----|
| Kuvio 19. Punaisella teipillä merkattu ja nimetty tagi | 40 |
|--|----|

Lyhenteet

| | |
|--------|---|
| CONWIP | engl. Constant Work In Progress, Jatkuva keskeneräinen tuotanto, imuohjautuva tuotannonohjausjärjestelmä |
| JIT | engl. Just-In-Time, tuotannossa käytettävä filosofia, jonka tarkoituksena on tehdä asioita oikeaan aikaan oikeaan tarpeeseen. |
| MRP | engl. Material Requirements Planning, materiaalinhallintajärjestelmä |
| RTLS | engl. Real-Time Locating System, järjestelmä, jota käytetään kohteen tai henkilön sijainnin automaattiseen tunnistamiseen ja seuraamiseen reaaliajassa, yleensä rakennuksessa tai rajatulla alueella. |
| UWB | engl. Ultra-wideband, Radioteknologia, joka voi käyttää hyvin alhaista energiatasoa lyhyen kantaman ja suuren kaistanleveyden viestintään suuressa osassa radiotaajuuksia. |
| WIP | engl. Work In Progress, keskeneräinen tuotanto (KET) |

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty Hydroline Oy:n tuotantolaitoksella Siilinjärven Vuorelassa. Hydroline suunnittelee ja valmistaa korkealaatuisia hydraulisylintereitä autoteollisuuteen, metsäkoneisiin, traktoreihin, nosto- ja kuljetusalalle sekä maarakenneteollisuuteen. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja etsiä parannuskeinoja sylinteriputkien ja -varsien tuotannon ja kokoonpanon välillä olevan ongelman ratkaisemiseen. Vaiheiden välille on havaittu syntyvän pullonkaula, joka siis tulisi poistaa tai minimoida sen aiheuttamat ongelmat. Lisäksi tavoitteena on parantaa järjestystä ja selkeyttä työvaiheiden välillä. Näiden lisäksi tutkitaan miten mahdollisesta tuotannon reaaliaikaisesta seurantajärjestelmästä olisi apua tuotannon parantamisessa. Työ aloitettiin tutkimalla ja kartoittamalla sylinterinputkien ja -varsien tuotannon tilannetta haastattelemalla tuotannon työntekijöitä ja heidän esimiehiään. Heidän avullaan saatiin kartoitettua tilannetta, joista saatiin ideoita, kuinka sylinteriputkien ja -varsien tuotannon loppupäähän syntynyttä pullonkaulaa ja alueen sekavuutta voitaisiin lähteä selkeyttämään ja sitä kautta parantamaan kokonaisuutta tuotannon järjestelyjen osalta.

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Kohdeyrityksen hydrauliputkien ja -varsien tuotannon ja kokoonpanon välille syntyy pullonkaula ja alueelle muodostuu paljon keskeneräistä tuotantoa ns. välivarastoksi. Työpisteiden ja -alueiden yleinen sekavuus on haitallista tuotannon tehokkuudelle sekä hankaloittaa sen alueen keräilijöiden työtehtäviä. Putkivarsituotannolla tarkoitetaan tässä yhteydessä hydraulisylinteriputkien ja -varsien hitsaamista ja sorvaamista. Putkivarsituotannossa sylintereidenputkien ja -varsien liikuttaminen työpisteiden välillä tapahtuu niille soveltuvilla kuljetusvaunuilla. Sylinteriputkien ja -varsien kuljetusvaunut vievät paljon lattiapinta-alaa putkivarsituotannon loppupäästä, mikä hankaloittaa alueella kulkemista sekä sen alueen keräilijöiden työtehtäviä. Kokoonpanoon pääsyä odottavat kuljetusvaunut eivät vapaudu tarpeeksi nopeasti tuotannon alkupäähän, jossa niitä tarvittaisiin uutta tuotantokiertoa varten. Edellä mainittujen tehtävien lisäksi työalueella testataan Ultrawideband-teknologiaa käyttävää Decawave-seurantajärjestelmän kehityspakettia (MDEK1001 Evaluation and Development kit).

1.2 Hydroline Oy

Hydroline Oy on 1962 perustettu hydraulisyntereitä valmistava perheyritys. Hydroline suunnittelee ja valmistaa kestäviä, raskaaseen käyttöön tarkoitettuja hydraulisyntereitä sekä tarjoaa elinkaarihuoltoja tuotteilleen. Hydroline on korkeatasoinen toimija ja edelläkävijä hydrauliiikka teollisuudessa Suomessa ja yksi moderneimmista toimijoista Euroopassa ja maailmanlaajuisesti. Hydrolinella on yli 50-vuoden kokemus alalta ja on todella sitoutunut asiakkaidensa tarpeisiin. Hydrolinen visiona on kasvaa ja laajentaa liiketoimintaansa edemmäksi globaaleille markkinoille. Hydrolinella on tuotantolaitoksia Siilinjärven Vuorelassa ja Stargardissa Puolassa. Tuotanto Puolassa alkoi vuonna 2014. Hydrolinen asiakkaita ovat maailman johtavia kone- ja laitevalmistajia, kuten Epiroc, John Deere, Cargotec, Agco, Valtra, Ponsse ja Bronto Skylift. (Hydroline Oy 2019)

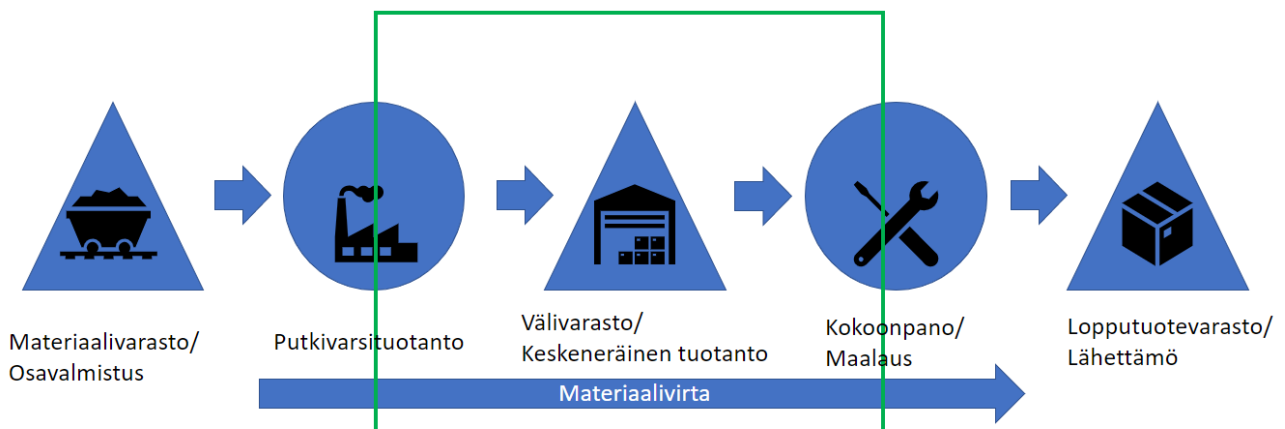
Hydrolinen ydinarvot ohjaavat sen toimintaa vahvasti. Arvoihin kuuluvat sitoutuminen, kestävä kehitys, vuorovaikutus ja ihmiset. Kaikilta Hydroline Oy:n työntekijöiltä odotetaan lakia noudattavaa ja tinkimätöntä ammattitaitoa sekä eettisesti oikein käyttäytymistä. Jokaisen, joka haluaa harjoittaa liiketoimintaa Hydrolinen kanssa on jaettava ja noudatettava Hydrolinen eettisten ohjeistuksen periaatteet voidakseen ryhtyä toimiin kohti toimivaa ja luotettavaa yhteistyösuhdetta. Kaikkien noudattamalla eettisen ohjeistuksen sääntöjä voidaan varmistaa yhdessä, että suora ja epäsuora liiketoiminta yhteistyökumppaneiden kanssa on eettisellä ja kestäväällä pohjalla (Hydroline Oy). Hydroline Oy:n liikevaihto oli vuonna 2019 42,0 miljoonaa euroa. Hydroline Oy:n konserni työllistää yli 300 työntekijää Suomessa ja Puolassa. (Finder 2019; Taloussanommat)

2 Katsaus tutkimusmenetelmiin

Tässä luvussa kuvataan, minkälaisia tutkimuksellisia valintoja on tehty. Luvun avulla selvennetään myös työn rajaukset sekä tutkimuskysymykset. Luvussa 2.1 käsitellään työn rajaukset ja tutkimuskysymykset. Tutkimukseen liittyvä teoriakatsaus esitellään luvussa 2.2.

2.1 Työn rajaukset ja tutkimuskysymykset

Tutkimus on rajattu koskemaan vain kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välistä aluetta. Ulkopuolelle tutkimuksesta jää tuotannon alkupään raaka-ainevarastot sekä tuotannon loppupuolen lopputuotevarasto ja lähettämö.



Kuvio 1. Työn rajaus

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välistä aluetta voidaan järjestellä tehokkaammaksi ja selkeämmäksi?
2. Kuinka saadaan vähennettyä kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välille syntyvää pullonkaulaa?
3. Onko sylintereiden putkia- ja varsia kuljettavien vaunujen reaaliaikaisesta seurannasta hyötyä?

2.2 Katsaus tutkimusmenetelmiin

Tämä tutkimus on luonteeltaan tapaustutkimus, jossa on käytetty kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimusmenetelmiä. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tavoitellaan kohteen tutkimista mahdollisimman laaja-alaisesti. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 134). Usein monet laadulliset tutkimukset ovat samankaltaisia tapaustutkimuksen kanssa, koska siinä tutkittava asia on esimerkki tai näyte jostakin laajemmasta ilmiöstä tai asiasta. Tutkimuksen kohteena on usein jokin organisaatio, esimerkiksi työpaikka, yritys oppilaitos, projekti tai jokin muu ryhmä. (Vuori 2006.) Tapaustutkimuksen tyypillisimpiä piirteitä on yksittäisen tapauksen, tilanteen tai tapausjoukon valitseminen, jonka kohteena on yksilö ryhmä tai yhteisö sekä kiinnostuksen kohteina ovat usein prosessit. Aineiston keräys metodeina käytetään vapaata havainnointia, haastatteluita ja dokumenttien tutkimista. Tutkimuksen tyypillisin tavoite on ilmiöiden kuvailu. (Hirsjärvi ym. 2009, 135.)

Tapaustutkimuksen tutkimusasetelma pystytään rakentamaan yhden tai useamman tapauksen varaan. Kun tutkimukseen valitaan kohteeksi useampi tapaus, jotka eroavat toisistaan tutkimuksen kannalta oleellisen tekijän suhteen. Tässä tapauksessa vertaillaan tutkimuksen aluksi kartoitettua tilannetta, jota verrataan muutoksia tehtyyn tilanteeseen. Tutkittavaa tilannetta analysoidaan kahdena eri ajankohtana, joita erottaa olennainen tapahtuma, joka saa aikaan muutoksen. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006, luku 5.5.)

Tapaustutkimuksella tavoitellaan mahdollisimman monipuolista kuvaa tapauksesta tutustumalla siihen kokonaisvaltaisesti. Tapaustutkimuksessa kootaan yhteen monia aineistoja, esimerkiksi haastatteluja, havainnointeja, tilastoja, tapauksesta kertovia asiakirjoja sekä valokuvia. Tapaustutkimuksessa ei tavoitella laajoja yleistyksiä, vaan nojataan siihen, että se antaa tarkan sekä havainnollistavan kuvauksen tutkittavasta kohteesta antaa mahdollisuuden oppia ilmiöstä jotain uutta sekä soveltaa saatua tietoa muissa yhteyksissä. Tapaustutkimuksessa tutkimustapaus yhdistetään kiinteästi kontekstiinsa eli siihen aikaan ja paikkaan, johon tapaus sijoittuu. Tapaustutkimuksessa henkilöstön ja johdon haastattelut, kohdeyrityksessä tehdyt kyselyt ja yritystä koskevat asiakirjat, mahdolliset tutkijan ottamat valokuvat ja videot ja tutkijan havainnointipäiväkirja ovat kaikki tapauksen kuvaavaa aineistoa, joita tutkija käyttää tutkimusta tehdessään. (Vuori 2006.)

Tutkimushaastattelulla tuotetaan tietoa ja aineistoa tutkimusongelmaan vastaamiseksi. Tutkimuskysymyksiä ei kysytä sellaisinaan haastateltavilta, vaan tutkimuskysymyksiin vastaaminen on tutkimuksen tekijän tehtävänä ja juuri tämän takia tutkimuksen tekijä kerää haastatteluja. (Hyvärinen, Suoninen & Vuori 2006.) Avoimessa haastattelussa keskustelu ei ole sidottu tiukkaan formaattiin. Haastatteluissa on tarkoitus puhua tutkijan etukäteen pohtimista tietyistä asioista ja teemoista. Tarkkojen kysymysten sijasta avoimessa haastattelussa edetään mahdollisimman keskustelunomaisesti ja luonnollisesti, jossa annetaan haastateltavan tuntemuksille, kokemuksille, perusteluille ja mielipiteille tilaa. Haastattelijan kysymyksiin ei yritetä antaa vastauksia valmiiksi, vaan haastateltavan henkilön annetaan puhua asiasta, sillä tavalla, kuin hän itse haluaa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006, luku 6.3.)

3 Hydrauliikka ja hydraulisyylinteri

Hydrauliikkaa ja hydraulisyylintereitä käytetään laajalti esimerkiksi ajoneuvojen jarruissa, kodinkoneissa, työkoneissa ja huvipuistojen laitteissa. Hydrauliikkatuotteiden tuotanto on työn keskiössä, joten on perusteltua kuvata sen perusteita tässä yhteydessä.

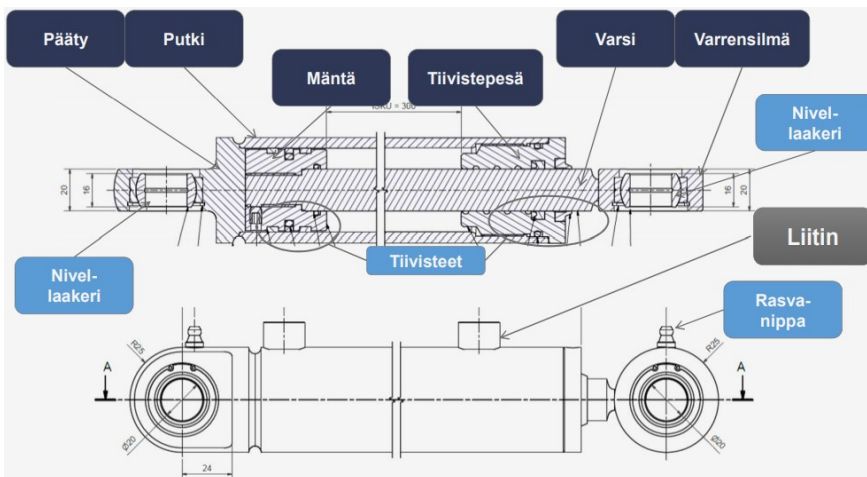
3.1 Hydraulitekniikan perusteet

Hydrauliset tehonsiirtojärjestelmät muuttavat mekaanisesti tuotetun energian hydrauliseksi tehoksi, eli mekaaninen teho siirtyy hydrauliseksi paineeksi ja tilavuusvirraksi. Mekaaninen energia tuotetaan yleensä sähkö- tai polttomoottorilla. Työkohteen laitteisto muuttaa hydraulisen energian takaisin mekaaniseksi energiaksi. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 97.)

Hydrauliikkaa käytetään teollisuuden ja liikkuvan kaluston koneissa ja laitteissa. Teollisuuden puristimet, valssit ja työstökoneiden työliikkeet ovat yleensä hydrauliikalla toimivia. Liikkuvan kaluston maatalouskoneet, kaivurit ja erityyppiset nostimet ovat hydraulisia. Muita yleisiä hydrauliikalla toimivia laitteita on esimerkiksi, nestejarrujärjestelmät, ohjaustehostimet, konttien käsittelylaitteet, kuormausnosturit ja takalaitanostimet (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 98; Lehikoinen 2019, 15.)

3.2 Hydraulisyylinterin rakenne

Sylinterin pääosat ovat sylinteriputki, etu- ja takapäätty, mäntä ja männänvarsi. Männässä on tiivisteet samoin männänvarren ja etupäädyn välissä. Tiivisteiden tarkoitus on vuotojen estäminen suuremman paineen puolelta pienemmän paineen puolelle. Sylinterien rakenteet määritellä sen mukaan, kuinka sylinterin päädty on kiinnitetty sylinteriputkeen. Tavallisimmat kiinnitystavat ovat hitsaus, sidepultit tai kierrekiinnitys päädyn ja putken välillä. Muitakin tapoja on olemassa varsinkin suurissa sylintereissä. Näitä ovat ruuvikiinnitys sylinterinputken päällä olevaan renkaaseen tai ruuvikiinnitys paksuseinämäiseen sylinterien päähän. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 207.)



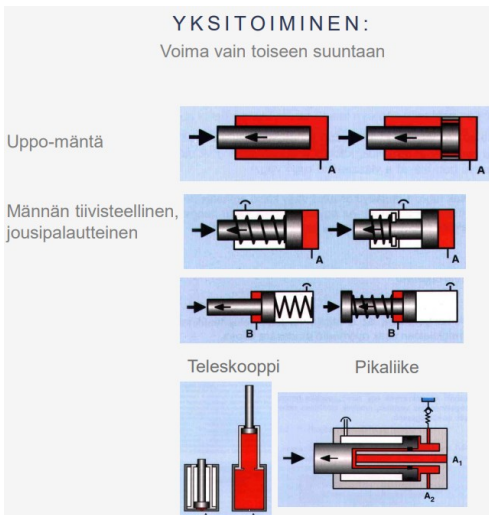
Kuvio 2. Sylinterin rakenne (Hydroline Oy, koulutusmateriaali)

Hydraulisyylinterien on oltava rakenteeltaan ja paineenkestoltaan huomattavasti kestävämpiä kuin pneumatiikkasyylinterien. Kun pneumatiikkajärjestelmän paine on 0,7–1.0 MPa, niin hydraulijärjestelmissä sylinterille tuotavat paineet ovat 10–30 MPa, mahdollisesti jopa suurempiakin. Myös kuorman kiihdytysten ja jarrutusten aiheuttamat voimat on otettava huomioon, sillä ne voivat nostaa paineen hetkellisesti vielä huomattavasti suuremmaksi. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 208.)

Hitsaamalla kokoonpannun sylinterin etuna on sen lyhyt kokonaispituus iskupituuteen verrattuna. Jos sylinterin molemmat päät on koottu hitsaamalla ei sen tiivisteitä voi vaihtaa ja sylinteri on silloin kertakäyttöinen. Normaalisti sylinterin etupääty tehdään kuitenkin purettavaksi, jolloin männänvarren tiivisteet voidaan vaihtaa. Etupääty kiinnitetään tällöin tavallisesti kierrekiinnityksellä. Hitsatuissa sylintereissä ei tavallisesti ole päätyvaimennusta. Kokonaan hitsattua rakennetta käytetään suurissa sarjoissa valmistettaville sylintereille. Näin saadaan valmistettua halpoja sylintereitä, joita voidaan käyttää kohteissa, joissa käyttö on vähäistä eikä tiivisteiden vaihtoa tarvitse suorittaa. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 209.)

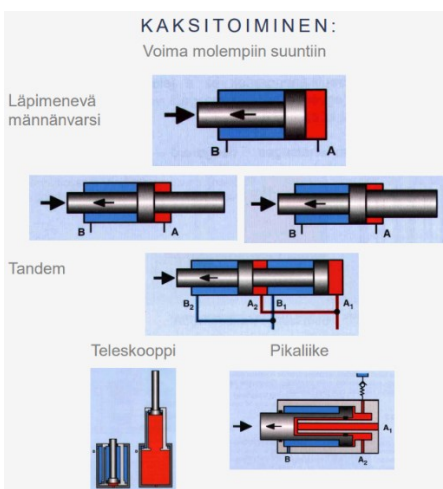
3.3 Sylinterityypit

Sylinterien tuottama teho on mekaanista, edestakaista suoraviivaista liikettä. Toimintansa mukaan sylinterit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, yksi- ja kaksitoimisiin sylintereihin. Yksitoimiset sylinterit (Kuvio 3.) toimivat hydraulisesti vain yhteen suuntaan. Toinen eli paluuliike tapahtuu ulkoisen kuorman tai jousen avulla.



Kuvio 3. Yksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, koulutusmateriaali)

Kaksitoimisissa sylintereissä (Kuvio 4.) molemmat liikesuunnat tapahtuvat hydraulisesti, jolloin työliike voi olla kaksisuuntainen. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 207.)



Kuvio 4. Kaksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, koulutusmateriaali)

4 Tuotannonohjaamisen periaatteet

Tuotantoprosessia pidetään valmistavan yrityksen yhtenä keskeisimmistä toiminnoista. Toiminnan johtamisen merkittävimmät päätökset ja suurimmat ongelmat liittyvät usein tuotantoprosessien hallintaan ja kehittämiseen. Tuotanto on yrityksen keskeinen toiminto, jossa muutetaan tuotantokijät markkinoille tarjottavaksi hyödykkeiksi. Teollisessa tuotannossa pyritään korkeaan tuotavuuteen pitkälle viedyllä tehtävänjaolla, erikoistumisella ja tehokkailla valmistusmenetelmillä. Tuotanto on perinteisesti ymmärretty ja määritelty valmistuslähtöisesti. Valmistuksen ja tuotannon käsite on muuttunut samaa asiaa tarkoittaviksi termeiksi, koska valmistus on yksi yrityksen tärkeimmistä toiminnoista ja keskeinen osa tuotantoa. Tuotannon määritelmää käytetään nykyisin yleisesti laajemmassa muodossa. Tuotannon määritelmällä käsitetään yrityksen kaikkia toimintoja, joita tarvitaan palvelun tai tuotteen aikaansaamisessa. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 350–351)

Tuotannon yksi keskeisimpiä tavoitteita on kustannustehokkuus. Tuotannon kokonaiskustannukset tavoitellaan minimoimaan resurssien tehokkaalla käytöllä sekä pitämällä toimintaan sitoutuneen pääoman määrä mahdollisimman pienenä. Suuri osa kustannustehokkuudesta riippuu materiaalihankintojen alhaisista hinnoista. Materiaalikustannukset ovat monesti työ- ja pääomakustannuksia suuremmat. Kustannustehokkuus, jota pienentyneisiin yksikkökustannuksiin, jolloin yritys on kannattavampi ja sen hintakilpailukyky on parempi. (Haverila ym. 2009, 357.)

Tuotannolle asetettavat aikavaatimukset näkyvät kahtiajakoisesti. Toimitusnopeuden kehittäminen edellyttää nopeata tilaus-toimintaprosessia. Nopeus on yksi tärkeimmistä asioista asiakasohjautuvassa tuotannossa, jossa tuote valmistetaan asiakkaan tilauksen perusteella. Yrityksissä pyritään lyhentämään tuotantoprosessin läpäisyäikää, koska kokemuksien avulla on havaittu, että läpäisyajan lyhentäminen tehostaa prosesseja, parantaa toiminnan laatua sekä pienentää kustannuksia. (Haverila ym. 2009, 357.)

4.1 Tuotantomuodot

Toimittajan näkökulmasta läpimenoaika on aika tilauksen vastaanottamisesta tuotteen toimitukseen. Asiakkaan näkökulmasta se voi sisältää myös aikaa tilauksen valmisteluun ja välittämiseen. Tyypillisesti asiakkaan haluavat toimitusajan olevan mahdollisimman lyhyt ja (valmistuksen) on

suunniteltava strategiansa tämän saavuttamiseksi. Perusstrategioita esitetään kirjallisuudessa olevan yhteensä neljä: tilauksesta suunnittelu (ETO eli Engineer to Order), tilauksesta valmistus (MTO eli Make to Order), tilauksesta kokoonpano (ATO eli Assemble to Order) ja varasto-ohjautuva tuotanto (MTS eli Make to Stock). (Arnold, Chapman & Clive 2012, 3.)

4.1.1 Tilauksesta suunnittelu (ETO, Engineer to Order)

Tilauksesta suunnittelulla (ETO) tarkoitetaan, että asiakkaan tekniset tiedot edellyttävät ainutlaatuista suunnittelua tai merkittävää mukauttamista. Yleensä asiakas on mukana jo tuotteen suunnitteluprosessissa. Tuotannon on myös mahdollista toimia ilman materiaalivarastoja tai pienillä materiaalivarastoilla ja hankkia tarvittavat materiaalit asiakastilauksen mukaan (Logistiikanmaailma n.d). Toimituksen läpimenoaika on tavanomaisesti pitkä, koska se sisältää ostojen läpimenoajan lisäksi myös suunnittelun läpimenoajan. (Arnold, Chapman & Clive 2012, 3.)

4.1.2 Tilauksesta valmistus (MTO, Make to Order)

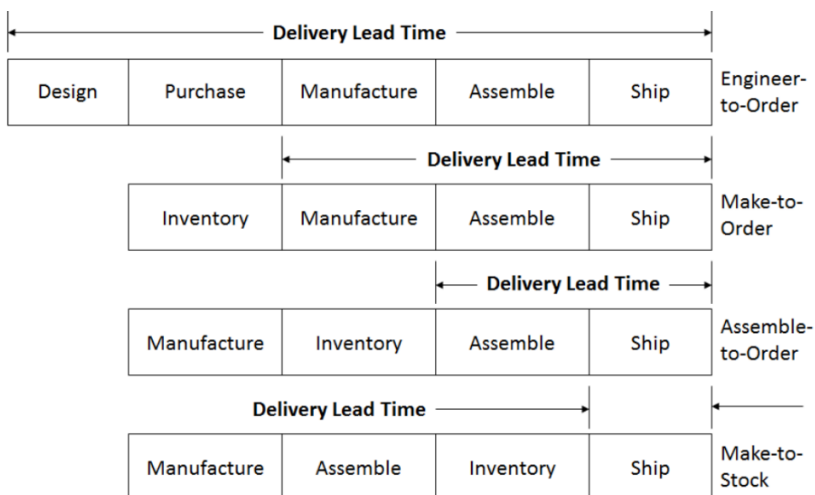
Tilauksesta valmistuksella (MTO) tarkoitetaan, että valmistus ei aloita tuotteen tekemistä ennen kuin asiakkaan tilaus on vastaanotettu. Lopputuote on tyypillisesti valmistettu vakio-osista, mutta se voi sisältää myös räätälöityjä komponentteja. Verrattuna ETO-maliin toimituksen läpimenoaika lyhenee, koska suunnittelu-aikaa tarvitaan vähemmän. Lopputuotevarastoa ei välttämättä ole, vaan tuotannon varastot ovat keskeneräistä tuotantoa (KET), komponentteja, materiaaleja ja osia. (Logistiikanmaailma n.d; Arnold, Chapman & Clive 2012, 3.)

4.1.3 Tilauksesta kokoonpano (ATO, Assembly to Order)

Tilauksesta kokoonpanolla (ATO) tarkoitetaan, että tuote on valmistettu vakiokomponenteista, jonka valmistaja voi aloittaa välivarastoiduilla puolivalmisteilla ja koota tuotteen asiakastilauksen mukaisesti. Tuotteen rakenne on tällöin yleensä modulaarinen. Toimituksen läpimenoaika lyhenee aiemmin esitettyihin malleihin verrattuna entisestään, koska tuotteen suunnittelu-aikaa ei tarvita ja osavarastoa pidetään valmiina kokoonpanoa varten. Asiakkaan osallistuminen tuotteen suunnitteluun rajoittuu tarvittavien komponenttiosavaihtoehtojen valintaan. (Arnold, Chapman & Clive 2012, 3.)

4.1.4 Varasto-ohjautuva tuotanto (MTS, Make to Stock)

Varasto-ohjautuvalla tuotannolla (MTS) tarkoitetaan, että toimittaja valmistaa tuotteet kysyntäennusteiden mukaan varastoon ja tilaukset toimitetaan asiakkaalle lopputuotevarastosta (Logistiikanmaailma n.d.). Toimituksen läpimenoaika on lyhyin yllä olevista tuotantomuodoista. Asiakas voi osallistua tähän tuotantomuotoon ainoastaan tuotesuunnittelun kautta (Arnold, Chapman & Clive 2012, 3).



Kuvio 5. Tuotantomuodot (Arnold, Chapman & Clive 2012, 3)

4.2 Lean

Lean Production -käsite syntyi International Motor Vehicle Program (IMVP) tutkimusohjelman tuloksena. Tutkimus analysoi globaalien autoteollisuuden tehokkuutta ja toimintamalleja. Yksi keskeisimmistä havainnoista oli, kuinka japanilaisten toimintaperiaatteiden mukaisesti organisoitu tuotanto oli tuottavampaa, laadukkaampaa ja tarjoaa myös asiakkailleen runsaammin malli ja varustevaihtoehtoja. Uusien matmallien suunnittelu oli nopeampaa, kuten myös uusien teknologioiden käyttöönotto. Lean Production -käsitettä voidaan pitää alkuperäistä JIT-tuotantoa laajempina (Haverila ym. 2009, 362.)

Toyotan tuotantojärjestelmällä (TPS, Toyota Production System), joka perustuu filosofiaan kaiken hukan täydellisestä poistamisesta tehokkaampien menetelmien tavoittelussa. TPS on kehittynyt monien vuosien kokeilujen ja virheiden avulla parantamaan tehokkuutta Just-in-Time-konseptin

pohjalta, jonka on kehittänyt Toyota Motor Corporationin perustaja (ja toinen presidentti) Kiichiro Toyoda. (Toyota n.d.)

JIT-tuotannon alkutaipaleella kilpailukyky perustui ylivoimaiseen hintalaatusuhteeseen. 1980-luvulla japanilaiset yritykset lisäsivät suuresti tuotemallien ja -variaatioiden lukumäärää. Uusien tuotteiden kehittämistä nopeutettiin, samoin kuin uusiempien teknologioiden käyttöönottoa. Tuotannon monimutkaisuuden ja vaikeustason kasvusta huolimatta kustannustehokkuus ja laatutaso säilyivät edelleen hyvinä. IMVP-tutkimuksessa kuvataan japanilaisia toimintamalleja huomattavasti laajemmin kuin aikaisemmissa valmistukseen keskittyneissä tutkimuksissa. Lean Production -käsitettä voisi luonnehtia ”japanilaiseksi johtamisperiaatteeksi” jonka ydin on tehokas JIT-tuotanto. (Haverila ym. 2009, 362.)

4.3 Lean-ajattelu

Lean tuotanto on periaatteensa mukaisesti systemaattinen kehys valmistusjärjestelmän tai arvovirran jätteiden poistamiseen tuottavuudesta tinkimättä. Arvovirta käsittää kaiken toiminnan ja tietovirrat, joita on raaka-aineen toimittajan ja asiakkaan hallussapidon välillä. Leanissa on kyse siitä, että organisaation kaikilla tasoilla ihmiset voivat tunnistaa ja poistaa hukkaa, jotta asiakkaille toimitettavaa arvoa voidaan jatkuvasti kasvattaa. Lean ajattelu ja kulttuuri tuo lisäarvoa ja pyrkii minimoimaan arvoa vähentävää toimintaa. Yksinkertaisesti sanottuna lean tuotannon tavoitteena on luoda asiakkaille enemmän arvoa ja samalla vähentää kaikkea turhaa, josta ei synny lisäarvoa asiakkaalle. (Tulip n.d.)

Lean tuotannossa hukaksi määritellään siis kaikki, mikä ei tuo lisäarvoa tuotteelle. Lisäarvoksi puolestaan määritellään kaikki mistä asiakas olisi valmis maksamaan. Näin ollen, tuotannossa hukkaa on siis kaikki kustannukset, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaalle.

TPS:n kehittäjä Taiichi Ohno määritteli kahdeksan hukkaa Lean tuotannossa, jotka eivät johda lisäarvon tuottamiseen loppuasiakkaalle:

- Ylituotanto
- Varastot
- Odottaminen ja etsiminen
- Siirtymiset

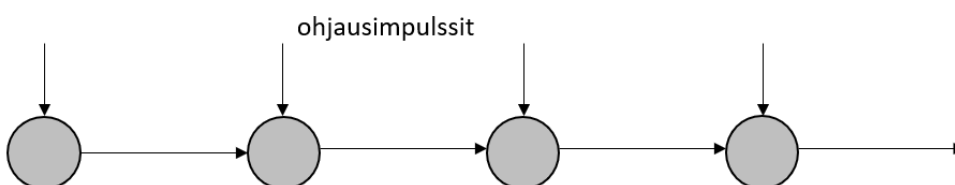
- Siirrot ja käsittelyt
- Korjaustyö
- Turhatyö
- Ihmisten aivokapasiteetin ja osaamisen käyttämättä jättäminen

(Tulip n.d.)

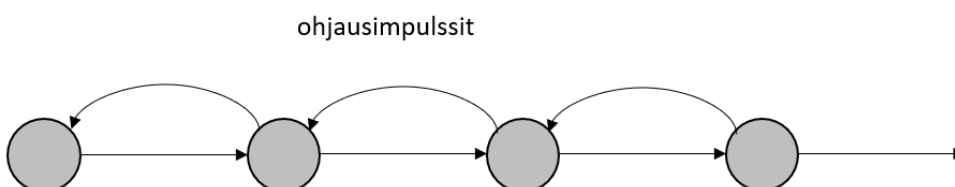
4.4 Imuohjaus

Imuohjausperiaatteesta on olemassa monia eri sovelluksia. Imuohjausperiaatetta käytetään toimittajien ja omien osavalmistussosastojen ohjauksessa. Työntöohjausperiaatteella toimivissa tehtaissa voidaan käyttää imuohjausta esimerkiksi vakio-osakokoonpanojen ja -osien ohjauksessa. Työntöohjauksella suunnitellaan koko tilauksen aikataulu sekä tilauskohtaiset valmistustehtävät. On myös mahdollista ohjata kokoonpanon vakio-osien valmistusta imuohjaustekniikalla. Imuohjauksen yleinen käytön syy on usein sen toimintavarmuus. Materiaalikirjanpidossa tapahtuvat virheet tai valmistuksessa tapahtuvat ongelmat eivät häiritse imuohjausjärjestelmää. (Haverila ym. 2009, 423.)

Työntöohjaus



Imuohjaus



Kuvio 6. Työntö- ja imuohjaus (Haverila ym. 2009, 423)

Imuohjauksen toiminta alkaa asiakkaan tilauksesta. Tämän strategian avulla yritykset tekevät vain tarpeeksi tuotetta asiakkaan tilausten täyttämiseen. Yksi järjestelmän eduista on se, että varastoitavaa varastoa ei ole liikaa, mikä vähentää varastotasoa sekä tavaroiden kuljetus- ja varastointikustannuksia. (Hunt 2019.)

Imuohjauksen tarkoituksena on täydentää eli valmistaa yksi kappale lisää sitä, joka juuri käytettiin. Tällä toimintaperiaatteella parannetaan todennäköisyyttä siitä, että myös seuraava asiakastilaus saadaan nopeasti valmiiksi. Yksi tärkeimpiä asioita on, ettei yhtään kappaletta hukata tai oikean kappaleen etsimiseen mene turhaa aikaa. Toinen tärkeä asia on, ettei kokoonpanijoita tai koneenkäyttäjiä pakoteta valmistamaan sellaisia kappaleita, joita ei tarvita vielä pitkään aikaan. (Peltonen 1997, 62.)

Yksi Lean-ajattelun ja yleisesti tehokkaan tuotannon periaatteita on tasainen, ohut sekä tarkoituksen mukainen materiaalivirta, jota ohjaa kysyntä eli asiakkaiden tarve. Materiaalivirran kehittämisessä imuohjaus on tärkeä periaate. (Logistiikanmaailma n.d.) JIT- järjestelmän tavoitteena on pitää varastotasot mahdollisimman pieninä, koska varastoa on vain riittävästi, ei enemmän tai vähemmän asiakkaiden kysyntään. JIT- järjestelmä poistaa hukan vähentämällä varastointiin tarvittavaa varastotilaa ja tavaroiden varastointikustannuksia. (Hunt 2019.)

Imuohjauksen perusajatus on, että varastot aiheuttavat kustannuksia ja jättävät pimentoon prosessien ongelmia, joten varastoja tulisi pitää mahdollisimman vähäisinä. Lean-ajattelun mukaan imuohjauksella tarkoitetaan tuotannonohjausmenetelmää, jonka toiminta perustuu asiakastarpeen tahtiin ja jossa varastojen ja keskeneräisen tuotannon määrää rajoitetaan. Puolivalmisteita ja tuotteita valmistetaan ja siirretään eteenpäin vain silloin, kun on niille tarvetta, eli ketjun seuraava vaihe pyytää sitä. Ketjun seuraava vaihe on asiakas, jonka tarve ohjaa aina edellistä vaihetta. (Logistiikanmaailma n.d.)

Imuohjauksen käyttöönotto on helpointa toteuttaa sellaisissa materiaalivirroissa tai niiden osissa, joissa täydennykset ovat nopeita ja tarve tasaista. Imuohjaus voi mahdollisesti olla haasteellisempaa tilanteissa, joissa kysynnän määrät vaihtelevat paljon tai täydennysajoissa kestää pitkään tai ne ovat vaihtelevia (Logistiikanmaailma n.d.). Yksi imuohjausjärjestelmän suurin haittapuoli on se, että yritys törmää todennäköisesti tilausongelmissa siihen, että toimittaja ei saa lähetystä ajoissa.

Tämä jättää yrityksen kykenemättömäksi täyttämään tilausta ja lisää asiakkaiden tyytymättömyyttä. (Hunt 2019.)

4.5 Työntöohjaus

Työntöohjauksella tarkoitetaan erillisen suunnittelijan tai suunnitteluorganisaation tekemää valmistussuunnitelmaa. Suunnitelman avulla ohjataan ja koordinoidaan eri valmistustehtäviä ja ”työnnetään” tuotantoerä tuotannon läpi. Työntöohjaus on yleisin ohjausmenetelmä ja soveltuu melkein kaikkiin tuotantomuotoihin. (Haverila ym. 2009, 422.)

Työntöohjauksella toimitusketjun tuotteet työnnetään linjaston läpi tuotannosta jälleenmyyjille. Tämä tarkoittaa, että tuotanto tapahtuu kysyntäennusteen perusteella. Työntöohjausjärjestelmää käyttävä yritys ennustaa kysynnän ja käyttää tuotannonohjausjärjestelmää tuotteiden valmistukseen etukäteen. Tämä ennuste ei välttämättä ole aina tarkka ja edellyttää suurempia varastomääriä, mutta se on kuitenkin hyödyllinen strategia tuotteille, joilla on yleensä paljon keskeneräistä tuotantoa tai pitkät läpimenoajat. Työntöohjaus on erityisen hyödyllinen tuotteille, joiden kysyntä on vähäistä tai joilla on suuri merkitys kustannusten vähentämisessä. (Tulip. n.d.)

Työntöohjausjärjestelmään kuuluu varastotarpeiden ennustaminen vastaamaan asiakkaiden kysyntää. Yritysten on ennakoitava, mitä tuotteita asiakkaat ostavat, sekä määrittää ostettava tavaramäärä. Yhtiö puolestaan tuottaa riittävästi tuotetta vastatakseen ennustettuun kysyntään. Esimerkki työntöohjausjärjestelmästä on MRP (Material Requirements Planning) eli materiaalivaatimusten suunnittelu. MRP yhdistää talous-, toiminta- ja logistiikkasuunnittelun laskelmat. MRP on tietokonepohjainen tietojärjestelmä, joka ohjaa aikataulutusta ja järjestystä. MRP:n tarkoituksena on varmistaa, että tuotannossa tarvittavia raaka-aineita ja materiaaleja on saatavilla silloin, kun niitä tarvitaan. Työntöohjauksen haittapuolia on, että ennusteet ovat usein epätarkkoja, koska myynti voi olla arvaamatonta ja vaihdella vuodesta toiseen. Toinen ongelma työntöohjauksessa on se, jos varastoon jää liikaa tuotteita. Tämä lisää yrityksen varastointikustannuksia. Työntöjärjestelmän etuna on, että yritys on melko varma, että sillä on riittävästi tuotetta asiakastilausten suorittamiseen, mikä estää kyvyttömyyden vastata tuotteen asiakaskysyntään. (Hunt 2019.)

4.6 Pullonkaula

Pullonkaula on tuotantojärjestelmän, esimerkiksi kokoonpanolinjan ruuhkautumiskohta, joka ilmenee, kun työkuormat saapuvat liian nopeasti tuotantoprosessin käsiteltäväksi. Pullonkaulan tuoma tehottomuus aiheuttaa usein viivästyksiä ja korkeampia tuotantokustannuksia. Termillä ”pullonkaula” viitataan pullon tyyppilliseen muotoon ja siihen, että pullon kaula on kapein kohta, joka on todennäköisin ruuhkien paikka, joka hidastaa tämän kohdan virtausta.

Pullonkaulalla voi olla merkittävä vaikutus valmistusvirtaan ja se voi lisätä voimakkaasti tuotantoaikaa sekä kustannuksia. Yritykset ovat enemmän vaarassa pullonkauloille aloittaessaan uuden tuotteen tuotantoprosessin. Tämä johtuu siitä, että prosessissa voi olla puutteita, jotka yrityksen on tunnistettava ja korjattava. (Barone 2020.)

4.7 Kapeikkoajattelu

Theory of Constraints (TOC) eli kapeikkoajattelu on menetelmä, jolla määritetään tärkein rajoittava tekijä (eli rajoite), joka on tavoitteen saavuttamisen tiellä. Tätä rajoitusta parannetaan järjestelmällisesti, kunnes se ei enää ole rajoittava tekijä. Teollisuudessa rajoitetta kutsutaan usein pullonkaulaksi (LeanProduction n.d). TOC:n luoja Eliyahu Goldratt määritteli teoriansa seuraavasti: ”Ajatteluprosessi, jonka avulla ihmiset voivat keksiä yksinkertaisia ratkaisuja monimutkaisiin ongelmiin.” (Eby 2017.)

Rattnerin mukaan TOC:n teoria on organisaation muutosmenetelmä, joka keskittyy tulosparannukseen. TOC:n olennainen käsite on, että jokaisella organisaatiolla on vähintään yksi rajoittava tekijä. Rajoite on mikä tahansa tekijä, joka rajoittaa organisaatiota saamasta enemmän mitä se pyrkii, mikä on yleensä voittoa. Tavoite keskittyy rajoituksiin valmistusorganisaation pullonkaulaprosesseina. On kuitenkin olemassa monia muita kuin valmistukseen liittyviä rajoitteita, kuten markkinakysyntä tai myyntiosaston kyky muuntaa markkinakysyntä tilauksiin. (Rattner 2006.)

TOC:n teoria on prosessinparannusmenetelmä, joka korostaa pullonkaulan tunnistamisen täsmennyistä. Hyödyntämällä tätä rajoitusta organisaatiot voivat saavuttaa taloudelliset tavoitteensa ja toimittaa tuotteet asiakkaille ajoissa, välttämällä välivarastojen muodostumista toimitusketjussa

sekä lyhentämällä läpimenoaika. TOC:n etuja ovat toiminnan parempi valvonta, vähemmän inventaarioita, ristiriitojen väheneminen sekä usein paljastuu lisäkapasiteettiä ilman lisäpääomainvestointeja tai lisätyöntekijöiden palkkaamista. Mikään ketju ei voi olla koskaan vahvempi kuin sen heikoin lenkki. Samoin jokaisella tuotantojärjestelmällä on oltava rajoite, joka rajoittaa sen tulosta. (TOCinstitute. n.d.)

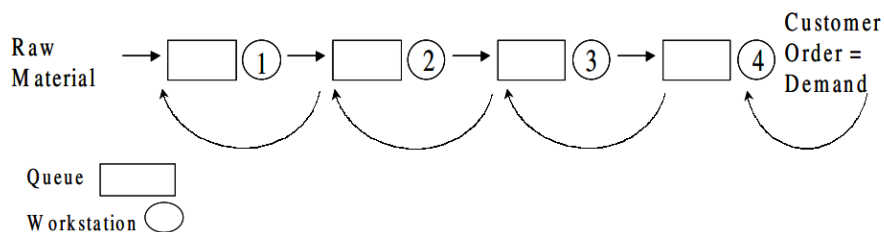
4.8 Kanban

Japanilaisten JIT-käytäntöihin (Just-In-Time) läheisemmin liittyvä yksittäinen tekniikka on Toyotan kehittämä imuohjausjärjestelmä, joka tunnetaan nimellä kanban (Hopp, W & Spearman, M. 2011 s. 168). Kanban, joka tarkoittaa ”korttia” japaniksi, ja on signaalimenetelmä, joka antaa luvan ja ohjeet esineiden tuotantoon imuohjausjärjestelmässä. Kanban visualisoi materiaalien ja tietojen kulkua järjestelmässä, yleisimmin kanban-korttien avulla (Tulip n.d). Kanban on sekä korttityyppi sekä korttien mukaan nimetty tuotannonohjausjärjestelmä. Kortteja on rajallinen määrä ja jokainen kortti edustaa tiettyä osatyyppiä ja tiettyä määrää (vähintään yksi). Kanban-järjestelmällä viitataan joskus Toyotan tuotantojärjestelmää (Just-in-Time tuotantojärjestelmä käyttää kanbanin imuohjausta). (Marek, Elkins & Smith 2001, luku 2.)

Kanbania käytetään noudon, valmistuksen tai suunnittelun tilauskorttina. Kanbanista saa tiedon kuka tilaa, mitä tilaa, keneltä tilaa sekä minne tavara kuljetetaan. Kanbanit ovat valmiita kortteja tai sähköisessä muodossa tietokoneella. Imuohjauksessa kanbanilla tarkoitetaan visuaalisessa muodossa tapahtuvaa tilausta edellisestä vaiheesta seuraavaan, jolloin tilauskorttia ei tarvita ol- lenkaan. (Peltonen 1997, 71.)

Kanban-kortit ovat tyypillinen imuohjauksen toteutustapa. Kanbanilla tarkoitetaan fyysistä ohjaus- korttia, jossa on määritelty ainakin nimike, täydennyserä ja täydennyksen sijainti. Kanbanin toi- minta perustuu siihen, kun esimerkiksi laatikko tyhjenee, siihen laatikkoon liittyvä kanban-kortti antaa signaalin täydennystilauksen tarpeesta. Kanban-kortteja kahta eri tyyppiä: tuotantokortit, joilla viestitään nimikkeen tuotantotarpeesta, ja siirtokortti, jolla viestitetään nimikkeen siirtämis- tarpeesta. Kanbania käytettävillä nimikkeillä kanban antaa luvan siirtää tai valmistaa tuotetta, tai ilman kanban nimikettä tuotetta ei saa valmistaa tai siirtää. Korttien määrällä voidaan määrittää keskeneräisen tuotannon ja varastomäärien yläraja sekä kortteja vähentämällä saadaan vähennet-

tyä keskeneräistä tuotantoa tai päinvastoin. Kanbaneiden avulla pystytään rajoittamaan puskurivarastojen ja keskeneräisen tuotannon määrää turvaten kuitenkin saatavuus. (Logistiikan maailma n.d.)



Kuvio 7. Kanban imuohjausjärjestelmä (Marek ym. 2001, luku 2.)

Kanban-järjestelmä käyttää korttisarjoja hallitakseen tiukasti keskeneräistä tuotantoa kunkin työasemaparin välillä. Järjestelmän keskeneräisen tuotannon kokonaismäärä on rajoitettu kuhunkin korttisarjaan määritettyjen korttien määrän yhteenvedoon. Tuotanto tapahtuu työpisteessä vain, jos raaka-ainetta on saatavilla ja materiaalilla on tuotannon salliva kortti. Materiaali vedetään järjestelmän läpi vain, kun se vastaanottaa kortin siirtoluvan. (Marek ym. 2001, luku 2.)

4.9 Keskeneräinen tuotanto (KET)

Keskeneräisellä tuotannolla (KET) tai Work-in-Progress (WIP) tarkoitetaan tuotannossa olevien tuotteiden ja osien määrää. Keskeneräistä tuotantoa syntyy yleensä, kun tuotteiden valmistuksessa on jonkinlaisia pullonkauloja, työvaiheiden kestot ovat pitkiä tai tuotteet joutuvat odottamaan seuraavaan työvaiheeseen pääsyä. Keskeneräinen tuotanto voi olla esimerkiksi tuotteita, jotka ovat tehtaan lattialla lavalla odottamassa seuraavaa työvaihetta. Tuotteiden valmistus on alkanut mutta sitä ei ole saatu vielä päätökseen eikä niitä voida luokitella varastoiduiksi tuotteiksi tai valmiiksi tuotteiksi. (Marek ym. 2001, luku 2)

Lean-ajattelun ytimessä on ylimääräisen keskeneräisen tuotannon poistaminen tuotannon toimitusketjusta. Keskeneräisellä tuotannolla viitataan keskeneräiseen tuotteeseen, joka ei pysty tarjoa-

maan sijoitetun pääoman tuottoa. Nykypäivän kovassa taloudessa liian suuri keskeneräinen tuotanto on vakava ongelma valmistajille, koska se sitoo pääomaa, jota voitaisiin käyttää tulojen tuottamiseen. (Phillips 2010.)

Vähäisempi KET tarkoittaa lyhyempiä varaston kiertoaikoja ja parempaa reagoitokykyä asiakkaiden kysynnän kanssa. Vähäisempi KET tarkoittaa myös tarvitaan pienempää puskuria häiriöiden varalle. Esimerkiksi, jos yhteen koneeseen tulee häiriö tai työntekijä ei tee sitä mitä tarvitaan niin tulos putoaa. Samoin, jos laatuongelmia ilmenee, tuotanto pysähtyy koska ei ole muuta työtä, johon prosessi voisi siirtyä. (Hopp & Spearman 2011, 165.)

Marek ym. (2001) mukaan valmistajat ovat löytäneet useita etuja keskeneräisen tuotannon hallinnasta. Rajallinen keskeneräisen tuotannon kapasiteetti rajoittaa järjestelmään pääsevän materiaalin määrää, jolloin tilaukset ovat paperilla eikä viemässä tilaa tuotannon lattialla. Tuotantojärjestelmissä on jonkin verran joustavuutta, joka menetetään, kun suuret määrät keskeneräistä tuotantoa on tukkimassa järjestelmää. Tilausten pitäminen paperilla, kunnes todellinen tuotanto tapahtuu, helpottaa aikataulu- ja suunnittelumuutosten suorittamista. Suunnittelumuutoksista johtuva tuotteiden romutus voi tulla kalliiksi erityisesti yritykselle, jolla on suuret määrät keskeneräistä tuotantoa. Keskeneräisen tuotannon valvomisella romutettavan tai uudelleen työstettävän materiaalin määrä vähenee ja näin taloudelliset menetykset pienenevät. (Marek ym. 2001, luku 3.)

KET-ohjauksen toinen etu on läpimenoajan vaihtelun väheneminen. Työntöjärjestelmät mahdollistavat suuret keskeneräisen tuotannon kertymät, mikä aiheuttaa suurta vaihtelua sykliajassa ja lisää kustannuksia varaston kertymisen suhteen. Sykliajan vaihtelevuuden lisääntyminen pakottaa yritykset omaksuma pidempiä läpimenoaikoja saavuttaakseen saman asiakaspalvelutason. Keskeneräisen tuotannon rajoittaminen vähentää sykliajan vaihtelevuutta ja antaa imuohjausjärjestelmän saavuttaa saman siirtonopeuden vähemmällä keskeneräisellä tuotannolla kuin työntöjärjestelmä. (Marek ym. 2001, luku 3.)

Littlen laki:

$$WIP = TH * CT$$

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

$WIP = \text{varastot}$

$TH = \text{löpimeno (Throughput = TH)}$

$CT = \text{jaksoaika (Cycle Time = CT)}$

Littlen laki on tehdasfysiikan peruslaki. Sen avulla voidaan määrittää prosessin keskimääräinen läpimenoaika (Lead Time), jos tiedetään prosessin keskimääräinen läpimeno (Throughput, TH) ja keskeneräinen työ (WIP). Jos halutaan lyhentää läpimenoaikaa, tulee saada aikaan muutos keskeneräisen työn määrään ja/tai läpimenuon. (Hopp & Spearman 2011; Piirainen 2013)

4.10 Jatkuva keskeneräinen tuotanto (CONWIP)

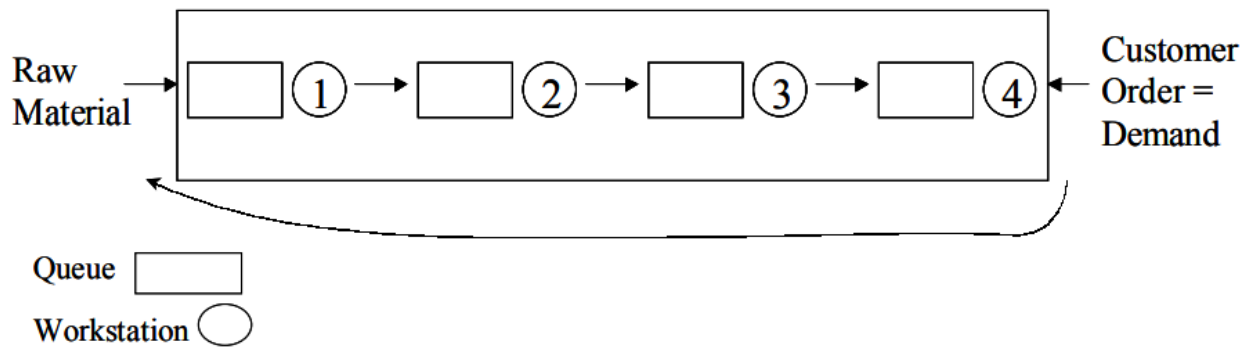
Spearmanin ja Hoppin 1990-luvulla kehittämä CONWIP (Constant Work in Progress) järjestelmä on hyvin samankaltainen Kanban-järjestelmän kanssa paitsi CONWIP-korttia ei ole liitetty tiettyyn osatyyppiin vaan tiettyyn määrään. CONWIP-järjestelmä on kuin kanban-järjestelmä, jossa ei ole osanumeroita kanbanissa. Sen sijaan tuotetyyppi määritellään kortille tarpeen mukaan.

CONWIP:llä ei ole oletusarvoisesti CONWIP-kortille määritettyä osanumeroa. Näin ollen mikä tahansa osanumero voidaan antaa väliaikaisesti CONWIP-osaan, vaikka osa tuotetaan vain kerran. CONWIP sopii hyvin MTO (tilauksesta valmistus) osiin. CONWIP, kuten kanban, on myös imuohjausjärjestelmä. Kuten mikä tahansa imuohjausjärjestelmä, se estää järjestelmän ylikuormituksen ja ylituotannon sekä antaa yleensä paljon tehokkaamman, sujuvamman ja kevyen tuotantojärjestelmän. (Roser, C. 2015; Hopp & Spearman 2011, 165.)

CONWIP:llä tarkoitetaan Imuohjautuvaa tuotannonohjausjärjestelmää. Imuohjautuvassa tuotannonohjauksessa kunkin tuotteen kokoonpanoprosessin käynnistyminen käynnistyy, kun toinen valmistuu tuotantolinjan lopussa. CONWIP on eräänlainen yksivaiheinen kanban-järjestelmä ja se voi olla myös hybridi työntö-imu-järjestelmä. Vaikka kanban järjestelmät hallitsevat järjestelmän keskeneräistä tuotantoa tiukemmin jokaisen työaseman yksittäisten korttien kautta, CONWIP-järjestelmät on helpompi ottaa käyttöön ja säätää, koska järjestelmän keskeneräisen tuotannon

hallintaan käytetään vain yhtä järjestelmäkorttisarjaa. (Roser, C. 2015.) CONWIP käyttää kortteja KET:ien määrän hallintaan. Esimerkiksi mitään osaa ei saa syöttää järjestelmään ilman korttia. Kun valmis osa on valmis viimeisellä työasemalla, kortti siirretään ensimmäiselle työasemalle ja uusi osa työstetään peräkkäiselle prosessireitille. (Marek ym. 2001, luku 2.)

CONWIP-imuohjausjärjestelmä käyttää yhtä tiettyä korttijoukkoa hallitakseen keskeneräistä tuotantoa missä tahansa järjestelmässä. Materiaali siirtyy CONWIP-järjestelmään vain kysynnän ilmetessä. Sama kortti valtuuttaa materiaalin liikkumaan järjestelmän läpi ja suorittamaan tuotannon loppuun. Lopputuotteen poistuessa järjestelmästä, kortti vapautetaan, jolloin järjestelmään pääsee uutta materiaalia kysynnän ilmetessä. Keskeneräistä tuotantoa ei valvota työasematasolla CONWIP-järjestelmässä. Järjestelmän keskeneräisen tuotannon määrä on vakio, sillä kortit rajoittavat työn kokonaismäärää, joka voi olla missä tahansa järjestelmässä. (Marek ym. 2001, luku 2.)



Kuvio 8. CONWIP toimintaperiaate (Marek ym. 2001)

Kanban-järjestelmä vetää työtä kaikkien työpisteiden välillä, kun taas CONWIP-järjestelmässä (kuvio 8) työtä vedetään vain linjan alussa. Kanbanissa ja CONWIP:ssä tilaukset pidetään työjonossa ennen ensimmäistä työasemaa, kunnes tilaus ja raaka-aine saavat tuotannon ja materiaalin liikuttamisen valtuutuskortin.

5 Ultra-Wideband teknologia ja Decawave seurantajärjestelmä

Osana opinnäytetyöhön liittyvää tutkimusta kohdeyritys hankki Savonian ammattikorkeakoululta lainaan Decawaven Ultra-wideband-teknologiaa hyödyntävän reaaliaikaisen seurantajärjestelmä testipakkauksen (Decawave MDEK1001 Evaluation and Development Kit) testattavaksi tehdasympäristössä. Kehityspaketilla testattiin Decawave-seurantajärjestelmän toimivuutta pienellä testi-alueella kohdeyrityksen tuotannossa.

5.1 Ultra-Wideband

Ultra-Wideband (UWB) on lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtoprotokolla, kuten Wi-Fi tai Bluetooth, Ultra-Wideband käyttää lyhyiden pulssien radioaaltoja taajuuksien laajalla alueella, jotka vaihtelevat 3,1–10,5 GHz välillä. Ultra-Wideband käyttää matalaa virrankulutusta suurten kaistanleveyksien saavuttamiseksi. Ultra-Wide Band viestintämenetelmä on tarkoitettu lähettämään paljon dataa lyhyellä etäisyydellä käyttämättä liikaa virtaa. Termiä UWB käytetään kaistanleveydelle, joka on suurempi tai yhtä suuri kuin 500 MHz tai (FBW) Fractional bandwidth (kaistanleveys jaettuna kaistan keskitaajuudella) yli 20 %. (Mitchell 2020; Bakr 2020; Glover Atkinson 2017.)

5.2 UWB:n toiminta ja sen edut

Ultra-Wideband-signaalien erittäin laaja kaistanleveys mahdollistaa erinomaisen sisätilojen suorituskyvyn perinteisiin kapeakaistaisiin järjestelmiin verrattuna. Laaja kaistanleveys tarjoaa immuniiteetin kanavaefektiä vastaan tiheässä ympäristössä ja mahdollistaa erittäin tarkan Ultra-Wideband laitteen paikannuksen sisätiloissa. Ultra-Wideband kaistaa voidaan käyttää vapaasti, ainoa rajoittava tekijä on säteilytehorajoitukset. Nämä rajoitukset varmistavat sen, ettei UWB-signaalit voi vaikuttaa perinteiseen kapeakaistaviestintään (Narrowband communications). Ultra-Wideband:llä on hyvä materiaalien läpäisykyky. (Ramos, Lazaro, Girbau & Villarino 2016; Bakr 2020.)

5.3 Seurantajärjestelmä: Decawave

Decawave kehittää puolijohderatkaisuja, ohjelmistoja, moduuleja, viitemalleja, jotka mahdollistavat reaaliaikaiset, erittäin tarkat, erittäin luotettavat paikalliset mikropaikannuspalvelut. (Decawave n.d.)

5.4 Decawave MDEK1001 Evaluation and Development Kit

MDEK1001 kehityspaketti tarjoaa asiakkaille valmiin paketin, jotka ovat kiinnostuneita skaalautuvasta RTLS-verkkoratkaisusta. Paketissa mukana tarvittava laitteisto, ohjelmistot ja kehitysympäristö sen ominaisuuksien ja suorituskyvyn nopeaan arviointiin. Arviointipakkaus sisältää 12 koteloitua kehityskorttia (DWM1001-Development Kit).

5.4.1 Paketin sisältö

- 12 yksikköä perustuen DWM1001 moduuliin/kehityslevyyn
- DMV1001-Dev levyt voidaan konfiguroida ankkureiksi, tageiksi tai siltaamaan
- (A DWM1001-DEV configured as bridge node and associated with a Raspberry Pi 3 model B will constitute a gateway)
- DWM1001-Dev konfiguroituna sillaksi ja yhdistettynä Raspberry Pi 3 model B:hen muodostavat yhdyskäytävän (gateway)
- Muovikotelot kaikille kehityslevyille
- USB-kaapeli laitteen päivittämiseen ja virheiden korjauksiin (Voidaan myös ladata virtalähteen tai akkupankin kautta USB-kaapelilla)
- Pikaopas, tarralaput kiinnitykseen, suorakulmaiset USB-liittimet ja värilliset tarrat
- Gateway firmware, PC/Android app (lähdekoodissa)

5.4.2 Ohjelmisto

- Mobiilisovellus (vaatii 6.0 tai uudemman Android-laitteen)
- Web client-verkon konfigurointiin ja valvontaan

5.4.3 Virtalähteet

- Yksiköt tarvitsevat 12 kpl paristoja tai USB-virtalähteitä (eivät sisälly pakkaukseen)
- 3.7V RCR123A tai 16340-akku
- Ankkureita tai tageja voidaan käyttää kytkettynä virtalähteisiin pitkäkestoista testausta varten

5.4.4 Järjestelmän suorituskyky

- Tunnisteen sijainnin enimmäispäivitystaajuus: 10 Hz
- X-Y-paikannustarkkuus: tyypillisesti 10 cm
- Pisteestä pisteeseen -etäisyys: jopa 60 m suoralla näköyhteydellä
- RTLS-järjestelmä alue: 25- 30 m ankkureiden (4+) ja tunnisteen välillä

- Sopeutuva sijaintinopeus liiketunnistimen avulla mahdollistaa pidemmän akun käyttöiän ja suuremman tunnistetiheyden

5.4.5 Kehityspaketin käyttötarkoitus

Paketin avulla pystytään osoittamaan tarkka sijainti ja navigointi 12 konfiguroitavalla Decawave DWN1001 -moduuliin perustuvilla laitteilla (antennit ja tunnisteet). RTLS-verkkoa voidaan laajentaa liittämällä siihen useita sarjoja. API mahdollistaa laiteohjelmiston mukauttamisen omien tarpeiden mukaan. Mukauttaminen sovellusliittymien kautta, levyjen päivitys USB:n kautta. Visualisointi ja määrittäminen Android/PC-sovelluksen kautta

Valmiiksi skaalautuva RTLS-verkkoratkaisu

- Channel 5–6.8Mbps - 30m range
- Jopa 10 Hz:n päivitysnopeus jokaiselle yksittäiselle tagille
- Jopa 150 päivitystä sekunnissa klusteria kohti
- Jopa 30 antennia ryhmää kohti (Tämä vaatii vähintään 3 sarjaa)
- Palautus Raspberry Pi 3:n (ei sisälly toimitukseen)

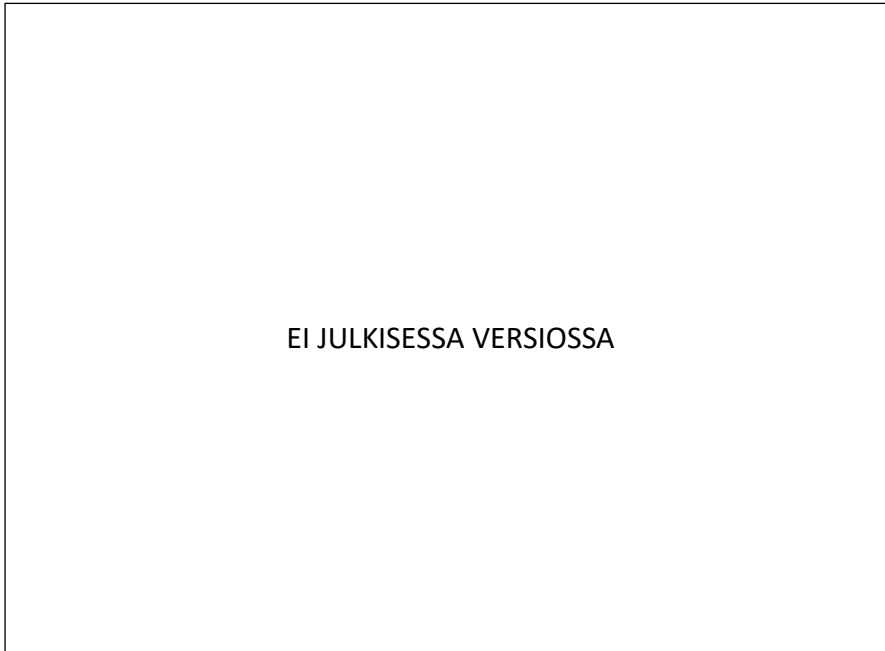
(Decawave n.d.)

6 Tutkimuksen toteuttaminen

Tämän työn tavoitteena oli järjestellä ja selkeyttää kohdeyrityksen hydrauliputkien ja -varsien tuotannon ja kokoonpanon välistä aluetta niin, että alueelle muodostuvalla keskeneräisellä tuotannolla on selkeä järjestys, joka tehostaa alueen läpivirtausta ja näin vähentäisi alueelle syntyvää pullonkaulaa. Alueen selkeällä järjestyksellä halutaan tehostaa ja nopeuttaa alueella työskentelevien keräilijöiden työtehtäviä. Tämän lisäksi alueella testattiin Decawave seurantajärjestelmän testipakettia, jolla testattiin kyseisen järjestelmän soveltuvuutta ja tekniikkaa kohdeyrityksen tehdasympäristöön.

6.1 Kohdeyrityksen tuotanto

Kohdeyrityksen materiaalivirta on suoraviivainen materiaalivarastoilta lähetykseen. Layoutista nähdään tehtaan kolme pääpuolta, Materiaalivarasto ja osavalmistus; putkivarsituotanto sekä kokoonpano, maalaus ja lähetys. Tässä työssä keskitytään putkivarsituotannon ja kokoonpanon väliseen alueeseen.



Kuvio 9. Kohdeyrityksen layout (mukaillen Hydroline Oy)

Kuvio 9 nähdään punaisella värillä merkattu putkivarsituotannon ja kokoonpanon välinen ongelma-alue, johon tämä työ keskittyi. Tälle alueelle kerääntyy putkivarsituotannon hydraulisynterinin putkia ja varsia kuljettavia vaunuja odottamaan kokoonpanoon pääsyä. Ennen tuotteiden pääsyä kokoonpanoon tarvitaan kaikki siihen tarvittavat osat, eli sylinterin putken tai varren täytyy odottaa vastakappale sekä tarvittavat komponentit ennen matkan jatkumista kokoonpanon puolelle.

EI JULKISESSA VERSIOSSA

Kuvio 10. Putkivarsituotannon pääkäytävä kokoonpanoa päin

Päätuotantolinja on jaettu kahteen osaan, toisella puolella työestetään hydraulisynterinin putket (kuvio 10 vasemmalla puolella) ja toisella puolella varret (Kuvio 10 oikealla puolella).



Kuvio 11. Kuljetusvaunu

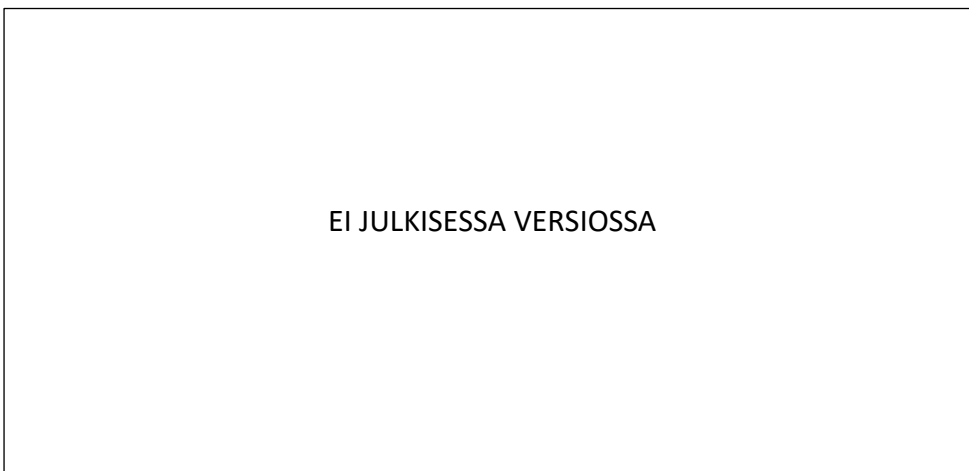
Hydrauliputkia ja -varsia kuljetetaan niille tarkoitetuilla vaunuilla (Kuvio 11). Kuljetusvaunun yläosa on irtoava sekä siinä on kiskot, jotka mahdollistavat hydrauliputkien ja -varsien helpon siirron niille suunniteltuun pesupisteeseen.

6.2 Alkutilanteen kartoitus

Kehitysprojekti aloitettiin kartoittamalla tilannetta kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisellä alueella. Alueelta kartoitettiin asioita, jotka aiheuttavat ongelmia, sekavuutta tai vaikeuttavat työntekijöiden työtehtäviä. Tämä toteutettiin johdon ja alueella työskentelevien työntekijöiden haastatteluilla sekä vapaalla havainnoinnilla. Näistä nousi esille alueella olevista ongelmakohdista sekä esille nousi myös kehitysehdotuksia, kuinka tilannetta voisi lähteä korjaamaan.

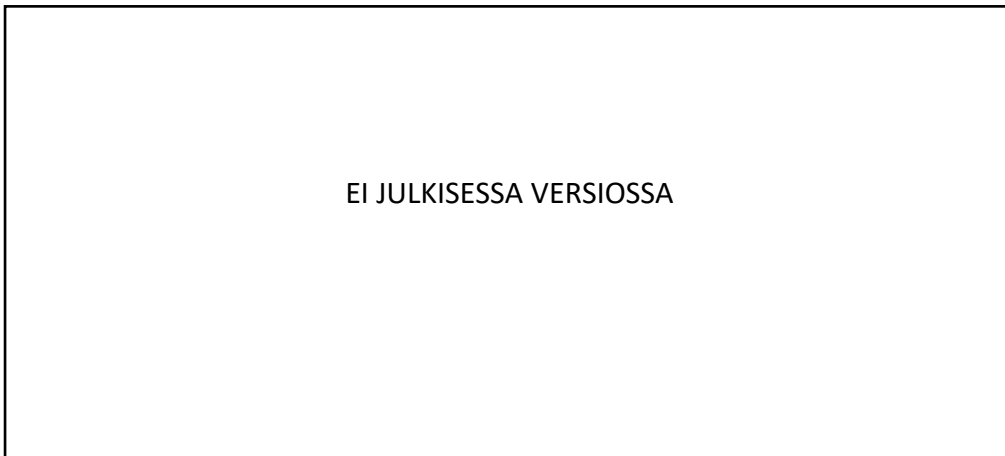
6.3 Ongelmakohdat

Ensimmäinen esille tullut ongelma-kohta oli alueen yleinen sekavuus ja epäjärjestys. Putkivarsituotannon puolen sorvauksesta ja hitsauksesta valmistuneet hydrauliputket ja -varret jätetään putkivarsituotannon loppupäähän odottamaan seuraavaa työvaihetta, joka on kokoonpanoon siirtyminen. Alue, jossa vaunuissa olevat tuotteet odottavat seuraavaa työvaihetta on laaja ja siellä olevien kuljetusvaunujen määrä on suuri. Alueella voi olla useita kymmeniä kuljetusvaunuja tuotteen odottamassa seuraavaa työvaihetta kokoonpanon puolelle (Kuvio 12).



Kuvio 12. Odottavien kuljetusvaunujen määrä ennen kokoonpanoa

Putkivarsituotannon keräilijät etsivät yleensä sattumanvaraisesti haluttuja tuotteita alueelta, jossa on kymmenittäin samankaltaisia hydrauliputkia tai -varsia kuljettavia vaunuja (Kuvio 12). Vaunujen mukana kulkee lappu, josta näkee kyseisen tuotteen tuotekoodin ja sen tiedot, jonka perusteella keräilijä tarkistaa onko kyseessä oikea tuote. On siis mahdollista, että keräilijän tulee käydä monta eri kuljetusvaunua läpi tarkistaen niiden tuotekoodeja ennen oikean vaunun löytymistä. Keräilyajan pituus on pitkälti kiinni tuurista, kuinka nopeasti kokoonpanoon haluttu tuote löytyy. Haluttu kuljetusvaunu voi sijaita keskellä muita vaunuja, jolloin kyseisen vaunun noutamiseksi täytyy ensin siirtää pois tieltä muita kuljetusvaunuja. Alue on kuitenkin sen verran iso, että keräilijältä kuluu paljon aikaa oikean tuotteen etsimiseen alueelta vaunujen seasta. On mahdollista, että keräilijä etsii tarvittavaa vaunua tuotteineen pitkään, jolloin tämä vie pois tehokkuutta kokoonpanon puolelta. Keräilijöiden kokemus auttaa huomattavasti, jos on harjaantunut silmä tuotteiden tunnistamiseksi, mutta kaikilta ei löydy tällaista kokemusta.

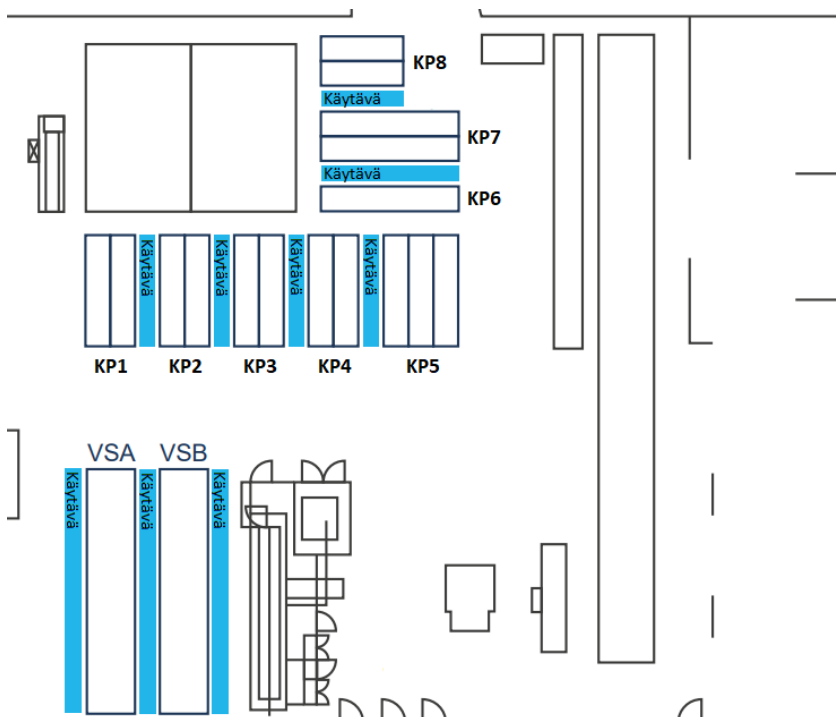


Kuvio 13. Putkivarsituotannon pääkäytävä

Ongelmana on, ettei tällä alueella ole mitään kunnollista järjestystä tai paikkoja kuljetusvaunuille muuta kuin pääkäytävän vapaana oleminen, että alueella voi kulkea. Alueella olevien kuljetusvaunujen määrä on niin suuri, että osa vaunuista on jätetty työntekijöiden jalankulkureiteille. Kuviossa 13 nähdään alueella olevien vaunujen määrä ja kuinka osa vaunuista on jouduttu jättämään vihreällä lattiатеipillä merkatulle kulkuteille.

6.4 Kehittäminen

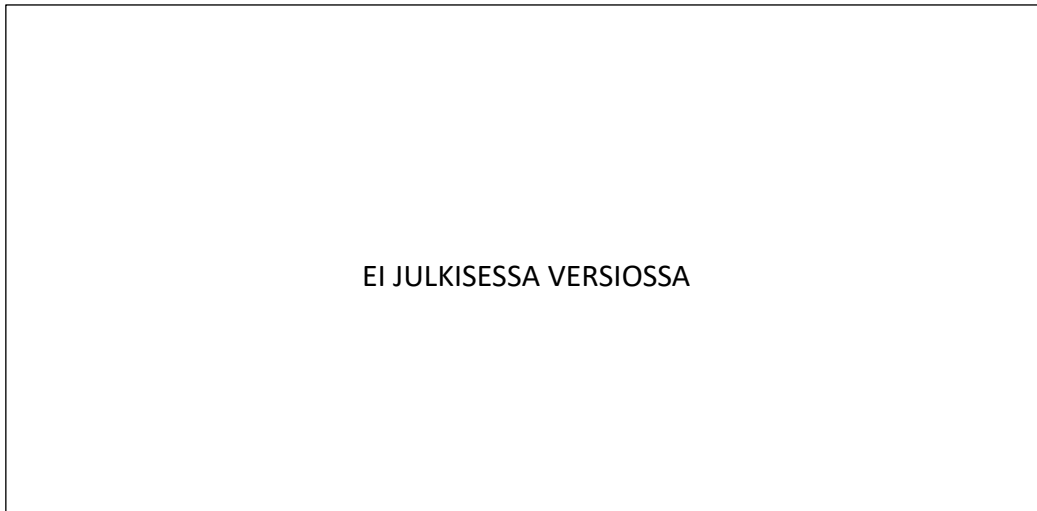
Alueen järjestelmiseksi lattiaan rajattiin lattiateipillä kuljetusvaunuille sopivan kokoiset rivipaikat ja ne nimettiin KP1-KP8 ja VSA-VSB. Nämä toimivat hydrauliputkia ja -varsia kuljettavien vaunujen välivarastopaikkoina. Yksi välivarastopaikka on kahden vaunun levyinen rivi, johon mahtuu kolme vaunua peräkkäin, jos niiden kydyssä ei ole pitkiä hydrauliputkia tai -varsia. Varastopaikasta tehtiin kahden vaunun levyiset, koska välillä saapuu isompia tilauksia, jotka vaativat useampia kuljetusvaunuja niin



Kuvio 14. Kuljetusvaunujen rivipaikat ja käytävät

Kuviosta 14 nähdään, kuinka vaunurivit nimettiin KP1-KP8 sekä VS-A ja VS-B. Putkivarsipuolen viimeisen työvaiheen jälkeen työntekijä siirtää kuljetusvaunun tuotteineen työpisteeltään nimetylle vapaana olevalle rivipaikalla sekä kuittaa tehdyn työn ja merkitsee sen tuotannonohjausjärjestelmään. Järjestelmään tallentuu tieto mihin riviin vaunu tuotteineen jätettiin. Tämän jälkeen keräilijä pystyy katsomaan järjestelmästä, mihin riviin tuote on kirjattu ja tämän jälkeen keräilijä tietää suoraan mistä rivistä tuotteet ovat noudettavissa. Lean periaatteiden mukaan tällä poistetaan turhaa toimintaa, joka ei tuota arvoa arvoketjuun. Keräilijän ei tarvitse pyöriä alueella turhaan pitkiä aikoja etsien oikeaa vaunua tuotteineen vaikeasti toisistaan erottuvien tuotteiden seasta.

Kuviosta 14 nähdään, kuinka rivipaikat muodostettiin samalle alueelle, jossa kuljetusvaunut odottivat aikaisemmin kokoonpanoon pääsyä. Rivipaikkojen rajauksessa huomioitiin työntekijöiden tarvitsema tila siirtää kuljetusvaunu tuotteineen työpisteelle ja työpisteeltä pois. Lavansiirtovaunujen pääsy trukkilavahyllyille otettiin myös huomioon vaunurivejä suunniteltaessa.



Kuvio 15. Kahden kuljetusvaunun levyiset rivit ja käytäväpaikka

Kuviosta 15 huomataan, kuinka yksi rivipaikka on kahden vaunun levyinen ja rivien välissä kulkee käytävä. Tämä mahdollistaa vaunun ottamisen keskeltä riviä siirtelemättä muita vaunuja sekä alueen läpikulkumahdollisuuden ja kuljetusvaunujen läpiviennin näistä kohdista. Varastopaikoista tehtiin kahden vaunun levyiset, koska välillä saapuu isompia tilauksia, jotka vaativat enemmän tilaa. Näin vältetään siltä, ettei viimeisen työvaiheen tekijän tarvitse kuitata kuljetusvaunuja monelle eri varastopaikalle. Tällä saadaan pidettyä kuittausprosessi mahdollisimman yksinkertaisena.

Tuotekoodin ja rivinumeron avulla viimeisen työvaiheen valmistuttua ennen kokoonpanoa, työntekijä vie kuljetusvaunut vapaalle välivarastopaikalle ja kirjaa järjestelmään mille varastopaikalle vaunu jätettiin odottamaan seuraavaa työvaihetta. Jos vaunu ei mahdu millekään numeroidulle varastopaikalle tuote kuitataan löytyvän letkapaikkojen ulkopuolelta. Kokoonpanon keräilijä voi katsoa järjestelmässä mille varastopaikalle viimeinen työvaihe on kirjattu ja tämän jälkeen käydä hakemassa tuotteet suoraan järjestelmään merkatulta riviltä ilman ylimääräistä etsimistä. Tavoitteena on, että lopulta kaikki vaunut löytyvät niille tehdyiltä rivipaikoilta.

7 Decawave seurantajärjestelmän testaus

Kohdeyritykseen saatiin lainaan Savonian ammattikorkeakoululta Decawaven MDEK1001-kehityspaketti. Pakettiin kuuluu 12 koteloitua kehityskorttia, jotka voivat toimia antennina tai tagina. Tarkoituksena oli pystyttää seurantaympäristö putkivarsituotannon loppupäähän, josta löytyy eniten keskeneräistä tuotantoa. Tällä alueella tarkoituksen oli testata järjestelmän toimivuutta, antennien ja tagien kantavuutta sekä järjestelmän soveltuvuutta tehdasympäristöön.



Kuvio 16. Decawave MDEK1001 Evaluation and Development Kit

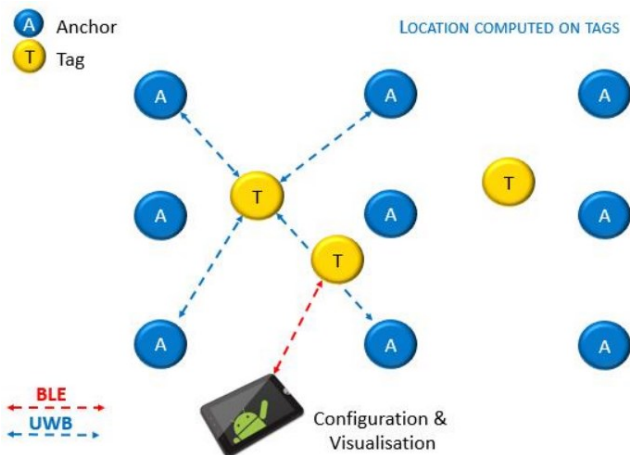
7.1 Järjestelmän käyttöönotto

Järjestelmän käyttöönoton apuna oli Savonialta henkilökuntaa, jotka antoivat Decawave-kehityspaketin lainaan testattavaksi sekä kaksi kohdeyrityksen tietotekniikan alan henkilöä. Aluksi laitteiden ja järjestelmän toimivuutta testattiin pienessä kokoushuoneessa, jossa neljään nurkkaukseen laitettiin Decawave-kehityskortit ja ne konfiguroitiin toimimaan antennina. Järjestelmän seuraminen tapahtui tabletilla Decawaven mobiilisovelluksella. Tämän jälkeen järjestelmään lisättiin ensin yksi seurattava tagi ja sen jälkeen toinen. Tagien liikkeitä pystyi seuraamaan tabletilta reaaliaikaisesti ja niiden paikannustarkkuus oli noin 10 cm. Tagien päivitystaajuuksia pystyi muokkaamaan tabletin sovelluksen avulla sekä myös määrittää seurattavan tagin heräämään liikkeestä. Tagin aktivoituminen liikkeestä ja päivitystaajuuden pienentyminen tehtiin akunsäästösyistä.



Kuvio 17. Raspberry Pi 3 model B yhdistettynä DWM1001-DEV piirilevyyn

Kohdeyrityksen tietotekniikan alan henkilöt konfiguroivat yhden Decawave laitteen Raspberry Pi 3 model B:n avulla olemaan gateway eli yhdyskäytävä (kuvio 17), joka on tietoliikenneverkossa oleva verkon solmu, joka mahdollistaa erilaisten tietoliikenneverkkojen yhteensovittamisen.



Kuvio 18. Yhteystekniikat laitteiden välillä (Decawave)

Tämä mahdollisti Decawave-järjestelmän yhteyden kohdeyrityksen omaan verkkoon, jolloin seurantanäkymää pystyi tarkastelemaan verkkoselaimen avulla olemalla samassa verkossa. On myös mahdollista käyttää pelkkää tablettia, joka yhdistettynä Bluetooth (BLE) yhteydellä Decawave tageihin (Kuvio 18).



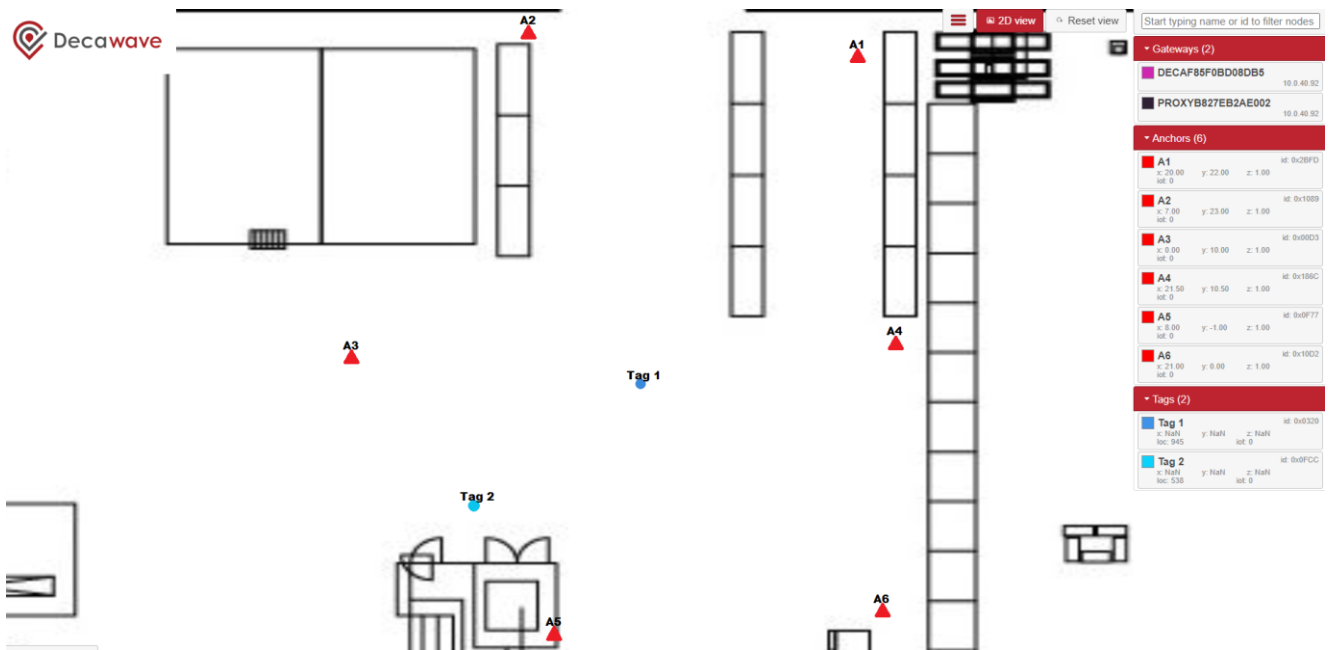
Kuvio 19. Punaisella teipillä merkattu ja nimetty tagi

Antenneiksi konfiguroidut laitteet ja tagit nimettiin ja merkattiin niiden tunnistamiseksi (kuvio 19).

7.2 Järjestelmän testaus tehdasympäristössä

Järjestelmän ja laitteiden toimivuuden testauksen jälkeen Decawave kehityspaketin laitteet vietiin tehdasympäristöön. Aluksi putkivarsituotannon layout-kuva tuotiin sovellukseen, jotta antennien paikat voitiin määrittää tarkasti oikeille paikoille. Antenneille valittiin paikat 1–2 metrin korkeudelta putkivarsituotannon loppupuolelta. Antennit asetettiin sellaiselle paikoille, jossa ne ei ole häiriöiksi työntekijöille ja joissa ne pysyvät tukevasti. Alustavasti antennien paikat olivat myös sellaiset, että ne olisivat mahdollista kytkeä verkkovirtaan. Tässä testauksessa laitteet toimivat kuitenkin omilla paristoillaan. Tehdasympäristöön asetettiin yhteensä kuusi antennia. Antennit asennettiin valmistajan ohjeiden mukaan tehdasympäristöön rajaamaan neliön muotoisia alueita.

Kuviosta 20 nähdään rajatun alueen layout ja kuinka sinne asetetut antennit on merkattu punaisilla kolmioilla (A1-A6). Jokaiselle antennille tuli määrittää XYZ-koordinaatit täsmäämään mahdollisimman tarkasti oikea kohta layoutista, että seurantatarkkuus olisi mahdollisimman tarkka ja paikansapitävä.



Kuvio 20. Antennien ja tagien paikat layoutissa

Antennien asennuksien jälkeen seurantatagit 1. ja 2. käynnistettiin ja ne tulivat näkyviin järjestelmään. Tagit näkyivät kahtena sinisenä pallona järjestelmässä ja tämän pallon yläpuolella lukee tagin tunniste (Kuvio 20). Alueella testattiin tagien toimintaa liikuttelemalla niitä ympäri antennien rajattua aluetta. Seuranta toimi rajatulla alueella ja seurantatarkkuus valmistajan ilmoittamaa noin 10–20 cm tarkkuus, joka on riittävää, jos halutaan paikantaa tunnistaa alueelta tuotteita kuljettava kuljetusvaunu. Tagejen seuranta oli reaaliaikaista muutaman sekunnin viiveellä. Tagien seurattavuutta testattiin viemällä tagi rajatun alueen ulkopuolelle, jolloin yhteys tagiin hävisi nopeasti alueelta poistuttua. Tuomalla tagi takaisin rajatulle alueelle se alkoi taas näkymään järjestelmässä. Tagin seuranta loppui myös, kun tagi asetettiin hydrauliputken sisälle, jolloin antennit eivät saaneet yhteyttä tagiin ja seuranta loppui.

8 Tulokset

Putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisen alueen uusien varastopaikkojen rajaamisen jälkeen alueella työskenteleviä työntekijöitä haastateltiin keskustelunomaisesti antaen heidän kertoa vapaasti mielipiteitään ja huomioita tehdyistä muutoksista. Alueella työskentelevien työntekijöiden ja johdon haastatteluista nousi esille, kuinka tuotannon liikkuminen on ollut tasaisempaa ja tavaran määrä putkivarsituotannon puolella on laskenut ja vapauttanut lattiapinta-alaa ja näin vähentänyt ongelmatilanteita alueella. Keräilijöille on ollut helpompaa noutaa halutut tuotteet numeroiduilta varastopaikoilta katsomalla toiminnanohjausjärjestelmästä, missä haluttu vaunu tuotteineen on. Tämä on nopeuttanut huomattavasti alueelta keräilyä, eikä vaunujen haku aika ole niin satunnaista, mitä aikaisemmin.

Vaikka tavaran määrä alueella saatiin vähenemään, vielä alueella on sen verran tavaraa, ettei kaikki tuotteet mahdu uusille rajatuille varastopaikoille. Eli osa tuotteista kuitataan vielä varastopaikkojen ulkopuolelle. Vaikka ihan kaikkia tuotteita ei vielä saada kuitatuksi numeroiduille varastopaikoille niiden paikka silti kuitataan järjestelmään, jolloin keräilijät saavat tiedon siitä, ettei tuotteet löydy rajatuilta varastopaikoilta vaan niiden ulkopuolelta, jolloin keräilijät tietävät mistä etsiä haluttua tuotetta. Keräilijöille on ollut helpompaa ja nopeampaa löytää halutut tuotteet numeroiduilta varastopaikoilta tai niiden ulkopuolelta.

Tilanne putkivarsituotannon ja kokoonpanon välinen alue selkeytyi huomattavasti ja alueella saatiin selkeä järjestys ja logiikka sekä alueelle muodostuvan keskeneräisen tuotannon määrää saatiin vähennettyä. Tästä on seurannut lattiapinta-alan vapautumista ja näin saatiin poistettua tavaraa pois henkilökululle tarkoitetuilta reiteiltä pois, mikä on parantanut alueen työturvallisuutta. Vapautunut lattiapinta-ala ja käytäväpaikat ovat helpottanut myös alueella kulkua sekä tuotteiden kuljettamista ja siirtämistä alueelta toiselle. Uusien varastopaikkojen avulla on saatu vähennettyä alueella tehtyä turhaa työtä, joka ei tuota lisäarvoa tuotteelle ja samalla myös parannettu alueen toimintaa tehokkaammaksi. Tulevaisuudessa tuotannonohjaamisen muokkaaminen imuohjautuvaksi todennäköisesti parantaa alueen virtausta ja vähentää sinne muodostuvaa keskeneräistä tuotantoa.

Decawave seurantajärjestelmän testaus tehdasympäristössä antoi hyvin kuvaa, kuinka seurantajärjestelmä, joka käyttää Ultra-wideband-teknologiaa soveltuu tehdasympäristöön tulevaisuuden

kehitysprojekteja ajatellen. Tagien seuranta saatiin toimimaan testialueella ja järjestelmä ei ottanut häiriöitä tässä ympäristössä. Tägeja liikuttelemalla alueella nähtiin reaaliaikaisen seurannan toimivan ympäri rajattua aluetta ja tätä pystyttiin seuraamaan tabletin tai tietokoneen verkkoselaimen kautta. Järjestelmän rakentamisella ja testaamisella saatiin kokemusta siitä, mitä samanlaisen järjestelmän käyttöönottoaminen vaatii kohdeyrityksen tietotekniikan henkilöstöltä sekä millaisia asioita tulee ottaa huomioon seurantajärjestelmää valitessa. Testauksesta sai suuntaa antavia tietoja, kuten millaista seurantatagien kestävyyttä tarvittaisiin kohdeyrityksen tehdasympäristöön niiden käyttöänsä pitkänä pitämiseen. Seurantatagien tulisi olla pöly- ja vesitiiviitä ainakin jollakin asteella.

9 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa ensin haastatteluin ja vapaan havainnoinnin avulla kohdeyrityksen putkivarsituotannon ja kokoonpanon välistä aluetta, miettien kuinka tämä alue saataisiin järjesteltyä tehokkaammaksi ja selkeämmäksi. Tavoitteena oli myös vähentää alueelle syntyvää pullonkaulaa parantaen alueen virtausta sekä testata reaaliaikaisen seurantajärjestelmän soveltuvuutta kohdeyrityksen tehdasympäristöön. Työssä onnistuttiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin ja päästiin asetettuihin tavoitteisiin.

Opinnäytetyössä keskityttiin tilanteen kartoitukseen ja sisälogistiikan kehittämiseen sekä tällä työllä saatiin kehitysprojekti alulle ja mahdollisuuden viedä kehitystyötä tulevaisuudessa vielä paljon pidemmälle. Putkivarsituotannon ja kokoonpanon välistä aluetta saatiin virtaamaan paremmin, jonka ansiosta alueelle välivarastoksi muodostuvaa keskeneräistä tuotantoa saatiin vähennettyä ja vapautettua alueen lattiapinta-alaa. Muutoksien tekemisen jälkeen alueen tilanne alkoi selkeytyä ja tämän ansiosta tulevaisuudessa kehitettävät asiat ovat helpommin suunniteltavissa.

Putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisen alueelle tehtyjen muutoksien jälkeen, työntekijöiden ja johdon haastatteluilla sain hyvää kuvaa siitä, miten kehitysprojekti on alkanut edetä. Putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisen alueen keräilijöiden haastatteluissa huomattiin tilanteen olevan parempi. Haastatellut totesivat myös, kuinka heidän työtehtävänsä on helpottunut ja samalla myös huomattavasti nopeutunut. Alkutilanteessa keräilijöiden oli vaikea löytää kuljetusvaunua tuotteineen alueelta, jossa oli kymmenittäin kuljetusvaunuja epäjärjestyksessä. Alueen uudistuksien jälkeen vaunujen turha siirtely on vähentynyt huomattavasti. Nyt ei siis tarvitse siirrellä ensin muita vaunuja pois tieltä, että saadaan noudettua haluttu vaunu muiden vaunujen seasta. Tämä oli aikaisemmin turha työvaihe on saatu käytännössä poistetuksi.

Uudistuksien jälkeen alue on saatu virtaamaan paremmin, jolloin sinne kertyvien kuljetusvaunujen määrä on laskenut. Tämä on johtanut siihen, että kuljetusvaunuja ei tarvitse enää tilanpuutteen takia laittaa henkilökululle tarkoitetuille kulkureitille. Tämä on parantanut alueella liikkumista ja samalla parantanut alueen työturvallisuutta, kun liikkuminen tapahtuu niille suunnitelluilla reiteillä. Putkivarsituotannon ja kokoonpanon välille kerääntyä uudistuksista huolimatta vieläkin sen

verran keskeneräistä tuotantoa, ettei vielä kaikki kuljetusvaunut tuotteineen mahdu rajatuille varastopaikoille.

Tulevaisuudessa, kehitysprojektin edetessä kohdeyrityksen on tarkoitus alkaa ohjata tuotantoaan imuohjautuvasti, jolloin tuotteita tehdään vain tarpeeksi asiakas tilausten täyttämiseksi (Haverila ym. 2009, 423), jolloin saataisiin vielä vähennettyä putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisen alueen keskeneräisen tuotannon määrää sellaiseksi, että tuotteet mahtuisivat varastopaikkojen sisälle. Alueen ongelma on myös pääkomponenttien eli hydrauliputkien ja -varsien samanaikainen pariutuminen ennen kokoonpanoa. Pääkomponentit ei voi edetä kokoonpanoon ilman tarvittavaa vastakappaletta eli hydrauliputket tai -varret voivat odottaa pitkän aikaa alueella ennen kokoonpanoa, jos vastakappaleen tuotanto on vasta alussa. Tulevaisuudessa tähän olisi tarkoitus juuri hyödyntää kuljetusvaunujen reaaliaikaista seuranta, jolloin nähtäisiin reaaliaikaisesti missä vaiheessa mikäkin tuote vastakappaleineen on. Tällä on tarkoitus saada pääkomponentit pariutumaan putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisellä alueella mahdollisimman samaan aikaan, jotta ne saadaan siirrettyä kokoonpanon puolelle mahdollisimman sulavasti ilman toisen kappaleen turhaa odottelua välivarastoalueella. Pääkomponenttien samanaikainen pariutuminen alueella saisi alueen virtaamaan vielä paremmin.

Opinnäytetyössä keskityttiin tilanteen kartoitukseen ja sisälogistiikan kehittämiseen sekä tällä työllä saatiin kehitysprojekti alulle ja mahdollisuuden viedä kehitystyötä tulevaisuudessa vielä paljon pidemmälle. Putkivarsituotannon ja kokoonpanon aluetta saatiin virtaamaan paremmin, jonka ansiosta alueelle välivarastoksi muodostuvaa keskeneräistä tuotantoa saatiin vähennettyä ja vapautettua alueen lattiapinta-alaa. Muutoksien tekemisen jälkeen alueen tilanne alkoi selkeyty-mään ja tämän ansiosta tulevaisuudessa kehitettävät asiat ovat helpommin suunniteltavissa.

Putkivarsituotannon ja kokoonpanon välisellä alueella testattiin Decawaven reaaliaikaisen seurantajärjestelmän testipakkausta. Decawave hyödyntää Ultra-wideband-tekniologiaa seurantajärjestelmässään. Testipakkauksella saatiin testattua, kuinka kyseinen seurantajärjestelmä ja sen teknologia soveltuu kohdeyrityksen tehdasympäristöön. Tällä testauksella saatiin hyvää pohjaa tulevaisuutta varten, millainen seurantajärjestelmä soveltuu kohdeyrityksen tehdasympäristöön.

Decawaven seurantajärjestelmä ei näyttäisi olevan tuollaisenaan sopiva reaaliaikainen seurantajärjestelmä kohdeyrityksen tehdasympäristöön. Laitteiden kotelointi ei ole oikeanlainen kohdeyrityksen tarkoituksiin. Kotelointi ei ole tarpeeksi tiivis, sen sisään päätyisi sinne kuulumattomia aineita, kuten likaa, pölyä, vesiroiskeita tai öljyä, jotka hyvin todennäköisesti tekisivät laitteesta nopeasti käyttökelvottoman. Kotelon tulisi olla kestävä ja tiivis sekä mahdollisimman pieni, jotta laiteiden käyttöikä pysyisi pitkänä kohdeyrityksen tehdasympäristössä.

Myös Decawaven ohjelmiston integroiminen kohdeyrityksen tuotannonohjausjärjestelmiin vaatisi paljon koodaustyötä ja järjestelmän rakennusta yrityksen tietotekniikan puolen työntekijöiltä. Tämä olisi pitkä prosessi ja vaatisi paljon heidän aikaansa järjestelmän rakentamisen parissa. Decawavella ei ole tarjottavana valmista ohjelmistoa, jota pystyisi suoraan hyödyntämään ja yhdistämään yrityksen käyttämiin järjestelmiin.

Reaaliaikaiseen seurantaan tehdasympäristössä Decawaven käyttämä Ultra-wideband teknologia on mielestäni varteenotettava seurantamenetelmä, koska sillä on korkea toimintavarmuus tehdasympäristössä. Samaa teknologiaa käyttävä seurantajärjestelmä, jonka ohjelmiston käyttöönotto ei vaadi kohdeyrityksen tietotekniikanpuolen työntekijöiltä pitkää ohjelmiston koodaamista ja järjestelmän rakentamista, ellei sitä nähdä kustannussyistä parhaalta vaihtoehdolta.

Tulevaisuudessa, jos kohdeyritys näkee reaaliaikaisen seurantajärjestelmän tarpeelliseksi investoinniksi, tulee huomioida juuri järjestelmän soveltuvuus tehdasympäristöön ja sen käyttöönoton helppous. Huomioon tulee ottaa myös järjestelmän tagien akunkesto, kestävyys, pöly- ja vesitiiviys, jotta järjestelmän käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä.

Lähteet

Anita Saaranen-Kauppinen & Anna Puusniekka. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. verkkojulkaisu. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 25.04.2021 https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_1.html.

Bakr, M. 2020. Introduction to Ultra-Wideband (UWB) Tehnology. All About Circuits. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2021. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-ultra-wideband-uwband-technology/>

Barone, A. 2020. Bottleneck. Investopedia. Verkkojulkaisu. Viitattu 03.05.2021. <https://www.investopedia.com/terms/b/bottleneck.asp>

Decawave. N.d. MDEK1001 Development Kit. Verkkosivu. Viitattu 30.03.2021. <https://www.decawave.com/product/mdek1001-deployment-kit/>

Eby, K. 2017. Everything You Need to Know About Theory of Constraints. Verkkojulkaisu. Viitattu 03.05.2021 <https://www.smartsheet.com/all-about-theory-of-constraints>

Finder 2019. Hydroline Oy. Verkkosivu. <https://www.finder.fi/Hydrauliikka+ja+hydrauliset+laitteet/Hydroline+Oy/Vuorela/yhteystiedot/138184>. Viitattu 29.03.2021.

Glover, I.A, Atkinson, R. 2017. Wireless MEMS Networks and Applications. Ultra-Wideband. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ultra-wideband>

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. Tampere

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2010. Tutki ja kirjoita. 16. p. Helsinki: Tammi.

Hopp, W & Spearman, M. 2011. Factory physics. 3. p. Long Grove: Waveland Press

Hunt, J. 2019. Push System Vs. Pull System Inventory Control. Verkkojulkaisu. Viitattu 03.05.2021 <https://smallbusiness.chron.com/push-system-vs-pull-system-inventory-control-12650.html>

Hydroline, Code of Conduct. Verkkosivu. <https://hydroline.fi/company/code-of-conduct/>. Viitattu 29.03. 2021.

Hydroline, Company. Verkkosivu. Viitattu 29.03.2021. <https://hydroline.fi/company/>.

Hyvärinen, M. Suoninen, E. & Vuori, J. 2006. Haastattelut. Teoksessa A. Saaranen-Kauppinen & A. Puusniekka. 2006. KvaliMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 25.04.2021. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>

Keinänen, T & Kärkkäinen, P. 2000. Koneautomaatio 1, Hydraulikka ja pneumatiikka. Porvoo: WSOY.

LeanProduction. N.d. Theory of Constraints. Verkkojulkaisu. Viitattu 03.05.2021. <https://www.leanproduction.com/theory-of-constraints.html>

Lehikoinen, J. 2019. Hydroline Oy koulutusmateriaali: Sylinteriosaaja koulutus.

Logistiikanmaailma N.d. JIT ja Imuohjaus. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021 <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Logistiikanmaailma N.d. Visuaalinen ohjaus. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/materiaalinohjaus/visuaalinen-ohjaus/>

Logistiikanmaailma. N.d. Tilauksesta valmistus. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-valmistus-mto/>.

Marek, P. Elkins, A & Smith, R. 2001. Proceedings Of The 2001 Winter Simulation Conference: Understanding The Fundamentals Of Kanban And CONWIP Pull Systems Using Simulation. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. https://www.researchgate.net/publication/3933063_Understanding_the_fundamentals_of_Kanban_and_CONWIP_pull_systems_using_simulation. Viitattu 30.03.2021.

Mitchell, B. 2020. Internet, Networking & Security. What Does UWB Mean? Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. <https://www.lifewire.com/ultra-wide-band-817953>

Pelin, R. 2020. Projektihallinnan käsikirja. 8. p. N.d. Projektijohtaminen Oy Risto Pelin

Peltonen, A. 1997. Tuottava tehdas. Helsinki: Opetushallitus

Phillips, D. 2010. Crack the WIP for a Leaner Supply Chain. Inboundlogistics. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/crack-the-wip-for-a-leaner-supply-chain/>

Piirainen, A. 2013. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Verkkojulkaisu. Viitattu 09.05.2021. <http://www.gk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/onko-kaikki-erilaista-vai-ei/>

Product Brief: MDEK1001. N.d. Decawave -sivustolla. Viitattu 30.03.2021. <https://www.decawave.com/mdek1001/productbrief/>

Ramos, A. Lazaro, A, Girbau, D. Villarino, R. 2016. Introduction to RFID and Chipless RFID. Viitattu 30.03.2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ultra-wideband>.

Rattner, S. 2006. What is the Theory of Constraints, and How Does it Compare to Lean Thinking? Lean Enterprise Institute. Verkkojulkaisu. Viitattu 03.05.2021. <https://www.lean.org/com-mon/display/?o=223>

Roser, C. 2015. Benefits and Flaws of CONWIP in Comparison to Kanban. AllAboutLean – sivustolla. Viitattu 30.03.2021. <https://www.allaboutlean.com/conwip-comparison/>.

Taloussanommat. Hydroline Oy. Verkkosivu. Viitattu 29.03.2021 <https://www.is.fi/yritys/hydroline-oy/siilinjarvi/2417546-2/>

TOCinstitute. N.d. Theory of Constraints of Dr. Eliyahu Goldratt. Verkkojulkaisu. Viitattu 03.05.2021. <https://www.tocinstitute.org/theory-of-constraints.html>

Tony Arnold, J. R., Chapman, S. & Clive, L. 2012. Introduction to Materials Management. 7. Upper Saddle River: Pearson

Toyota N.d. Toyota production System. Verkkojulkaisu. Viitattu 13.05.2021 <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>

Tulip. N.d. Introduction: What is Lean Manufacturing. Verkkojulkaisu. Viitattu 30.03.2021. <https://tulip.co/resources/lean-manufacturing/#intro>

Vuori, J. 2006. Tapaustutkimus. Teoksessa A. Saaranen-Kauppinen & A. Puusniekka. 2006. Kvali-MOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 25.04.2021. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tapaustutkimus/>.