Opinnäytetyö (AMK)

Tuotantotalouden insinööri

2023

Rogers Max

Työpakettikohtainen resurssienhallinta laivanrakennuksen lohkovaiheessa

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tuotantotalous

2023 | 23 sivua

Max Rogers

Työpakettikohtainen resurssienhallinta laivanrakennuksen lohkovaiheessa

Opinnäytetyö tehtiin Europlan Engineering Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyön tavoitteena oli laskelmoida työpakettien asennusaikoja. Opinnäytetyön aihe pohjautuu työpakettikohtaiseen resurssienhallintaan laivanrakennuksen lohkovaiheessa.

Tutkimus tehtiin laadullisena kenttätutkimuksena lohkorakentamisen aikana. Tutkimustulos perustuu havainnointiin, keskusteluihin ja lohkokentältä kerättyyn dataan. Tutkimuksessa kerättiin empiiristä dataa putkisysteemien asennusajoista työnjohdon valvonnan sekä työtuntileimojen avulla. Työssä pyrittiin kehittämään laivanrakennuksen lohkovaiheen materiaalipakettien asennusaikaan pohjautuvaa ennustusta, jonka myötä luotiin projekteittain säädettävissä oleva työkalu. Tämä mahdollistui kehittämällä ennusteita tukevia analyysejä, joita kyettiin käyttämään työpakettien suunnittelussa.

Työn tuloksia ja joitain tietoja ei julkaista toimeksiantajan toiveesta. Tutkimustulosten avulla työtä pystytään suunnittelemaan paremmin ja resurssien käyttöä ennustamaan, mikä puolestaan johtaa kustannustehokkaampaan asennusprosessiin laivanrakennuksessa. Näiden menetelmien avulla pystytään tunnistamaan mahdolliset pullonkaulat ja kehityskohteet. Tämän työn myötä kehittyneiden eri työkalujen avulla projektien resurssitarve kyetään ennustamaan viikkoja ennen asennusten alkamista.

Asiasanat:

Lohkovaihe, laivanrakennus, asennusprosessi, työpaketti, resurssienhallinta

Bachelor’s Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Industrial Management & Engineering

2023 | 23 pages

Max Rogers

Resource control for work packages in shipbuilding’s block phase

The thesis was commissioned by Europlan Engineering Ltd. The aim of the thesis was to calculate installation times for work packages in shipbuilding’s block phase. The research is based on resource control of work packages during the block building phase of shipbuilding. The study was conducted as a qualitative field study during the block building process. Empirical data was collected through observation, discussions, and time stamping of work hours. The objective was to develop a predictive model based on installation times for material packages during the block building phase. This would provide a project-specific, adjustable tool for planning and managing resources. The study developed analytical tools to support the predictive model, which could be used in the planning of work packages.

Due to the wishes of the commissioning party, some of the results and information are not published. The results of the study can lead to better planning and resource management, resulting in a more cost-effective installation process in shipbuilding. These methods can help identify potential bottlenecks and areas for improvement. With the tools developed during this thesis, the resource need for projects can be predicted weeks before installations begin.

Keywords:

Block phase, shipbuilding, installation process, work package, resource planning

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto **5**

1 JOHDANTO **6**

2 LAIVANRAKENNUS JA TEHTÄVÄSUUNNITTELU **8**

2.1 Laivanrakennus 8

2.2 Lohkorakentaminen 9

2.3 Lohkovarustelun aikataulutus 10

2.4 Maapuolen rakennusteollisuuden käytännöt 11

2.5 Materiaalivirta ja materiaalipaketit telakalla 12

2.6 Materiaalipakettien ja työnsuunnittelun nykytila 14

3 LEAN JA TAHTITUOTANTO **16**

3.1 Lean-ajattelu 16

3.2 Virtaustehokkuus 17

3.3 Last planner ja imuohjaus 18

3.4 Tahtituotanto 19

3.5 Tahtiaika 20

3.6 Ennusteiden luominen 21

LÄHTEET **22**

Kuvat

Kuva 1. Laivanrakennuksen prosessikuva

Kuva 2. Kokonaisajan laskentakortti.

Kuva 3. Työpaketin aikajana.

Kuva 4. Materiaalipaketin elinkaaren sijoittuminen laivan aikatauluun.

Kuva 5. Tahtiaikataulun kaava.

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

Jakso	Laivanrakentamisen vaihe. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.)
KT	Kokonaistoimittaja. Toimittaa avaimet käteen-toimituksia. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.)
Tilaaja	Varustamo, laivatilauksen toteuttaja. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.)
Lumipalloefekti	Efekti, jossa tekemättömät työt pakkautuvat loppuvaiheeseen. Efektin myötä työt ovat paljon vaikeampi suorittaa ja työn tekeminen voi viedä kolminkertaisen ajan.
Tuntityökortti	Dokumentti, johon kirjataan yhden työntekijän työaika ja työtunnit.
Last Planner	Projektinhallintamenetelmä, joka keskittyy työmaan aikataulutukseen ja seurantaan. (Koskenvesa & Mäki 2020)
JIT	Just In Time. Tuotantoprosessi, jolla vältetään varastointia, tarkoituksena että resurssit ovat käytettävissä juuri silloin kun niitä tarvitaan. (Logistiikan Maailma.)

1 JOHDANTO

Laivanrakennuksessa keskitytään jatkuvasti tuotantomallin parantamiseen, erityisesti materiaalivirtojen hallinnan osalta. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia materiaalipakettikohtaista resurssien hallintaa laivanrakentamisen lohkovaiheessa.

Telakoilla, ja niiden alihankkijayrityksissä kehitetään jatkuvasti materiaalivirtojen hallintaa, joka on keskeinen tekijä laivan oikea-aikaisessa valmistumisessa. Laivanrakennuksen kehityssuunta pyrkii kohti työtapaa, jossa asentajan rooli olisi keskittynyt pelkästään asennustehtäviin, ja muille yksiköille jäisi muut työtehtävät. Ihanteellinen tila on, että asentajat saavat kaiken tarvittavan materiaalin ja työkalut oikea-aikaisesti, jotta tuotannon virtaus pysyy optimaalisena. Jos tämä saavutetaan, on mahdollista luoda täsmällisempiä ennusteita ja suunnitelmia projekteihin. (Henkilökohtainen tiedonanto 15.11.2022.)

Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Europlan Engineering Oy:n kanssa, joka on yksi Suomen johtavista meriteollisuuden projektinhallintayhtiöistä. Europlan Engineering Oy toimittaa haastavia avaimet käteen -toimituksia telakoille. Meyer Turun telakka on yksi Europlan Engineering Oy:n asiakkaista ja tämä opinnäytetyö on toteutettu Meyer Turun telakan toimipisteellä. Europlan Engineering Oy tarjoaa asiakkailleen kokonaisvaltaisia ratkaisuja suunnittelusta materiaalien hankintaan, asennuksiin ja toimitusten jälkeiseen tukeen. Europlan Engineering Oy:n vahvuus perustuu vahvaan tietotaitoon ja kustannustehokkaaseen projektinhallintaan. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi, yrityksen laaja yhteistyökumppaniverkosto mahdollistaa parhaiden ratkaisujen löytämisen jokaiseen tilanteeseen. Europlan Engineering Oy pyrkii jatkuvasti kehittämään laivanrakennuksen tuotannon suunnittelua ja toiminnanohjausta. (Europlan Engineering Ltd 2023.)

Opinnäytetyössä tutkitaan materiaalipakettikohtaista resurssien hallintaa laivanrakentamisen lohkovaiheessa ja kehitetään materiaalipakettien asennusajan suunnittelua, jotta työnjohto, työnsuunnittelu ja projektinjohto

pystyisivät suunnittelemaan miehitystarpeet mahdollisimman tarkasti ennakkoon. Työnsuunnittelu on haastavaa, sillä asennustyöt tehdään useassa eri vaiheessa tuotantoa. Tämän lisäksi asennusaikoja ei analysoida systemaattisesti, eikä käytössä ole johdonmukaista resurssienhallintatyökalua ja jokainen laivan alue on erilainen erillisine haasteineen. Laivan lohkovaiheessa tehdyt asennustyöt ovat ensiarvoisen tärkeitä, sillä niiden ajoituksella on suuri vaikutus projektin loppuun saattamiseen. Mikäli asennustyöt jätetään viime hetkeen, kustannukset voivat olla moninkertaiset. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan laivan lohkovaiheen aikana tehtyjä asennustöitä miehistöhyttialueilla. Tutkimus keskittyi työpakettikohtaiseen ajankäyttöön ja seurantaan päivä- ja viikkotasolla. Vaikka tutkimuksen fokus oli ajankäytön tarkastelussa, ei se ottanut kantaa logistiikan ja muiden sidosryhmien toimintaan liittyvien ongelmien parantamiseen. Opinnäytetyö on toiminnallinen tutkimus. Teoriaosuudessa tarkasteltiin tehdastuotannon Lean-teoriaa, tahtituotantoa sekä verrattiin rakennusteollisuuden toimintamalleja. Tutkimus toteutettiin haastatteluiden, havainnoinnin sekä erilaisten mittausmenetelmien avulla.

Tämä tutkimus vastaa kysymyksiin: Miten materiaalipakettien asennusaika on määriteltävissä ja miten tulosta voidaan hyödyntää eri laajuuksien projekteissa?

Työ toteutettiin laivaprojektin lohkovaiheen aikana ja on rajattu vain työpakettikohtaisen ajankäytön tutkimiseen, eikä se ota kantaa logistiikan ja muiden sidosryhmien toimintaan liittyvien ongelmien parantamiseen. Opinnäytetyössä käsitellään tehdastuotannon Lean-teoriaa ja rakennusteollisuuden toimintamalleja, joista on saatavilla laivanrakennukseen yhtenevää kirjallisuutta. Osia työstä on luovutettu vain toimeksiantajan käyttöön.

2 LAIVANRAKENNUS JA TEHTÄVÄSUUNNITTELU

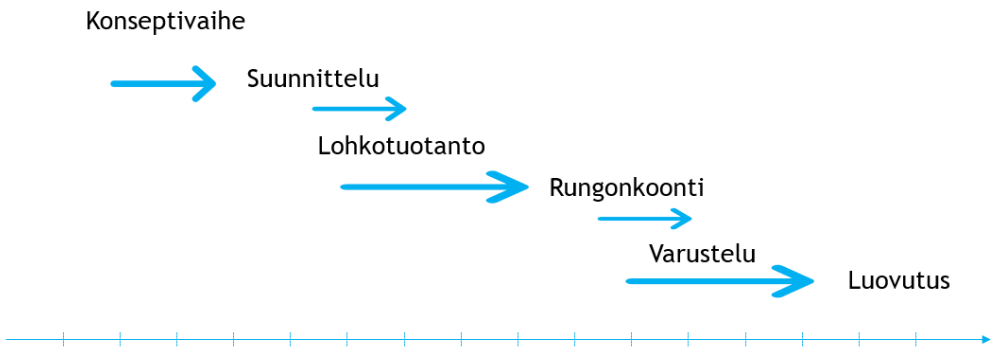
Laivanrakennus on yksi suurimmista ja tärkeimmistä teollisuuden aloista, kun katsotaan kansantaloutta maailmanlaajuisesti (Song & Zhou 2021). Suomessa meriteollisuus muodostuu hyvin laajasta verkostosta yrityksiä, joihin kuuluu monia telakoita ja alihankkijoita. Laivanrakentamisella on Turussa pitkä historia. Meyer Turun Pernon telakka on yksi Suomen suurimmista, ja se on ollut yksi merkittävimmistä laivanrakennustekniikan kehittäjistä. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.)

2.1 Laivanrakennus

Laivanrakentaminen on nykypäivänä todella nopeaa, jolloin työtehtävien sujuva jaksottaminen on tärkeää. Täten materiaalipaketit ja töiden tahdittaminen voivat parantaa laivanrakennusta. (Henkilökohtainen tiedonanto 22.02.2023.)

Meyer Turun telakalla varustelutyöskentely on jaettu moneen eri kokonaisuuteen, kuten lohkovarustelu, sisustusvarustelu ja sähkövarustelu. Lohkovarustelun aikana on tarkoitus saada asennettua laivan haasteellisimmat putkikokonaisuudet lohkon ollessa ylösalaisin. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.) Nykyajan risteilyalukset rakennetaan lohkokoonnilla. Lohkokoontiin kuuluu monia vaiheita itse laivanrakennuksessa. Moderni laivanrakentaminen perustuu alue- ja lohkokoontiin, mikä mahdollistaa risteilijöiden nopeamman läpimenoajan. (Eyres & Bruce 2012, 148.)

Laivanrakennusprojekti alkaa telakan ja varustamon välisellä sopimuksella, jonka jälkeen aloitetaan perussuunnittelu. Perussuunnittelussa luodaan laivan perusta, systeemikaaviot ja järjestelmät. Seuraavana on valmistussuunnittelu ja tuotantoa aloitetaan, jotka toteutetaan osittain yhtäaikaisesti (kuva 1). Tällä keinolla pyritään lyhentämään laivan rakennusaikaa. Valmistussuunnittelussa tehdään täsmentävää suunnittelua, eli laaditaan työpiirustukset ja osaluettelot, joiden pohjalta tehdään täydentävät materiaalihankinnat. (Pääkkönen & Haapalainen 2008.)



Kuva 1. Laivanrakennuksen vaiheet (Olin 2022).

2.2 Lohkorakentaminen

Laivan tuotanto alkaa levytuotannosta. Levyistä luodaan laivan lohkoja, jotka sitten yhdistetään laivan runkoon. Lohkojen varustelu on yksi osa laivanrakennuksen elinkaarta. Varustelu on laivan sisäisten asioiden asentamista ja käyttöönottoa. (Pääkkönen & Haapanen, 2008.) Telakalla tuotetaan paljon työpiirustuksia, joiden perusteella lohkoilla voidaan tehdä asennuksia jo ennen laivan rungon koontia. Se on tärkeä osa varustelua, sillä lohkovaiheessa lohko on ylösalaisin, jolloin haastavien putkikokonaisuuksien asentaminen laivan eri osiin helpottuu. Esivalmisteputket suunnitellaan ennen lohkotuotannon alkua osana valmistussuunnittelua, jotka valmistetaan putkipajalla. Yleisesti ne pitävät sisällään vaikeammat putkilinjat, joita olisi vaikea rakentaa paikan päällä. Iso määrä miehistöhyttialueiden putkista ovat esivalmisteputkia, joita tuodaan telakalle valmiina lohkoille, joissa ne sitten saavuttavat lopullisen paikkansa lohkovarustelussa. (Henkilökohtainen tiedonanto 23.02.2023.)

Edellä mainittujen keinojen avulla kyetään säästämään kustannuksia ja rasittavaa työtä. Jos lohkovarustelussa jää haastavia töitä tekemättä, voivat ne olla monta kertaa haastavampia laivanrakennuksen seuraavassa rakennus vaiheessa (Pääkkönen & Haapanen, 2008). Tämän takia materiaalipaketit ovat

todella hyödyllisiä, sillä ne edistävät asennuksien oikea-aikaisuutta. Kuva 2 kuvaa lohkon eri rakennusvaiheita ennen kuin lohko yhdistetään osaksi laivan runkoa. Rungon ollessa koottu on laivan ulkokuori valmis. Laiva sitten uitetaan varustelulaituriin, jonka jälkeen voidaan aloittaa sisustusvarustelu.

2.3 Lohkovarustelun aikataulutus

Kaikki aikataulut ja ajalliset suunnitelmat ovat ennusteita. Ennusteet ovat lähes poikkeuksetta virheellisiä (Koskenvesa & Mäki 2020).

Laivan aikataulutuksessa käytetään eri virstanpylväitä, jotka parantavat laivanrakennuksen valmistumisen hahmottamista. Esimerkiksi kun ensimmäinen osa laivaa lasketaan varustelualtaaseen - yleisesti köli - on silloin laivan runkovaihe aloitettu. Lohkovarustelun aikataulun pitää korreloida laivan omaa aikataulua ja tiettyihin virstanpylväisiin on välttämätöntä päästä. Tämän takia lohkojen varusteluajat voivat vaihdella parista viikosta pariin kuukauteen. (Räsänen 1997, 30–11.) Pernon telakalla on arvioitu, että lohkovarusteluun täytyisi saada vähintään kaksi viikkoa aikaa, jotta saadaan asennettua ainakin kriittisimmät osat lohkoon lohkovarustelussa (Henkilökohtainen tiedonanto 23.02.2023).

Lohkoja varustellaan pääosin varusteluteltoissa, mutta Suomen sääolosuhteet tuovat haasteita työturvallisuuteen ja varusteluun. Lohkoja pyritään varustelemaan parhaissa mahdollisissa olosuhteissa ja tämä otetaan huomioon myös aikataulun suunnittelussa, sillä isoja putkikokonaisuuksia sisältävä lohko tarvitsee pitkän varusteluajan - mahdollisimman hyvissä olosuhteissa. (Henkilökohtainen tiedonanto 23.02.2023.)

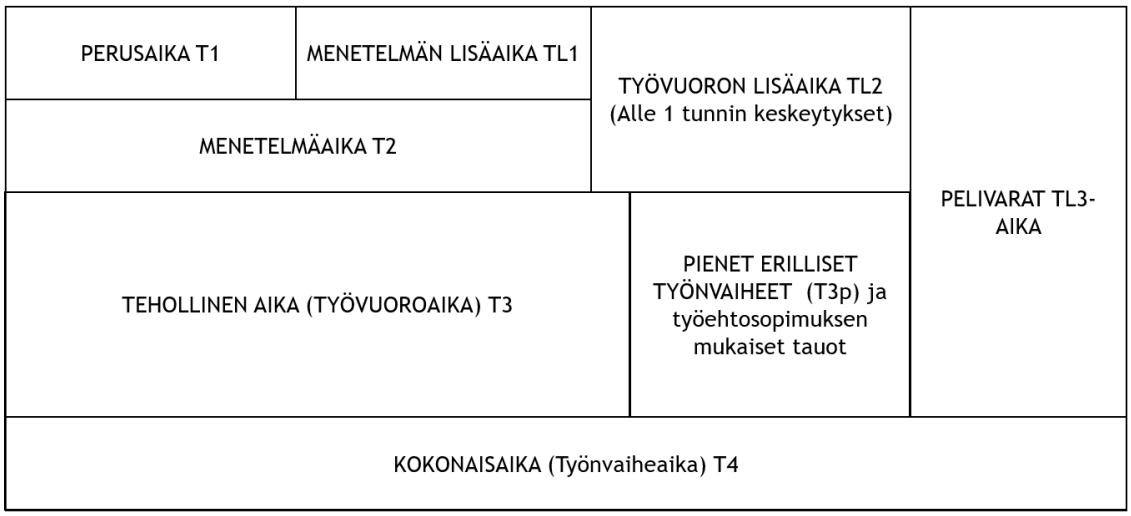
Telakka tekee tuottavuusseurantaa lohkovarusteluasteesta, josta voidaan ennustaa tulevaisuuden työkuormaa. Jos asteluku on alhainen, oletettavaa on, että laivan loppuvaiheeseen on tiedossa kiire. Tämän takia yritetään lohkovaiheessa tavoitella 50–60 % valmiusastetta koko varustelun työmäärästä. (Pääkkönen & Haapanen, 2008, 48–53.)

2.4 Maapuolen rakennusteollisuuden käytännöt

Rakennusteollisuudessa on paljon enemmän yleiseen projektinhallintaan käytettävää suunnittelua tukevaa kirjallisuutta, koska siellä pystytään tuottamaan työohjeita, jotka voidaan kelpuuttaa kaikille. Meriteollisuudessa jokainen telakka tuottaa omat työohjeet, joten tietoihin käytetyt resurssit ovat suppeammat. (Henkilökohtainen tiedonanto 23.02.2023.)

Rakennustöiden menekit -kirja on Talonrakennusteollisuus ry:n kokoama kirja, joka pitää sisällään tuotannonsuunnittelun työ- ja materiaalimenekkitiedot. Kirjaan on koottu arviot erilaisista työvaiheista, joita on talonrakennusteollisuudessa ja niitä päivitetään vuosittain. Tietoa on kerätty kirjoihin ja standardeihin jo 1970-luvulta lähtien ja niitä käytetään rakennushankkeen aikataulu- ja kustannussuunnittelussa. Rakennustöiden menekit -kirjassa olevat RT-kortit pitävät sisällään lähes kaikki laskennassa huomioon otettavat työmenekit, mutta ne ovat silti arvioita. Kirja käsittelee myös materiaali hukat mutta sitä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. (Wind ym. 2015.)

RT-korteissa (kuva 2) käytetään yleisimmin käsitettä tth, joka tarkoittaa työntekijätuntia. 1tth kertoo kuinka paljon yksi asentaja (rakennustyöntekijä) saa työtä aikaan yhden tunnin aikana, eli kuinka paljon työtä saadaan aikaan ilman häiriöitä ja keskeytyksiä. Kun tth on tiedossa, lisätään siihen mukaan menetetty työaika TL2 ja TL3 (lisäaikakertoimet), jotka ovat työtä häiritseviä tekijöitä (Esim. työkalupakin hakeminen). T4 on koko työn tekemiseen vievä aika, eli työvaiheaika. T4 aikaa on paras käyttää aikataulua laatiessa koska se kertoo toteutuneen ajan. (Wind ym. 2015.)



Kuva 2. Kokonaisajan laskentakortti (Wind ym. 2015, 8).

Työntekijätuntia voidaan hyödyntää myös laivanrakennuksessa, sillä sitä käytetään maapuolen rakennusteollisuudessa ja eroja laivanrakennuksen rakentamisprosesseihin on vähän. Telakalla on käytössä työtapastandardeja sekä työohjeita, jotka määrittävät millä tavalla työ tulisi suorittaa, mutta ne voivat vaihdella telakoittain. Tässä opinnäytetyössä halutaan keskittyä T4 aikaan ja miten sitä voidaan käyttää tulevaisuuden ennustamisessa.

2.5 Materiaalivirta ja materiaalipaketit telakalla

Materiaalipaketit sisältävät jonkin tietyn systeemin komponentteja ja osia, jotka asennetaan jossain tietyssä laivanrakennusvaiheessa, tiettynä ajankohtana. Materiaalipakettien tarkoituksena on sujuvoittaa eri varustelun vaiheiden suunnittelua ja asennusten läpimenoaikaa. Laivanrakennusprojekti on hyvin laaja ja siihen lukeutuu laaja alihankintaverkosto. Näiden alihankkijoina toimivien yritysten toiminta vaikuttaa laivanrakennusprojektin moneen vaiheeseen. Onnistunut laivanrakennus edellyttää sellaista logistiikan toimintaa, joka ennaltaehkäisee pullonkaulojen syntymistä, sillä materiaalin saanti on ehdoton vaatimus työn teolle ja valmistumiselle. Materiaalipakettien ajatus on sisältää kaikki tarvittavat osat, jotka asennetaan tiettyyn lohkoon tai alueeseen, jossain tietyssä laivanrakennuksen vaiheessa. Laivanrakennukseen

käytettävien materiaalien määrät ovat suuria, ja tämän myötä logistiikan toimivuudella on suuri vaikutus projektin onnistumisessa. Onnistunut logistiikka mahdollistaa oikean tavaran saapumisen oikeaan aikaan haluttuun paikkaan. Materiaalipakettien avulla asiaa on viime vuosina pyritty parantamaan, jotta asentajilla olisi aina materiaalia saatavilla, jolloin hukkaa ei tulisi. (Henkilökohtainen tiedonanto 20.02.2023.)

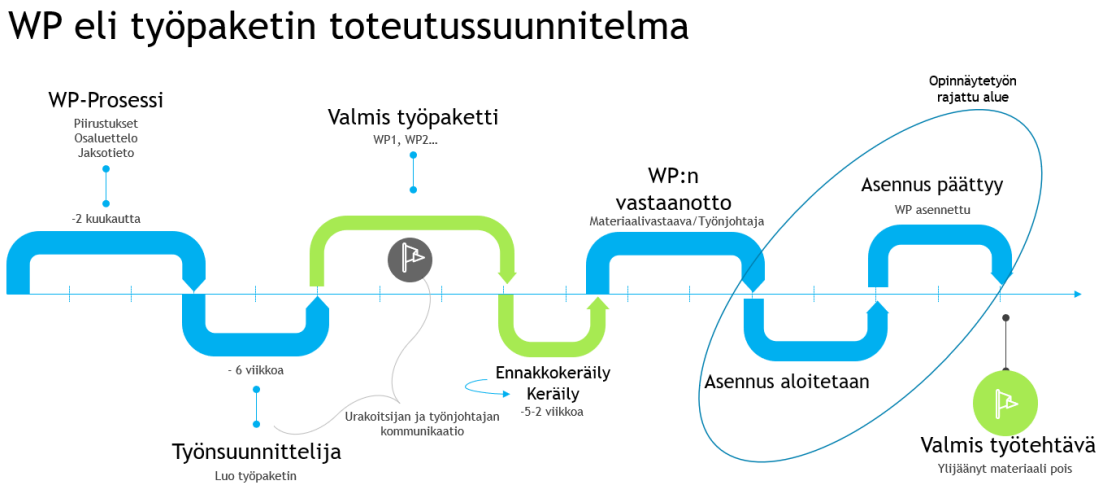
Materiaalipakettien yksi tarkoitus on vähentää hukka-aikaa asennusvaiheessa, joka tarkoittaa sitä, ettei asentajilla kulu liikaa aikaa odotteluun, tai uusien osien ja materiaalin hakemiseen. Rakennusvaiheessa tehtävät muutostyöt aiheuttavat haasteita töiden ennustamiseen. Ongelma on, että systeemit eivät ole aina piirretty suunnittelussa tarpeeksi täsmällisesti, jonka myötä muutoksia täytyy tehdä laivanrakennusvaiheessa. Esimerkkinä pienestä muutostyöstä voidaan käyttää putkilinjan siirtämistä 2 cm toiseen suuntaan. Esimerkkinä suuresta muutostyöstä voidaan käyttää koko linjan kulun muokkaamista, jolloin se täytyy suunnitella uudelleen. Suuret rakennusvaiheessa tehtävät muutostyöt voivat käytännössä tarkoittaa sitä, että kaikki osat tilataan uudelleen. Tilanne voi pahimmillaan johtaa lohkon valmistuksen hidastumiseen. Muutostyöt ovat ihannetilanteessa huomioitu jo laivan suunnitteluvaiheessa. (Henkilökohtainen tiedonanto 24.02.2023.)

Tehtävien täsmällinen suunnittelu on iso osa laivan oikea-aikaista valmistumista. Telakalla voidaan suunnitella tuotantoa tarkastelemalla niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotannon laajuuteen ja kapasiteettiin. Kokonaistoimituksia tarjoavat alihankkijat ovat usein osallisia useisiin projekteihin samanaikaisesti. Alihankkijat käyttävät samoja toimijoita esimerkiksi asennustöihin. Kun lohkon tuotantomäärä osataan arvioida, tulee laivojen suuri koko ja monimutkaisuus ottaa huomioon, ja varmistaa, ettei samanaikaisesti ole samanlaisia tarvetta tehtävälle työlle koko laivan elinkaaren aikana. Jos esimerkiksi asennuksiin tarvittavia työntekijöitä käytetään yhtäaikaisesti useassa projektissa, riski toisen projektin viivästymiselle on suuri. Jos tuotannossa tavoitellaan ylituotantoa, on olemassa riski tuottavuuden alenemiselle, sillä osien samanaikainen edistyminen ei mahdollistu. Mikään

laivanrakennuksen tuotannon osa ei saisi tavoitella ylituotantoa, koska tuottavuus huononee, kun kaikki osat eivät etene samanaikaisesti. (Räsänen 1997, 30–3.)

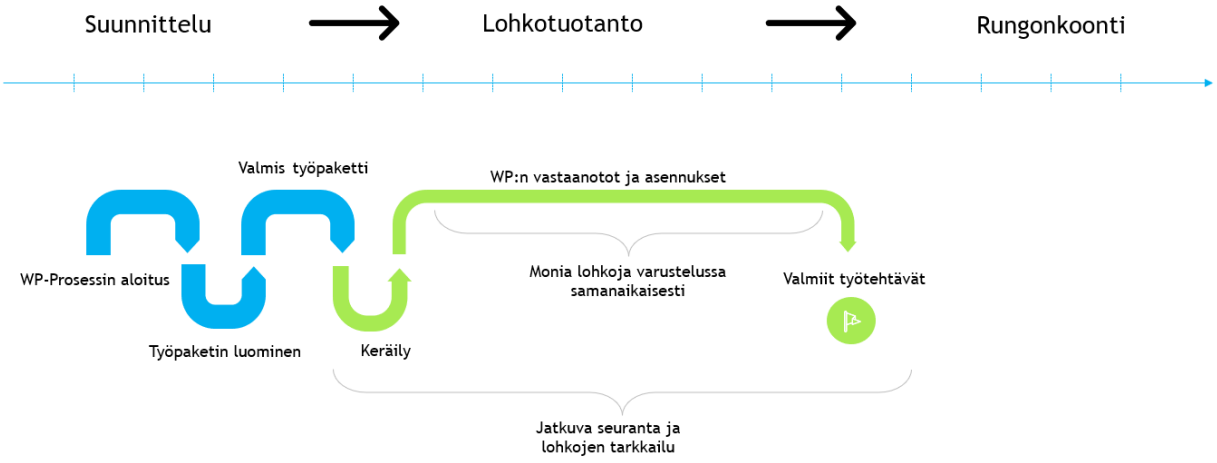
2.6 Materiaalipakettien ja työnsuunnittelun nykytila

Materiaalipakettien käyttöönotto laivanrakennuksessa voi kehittää rakennusajan tuottavuutta ja pienentämään rakennuksessa aiheutuvaa hukkaa ajan ja materiaalien suhteen. Tarkoitus on tarjota asentajille mahdollisuus tehdä ainoastaan tuottavaa työtä ja jättää tuottamattomat osat projektin muille tekijöille, kuten logistiikalle. Tulevaisuudessa materiaalipakettien avulla kyetään hallitsemaan tuotantoaikataulua paremmin ja varmistamaan pullonkaulojen minimointi. (Henkilökohtainen tiedonanto 12.12.2022.)



Kuva 3. Työpaketin aikajana.

Materiaalipakettien aikatauluttaminen kulkee työkuvien kanssa käsikädessä, mutta samalla pidetään silmällä lohko- sekä projektiaikataulua. Työnsuunnittelu käy läpi kuvien osaluettelot, ja materiaalipaketti paketoidaan sen mukaan. Olennaista on saada materiaalipaketit valmiiksi ennen lohkon varusteluajan alkamista, jotta se pystytään keräilemään ja toimittamaan lohkolle sille allokoidussa aikaikkunassa.



Kuva 4. Materiaalipaketin elinkaaren sijoittuminen laivan aikatauluun.

Materiaalipakettien merkitys lohkovarustelussa korostuu erityisesti esivalmisteputkissa, joissa esiintyy useita eri linjoja ja systeemejä. Hyvin strukturoitu ja suunniteltu materiaalipaketti varmistaa, että rakennusprosessi on tehokas ja hukkaa minivoiva. Jotta kaikki saadaan asennettua oikea aikaisesti, tavoitteena on luoda materiaalipaketeille oikeellisen aikataulutuksen edellytykset. Materiaalipaketti voidaan paketoida niin, että siihen sisällytetään tahti. Tahdituksen myötä työpaketit voitaisiin luoda periaatteella, jossa yksi materiaalipaketti on viikkotasolla tai päivätasolla asennettava. (Henkilökohtainen tiedonanto 23.02.2023.)

3 LEAN JA TAHTITUOTANTO

3.1 Lean-ajattelu

Lean -ajattelumallilla ei pyritä tekemään asioita nopeammin, vaan sillä pyritään minimoimaan hukkaa. Lean koetaan rakentuvan viidestä perusperiaatteesta. Siinä pyritään jatkuvaan kehitykseen ja sen pohjustus työ tulee ihmisten kunnioituksesta. Viisi periaatetta on ohje kehitykselle työpaikan tehokkuudessa. (Doanh 2017.)

Lean -ajattelussa arvoketjun tunnistaminen on keskeistä. Koko ajattelun päämääränä on lisätä arvoa tuottavia tekijöitä ja poistaa hukkaa eli tuottamattomia osia. Laivanrakennuksen tuotannossa hukkaa tuottavia tekijöitä voi olla monia, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään asentajien työn, sekä ajankäytön hukkaan ja lisäksi pyritään tunnistamaan työtapoja, joilla niitä voitaisiin vähentää.

Kun puhutaan *tahditetusta tuotannosta*, on sille ominaista, että työ on tarkoitusperäistä ja suunniteltua (Modig & Åhlström 2013). Lean -ajattelua ja tahtituotantoa on tutkittu jossain määrin laivateollisuudessa. On kuitenkin todettu sen olevan vaikea toteuttaa lohkotuotantoympäristössä. On ymmärrettävää, sillä jokainen lohko ja alue ovat uniikkeja ja ne vaativat täten erilaisia resursseja sekä työvaiheita.

Lean filosofian viisi perusperiaatetta:

1. Määritä arvo
2. Kartoita arvoketju
3. Luo virtaus
4. Perusta imu
5. Täydellisyyden tavoittelu (Doanh 2017).

Lean ajatusmalli syntyi aikoinaan tuotanto harjoitteista mutta on ajan saatossa muokkautunut osaksi monen yrityksen toimintaperiaatteita. Ajatusmalli sai alkunsa jo 1950-luvulla Toyotan autotehtaissa, jossa perehdyttiin

autonrakennuksen tuotantojärjestelmään. (Liker & Convis 2012, 1–4.) Laivanrakennus ei ole samanlainen prosessi, kun autonrakennus, sillä projektit ovat huomattavasti suurempia ja yksityiskohtaisempia, mutta Leanin ajatusmalli mukautuu tarpeisiin ja sitä voidaan soveltaa myös laivanrakennukseen.

Lean filosofian mukaan kaikki asiat pyritään saamaan tehtyä ajallaan - eli Just-In-Time (*JIT*), jotta mikään osa tuotantoa ei luo ylimääräisiä välivarastoja. Tällöin kyetään keskittymään niihin asioihin, jotka ovat yritykselle rahaa tuottavia tekijöitä. Kun tämä filosofia saadaan toimimaan, virtaa tuotteet tuotannon läpi, jolloin saadaan luotua virtaus. (Doanh 2017). Tämän näkökannan implementointi telakalle voi tuottaa paljon lisäarvoa materiaalien hallinnassa, kun kaikki tekijät virtaavat läpi toimitusketjun.

Lean ajattelun yksi tapa rakentuu virtausajan ja siihen olevien muutoksien ympärille. Kun Lean ajattelussa syvennytään virtausaikaan ja aikariippuvuuteen, täytyy siinä tuntea sen keskeisimmät teoriat. Toimitusketjun virtauksen ymmärtämiseksi täytyy ottaa huomioon kaikki vaikutustekijät ja parametrit. (Six sigma, 2023b.) Telakalla voi esiintyä useita erilaisia vaikutustekijöitä ja parametrejä.

3.2 Virtaustehokkuus

Kingsmanin yhtälö avustaa havaitsemaan läpimenoajan muodostumista. Yhtälö koostuu neljästä eri rakenneosasta, joiden perusteella saadaan laskettua läpivirtausaika. Yhtälö vetää yhteen virtaukseen vaikuttavan ulkoisen vaihtelun, sisäisen vaihtelun, resurssien käytön tehokkuuden ja palvelevan prosessin raa’an prosessiajan. Leanissa tavoitellaan resurssitehokasta läpimenoaikaa vähäisellä vaihtelulla. (Six sigma, 2023b.)

Virtaus- ja resurssitehokkuuden parantamisessa tärkeää on asioiden onnistuneet parantamistoimenpiteet ja niiden kohdistus oikeaan paikkaan (Six sigma, 2023b). Laivanrakennuksessa alihankkijoilla voi olla tekijöitä, joihin ei voida vaikuttaa, mutta tämän myötä toimenpiteet täytyy kohdistaa tekijöihin, joihin pystytään vaikuttamaan. Oman materiaalihallinnan täsmällinen

suunnittelu ja toiminta luo hyvän perustan tehokkuudelle. Suunnitteluun täytyy siis löytää oikeat työtavat, jotta projektia osataan ennustaa mahdollisimman tarkasti.

3.3 Last planner ja imuohjaus

Last planner on Leanista poikinut työskentelytapa, jolla pyritään projektin ajalliseen ja sisällölliseen johtamiseen. Työkalun käyttö perustuu siihen, että sen ajattelussa pyritään osallistuttamaan avainhenkilöt aikataulusuunnitteluun, esteiden poistamiseen ja sitouttamalla kaikki osapuolet. (Koskenvesa & Mäki 2020, 7.) Yleisin syy hankkeiden huonoihin tuloksiin johtuu siitä, etteivät osapuolet halua sitoutua niihin, sillä jo käytössä olevat työtavat ovat todettu toimiviksi (Henkilökohtainen tiedonanto 13.03.2023). Muutoshankkeille on myös ominaista, että halutaan saavuttaa pysyvämpiä tuloksia. Tällöin pyrkimyksenä on sitouttaa koko organisaatio, sillä kaikkien on ymmärrettävä hankkeen hyödyt. (Koskenvesa & Mäki 2020, 83.)

Laivanrakennuksessa imun luonti on tarpeellista, sillä varastointi voi olla kallista ja hankalaa (Henkilökohtainen tiedonanto 23.02.2023). Imuohjaus on Lean filosofiassa käsite, jolla pyritään luomaan materiaalille tarve ja tarpeen perusteella ohjata tuotantoa. Taustalla olevan konseptin tarkoitus ei ole olla käytössä aikataulun suunnittelutyökaluna, vaan sen sijaan reagoida tarpeeseen, jolloin tuotetaan vain sitä mitä tarvitaan. (Arnold ym. 2008, 447.) Zong Mingdi ja Sun Houfang toteavat, että tuotannon ohjaamiseen täytyy kehittää toimiva malli, jota voidaan soveltaa telakan oman työmaan alueella, eli luodaan Lean-mallin mukainen tuotannonohjaussuunnitelma (Mingdi & Houfang 2012).

Lean ajattelun mukaan on tärkeää, että materiaali on heti saatavilla ja sen toimitusvarmuus hyvä, jolloin JIT käytäntö saadaan täyttymään. Telakan laivanrakennusprojektit ovat niin massiivisia, että standardiosien tilausmäärät ovat myös todella suuria. Telakka toimittaa osia alihankkijoille oman varastotilanteen mukaan. Tämän myötä toimitusajat ovat pitkiä, joten JIT ja imuohjaus voivat osittain olla vaikeita toteuttaa alihankkijan näkökulmasta.

3.4 Tahtituotanto

Tahtituotanto on työmalli, jossa pyritään käyttämään hyväksi työkohteiden toistuvuutta. Tämän seurauksena tuotantoa voidaan suunnitella työpaketeittain täsmällisemmin, jonka pohjalta tuotanto voidaan jakaa tahtialueisiin ja kaikkea tahdittamaan tahtiaika. Tahtiaika viittaa optimaaliseen nopeuteen, jolla tuote on tuotettava, jotta voidaan vastata asiakkaan kysyntään. (Koskenvesa & Mäki 2020, 78.)

Lean tuotanto ei pyri tekemään asioita mahdollisimman nopeasti, vaan tekemään asiat oikein ja poistamalla hukan. Tuotannon tahdittamisella pyritään varmistamaan asioiden oikea-aikainen läpimeno ja ylituotannon/alituotannon ehkäisy imuohjauksella. Kun tahtituotannossa toimii virtaus ja imu, on tärkeää, ettei pullonkauloja synny, jotka sitten estäisivät arvoa tuottavan työn etenemisen. Odottamisaikoja tulee täten minimoida. (Hopp & Spearman 2004, 141.)

Laivanrakennuksessa on pyritty etenemään malliin, jossa asentajien ainoa tehtävä olisi tehdä asennukset. Tarkoitus olisi saada asentajille kaikki materiaali ja työkalut suoraan työpisteelle oikea-aikaisesti, jolloin tahtituotannon edellytykset olisivat valmiina (Henkilökohtainen tiedonanto 24.02.2023.) Kun tahtituotanto on toimivaa, läpimenoajat ovat sulavia ja työtehtävien vaihtuminen olisi moitteetonta. Tekemisen tarkoituksena ei siis ole kiireellisyys. (Hopp & Spearman 2004, 141.)

Tahtituotannossa oleellista on sen soveltaminen sellaiseen kohteeseen, jossa on paljon toistuvuutta. Samankaltaisista alueista voidaan luoda samankokoisia tehtäväkokonaisuuksia, joille voidaan varata sama työaika (Koskenvesa, 2020.) Laivan hyttialueet ovat tästä hyvä esimerkki, jossa materiaalipaketti voisi luoda tehtäväkokonaisuuden. Tällä hetkellä laivan esivalmisteputkista luodaan materiaalipaketteja ja tämän tutkimuksen tuloksilla siitä voitaisiin tehdä tahti.

3.5 Tahtiaika

Tahtiaika mielletään yleisesti tuotannon tai prosessin sydämenlyönniksi eli tahdittajaksi. Se määrittää nopeuden, jolla tuotannon täytyy toimia, että saavutetaan aste, jolla voidaan vastata kysyntään. Tahtiaika on mittari, jolla pyritään kartoittamaan tulevaisuuden arvovirran tilaprosessia, eli pyritään ennustamaan tarve kysyntää varten. (Arnold ym. 2008, 455.) Jos tuotantoprosessi on hyvin suunniteltu se tarkoittaa, että kysyntään pystytään vastaamaan minimaalisella välivarastoinnilla, jota telakoilla juuri yritetään välttää. Jos tavaraa on tilattuna liikaa lohkoille, osia jää asentamatta ja seurauksena niitä joudutaan varastoimaan tai siirtelemään lohkon siirtojen jälkeen. Tällainen toiminta ei vastaa Lean filosofian pääperiaatteita.

$$\text{Tahtiaika} = \frac{\text{Nettoaika}}{\text{Yksiköiden määrä}}$$

Kuva 5. Tahtiaikataulun kaava (Koskenvesa & Mäki 2020).

Jos kuvan 8 kaavaa käytetään esimerkkinä ja tuotantolinja on käynnissä 4 tuntia kun kysyntä on 200 kappaletta tuotetta, on tahtiaika 1,2 minuuttia per tuote, sillä käytettävissä oleva nettoaika (4 x 60min = 240min) jaetaan yksiköiden määrällä (200 kpl).

Hyvä esimerkki laivanrakennukseen käyttöönotettavasta tahtituotannosta on materiaalipakettien keräileminen lohkoille. Tahtituotannon avulla lohkolla asennettavalle materiaalille voidaan asettaa tarvittava aikaresurssi, joka osoittaa ajan, jonka aikana osat tulee asentaa. Tämän keinon avulla voidaan minimoida myöhästymää, sillä tarvittavat henkilöresurssit ovat ennustettavissa pohjautuen materiaalipaketin kokoon.

3.6 Ennusteiden luominen

Ennusteiden luominen laivanrakennuksessa voi ajoittain olla haastavaa. Glenn Ballard ja Gregory Howell toteavat kirjassaan ”Lean project management” että projektien voidaan perustella olevan tilapäisiä tuotannonhallintajärjestelmiä ja ennusteen avulla pyritään ennakoimaan tulevaisuuden tarpeita (Ballard & Howell 2003). Ennusteiden on siis oltava täsmällisiä, jotta ylituotanto minimoidaan. Ihannetilanteessa tuotannossa kyetään pysymään oikeassa tahdissa, ja pullonkaula-periaatteen mukaan kaikkien töiden on pysyttävä tasapainossa. Ylituotannolla voidaan vain hetkellisesti pyrkiä vaikuttamaan tulevaisuuden työkuormaan (Womack & Jones 2010.) Tahtituotannon periaatteiden mukaan tuotannon nopeutta pitää siis säädellä myös ennusteissa, mutta jatkuvaa seurantaa tehdessä ennusteen tulee olla muokkautuva. Ajattelussa ennusteet voidaan siis perustaa aiemmista projekteista löytyvään dataan, jolloin tulevaisuuden projektit voidaan suunnitella dataan pohjautuen. Tätä kutsutaan ekstrapoloivaksi ennustamiseksi. (Fildes 1992.)

Ekstrapoloivien ennustusmenetelmien avulla pyritään siis ennustamaan tulevaa menneiden havaintojen perusteella. Menetelmällä pyritään aikasarjaennustamiseen ja niitä vertaillaan empiirisesti, tärkeää on muistaa tietojen validointi. (Fildes 1992.) Ennusteita voitaisiin siis tehdä tehdastuotannon tapaisilla ennustusmalleilla, kunhan ne ovat sopeutettu laivanrakennukseen ja menneitä havaintoja kyetään ymmärtämään.

LÄHTEET

Arnold, J.R. T. Chapman, S. N. & Lloyd, M. C. 2008. Introduction to Materials Management 6. painos. Viitattu 22.02.2023.

Ballard, G. & Howell, G. 2003. Lean project management. Building Research & Information, 31(2).

Doanh, D. 2017. The Lean Way 2023. The Five Principles of Lean. Viitattu 17.02.2023. https://theleanway.net/The-Five-Principles-of-Lean.

Europlan Engineering Ltd 2023. Perfect key to turnkey. Viitattu 15.11.2022. https://europlan.fi/about-us/.

Eyres, D & Bruce, G. 2012. Ship Construction. Oxford: Butterworth-Heinemann; Amsterdam: Elsevier. Viitattu 23.02.2023.

Fildes, R. 1992. The evaluation of extrapolative forecasting methods. International Journal of Forecasting, 8.

Hopp, W.J. & Spearman, M.L. 2004. To pull or not to pull: what is the question?. Manufacturing & service operations management, 6. Viitattu 27.02.2023.

Koskenvesa, A. & Mäki, T. 2019. Last Planner: Opas suunnittelun ja tuotannon johtamiseen. Espoo: Mittaviiva Oy.

Liker, J. & Convis, G. 2012. Toyotan tapa lean-johtamiseen. Readme.fi. Suomennos Niemi, Marko.

Logistiikan Maailma. JIT (Just-in-time) ja imuohjaus. Viitattu 26.5.2023. https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/.

Mingdi, Z. & Houfang, S. 2012. December. An integrated method of hierarchical planning and “pull-way” production control for lean shipbuilding. In 2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 2150-2154). IEEE. Viitattu 24.02.2023.

Modig, N. & Åhlström, P. 2013. Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksii. Rheologica publishing. Suomennos: Maarit Tillman.

Olin, K. 2022. Yritysten välinen yhteistyö laivanrakennusprojekteissa. Diplomityö. Johtamisen ja talouden tiedekunta. Tampereen yliopisto. Viitattu 21.03.2023. https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202202172020

Pääkkönen, T. 2008. Haapalainen, M. Laivaputkiasentajan oppikirja.

Räsänen, P. 1997. Laivatekniikka; Modernin laivanrakennuksen käsikirja.

Six Sigma. Quality Knowhow Karjalainen Oy 2023b. Virtauksen mallit. Viitattu 20.02.2023. https://sixsigma.fi/keskeiset-mallit/virtauksen-mallit/.

Six Sigma. Quality Knowhow Karjalainen Oy 2023b. Kingsmanin yhtälö. Viitattu 20.02.2023. https://sixsigma.fi/kingmanin-yhtalo/.

Song, T. & Zhou, J. Research and Implementation of Lean Production Mode in Shipbuilding. Processes 2021, 9, 2071.https://doi.org/10.3390/pr9112071. Viitattu 24.02.2023

Wind, N., Kivimäki, C., Koistinen, L., Lahtinen, M. & Koskenvesa, A. 2014. Rakennustöiden menekit 2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Womack, J.P. & Jones, D.T., 2010. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Simon and Schuster.