

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Meritekniikka

2019

Juuso Jaalamo

MODULOINNIN KEHITTÄMINEN LOHKONKOONNISSA

TURKU AMK 
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Meritekniikka

2019 | 36 sivua

Juuso Jaalamo

MODULOINNIN KEHITTÄMINEN LOHKONKOONNISSA

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Meyer Turku Oy. Työn tavoitteena oli arvioida moduloinnin vaikutusta lohkonkoontiin ja tarkoituksena oli kehittää sitä. Työssä pyrittiin etsimään ratkaisuja runkotuotannon modulointiin arvioimalla parhaat ratkaisut moduuleiden rakennuspaikoiksi, tulevaisuuden moduuleiden rakenteiksi ja niiden vaatimuksiksi.

Moduloinnin kehitys tulevaisuudessa on tärkeää, koska lohkonkoonnin on pystyttävä vastaamaan kasvavaan tuotantoon tulevaisuuden investointien ja nopeampien toimitusaikojen takia ja modulointi on yksi keino, jolla saadaan lohkonkoonnin tuotantoa virtaavammaksi. Työmäärän hajonta erilaisissa lohkoissa on myös suurta ja lohkojen rakennuspaikkoja on rajallinen määrä, joten suuritöisten lohkojen työmäärää rakennuspaikalla on saatava lyhemmäksi eli kaikkia lohkoja samanpituisiksi. Modulointi erilaisissa rakenteissa voisi olla siis yksi ratkaisusta tulevaisuuden tuotannon tarpeisiin.

Opinnäytetyön toimeksiantona oli myös suorittaa kellotus moduulin kokoamiseen ja lohkojen rakentamiseen. Kellotettavaksi moduuliksi lohkoista valikoitui laipior ryhmä, jonka kokoaminen ja hitsaaminen suoritettiin lohkonkoonnin rakennuspaikalla. Moduulin kokoamisen ja lohkojen rakentamisen kellotuksista saatiin hyviä tuloksia, joilla pystyttiin arvioimaan moduloinnin todellista hyötyä lohkonkoonnille.

ASIASANAT:

Telakka, laivanrakennus, modulointi, lohkonkoonti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Marine Technology

2019 | 36 pages

Juuso Jaalamo

DEVELOPING OF MODULATION AT SECTION ASSEMBLY

The thesis was commissioned by Meyer Turku Oy. The goal of the work was to estimate the effect of modulation to section assembly and the purpose was to develop it. The aim of this thesis was to find solutions for modulation of hull production by evaluating the best solutions for the module's building sites, future's module structures and their requirements.

The future development of modulation is important because section assembly must be able to cope with increasing production due to future investments and faster delivery times. Modulation is one way to make improve the production flow of section assembly. The workload dispersion in the different blocks is also large and there is only a limited amount of the building sites, so the workload of large blocks must be shorter. Also, the workload of blocks must be more similar. Modulation in different hull production structures could be one of the solutions for future's production needs.

One of the objectives of the thesis was to measure the time that was spent for assembling the module and building the blocks. The bulkhead group was selected as the module. The module's assembly and welding were done in section assembly's building site. Measuring the module's assembly and the blocks' building gave good results for estimating the real benefits of modulation and how useful it really is for section assembly.

KEYWORDS:

Shipyard, shipbuilding, modulation, section assembly

SISÄLTÖ

| | |
|--|-----------|
| KÄYTETYT LYHENTEET | 6 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 1.1 Työn tavoitteet ja tarkoitus | 7 |
| 1.2 Toimeksiantajan esittely | 8 |
| 2 LAIVANRAKENNUKSEN RUNKOTUOTANTO | 9 |
| 2.1 Yleistä runkotuotannosta | 9 |
| 2.2 Suunnittelu | 10 |
| 2.3 Osavalmistus | 10 |
| 2.4 Lohkonkoonti | 11 |
| 2.5 Suurlohkokoonti | 13 |
| 2.6 Pintakäsittely | 14 |
| 2.7 Rungonkoonti | 15 |
| 3 TUOTANNON VIRTAUTTAMINEN | 16 |
| 3.1 Virtaustehokkuus ja prosessi | 16 |
| 3.2 Läpimenoaika | 16 |
| 3.3 Vaihtelu | 17 |
| 3.4 Lean | 17 |
| 3.5 DFX | 18 |
| 4 MODULOINTI | 21 |
| 4.1 Yleistä moduloinnista | 21 |
| 4.2 Moduloinnin hyödyt | 21 |
| 4.3 Moduloinnin haasteet | 22 |
| 4.4 Moduloinnin vaiheet ja valinta | 23 |
| 4.5 Edellytykset moduloinnille | 24 |
| 4.6 Työpisteet ja niiden vaatimukset | 25 |
| 4.7 Ehdotuksia moduloinnin kohteiksi | 27 |
| 4.8 Kooste | 28 |
| 4.9 Ohjeistus suunnitteluun | 29 |
| 5 LAIPIOMODUULIN KELLOTUS | 30 |
| 5.1 Yleistä laipiomoduurin kellotuksesta | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 6 TULOKSET JA POHDINTA | 32 |
| 6.1 Laipiomodulin ja lohkojen kellotuksien tulokset | 32 |
| 6.2 Pohdinta | 33 |
| 6.3 Kehitys | 34 |
| 7 YHTEENVETO | 35 |
| LÄHTEET | 37 |

KUVAT

| | |
|------------------------------------|----|
| Kuva 1. Runkotuotannon päävaiheet. | 9 |
| Kuva 2. Lohko. | 12 |
| Kuva 3. Pintakäsitelty suurlohko. | 14 |

KÄYTETYT LYHENTEET

| | |
|------------------|--|
| Bulbi | Jäykistepalkki |
| H-palkki | H-kirjaimen muotoinen jäykistäjä |
| Koontiohje | Tarkempi suunnitelma, joka kertoo osa tarkkuudella koonti-järjestyksen |
| Laipio | Laivan runkoa vahvistava seinä |
| Polvio | Levyosa, joka toimii tukilevynä |
| Rihtaus | Liekkioikaisu |
| Ritsi | Merkkausviiva |
| T-palkki | T-kirjaimen muotoinen jäykistäjä |
| Tahtisuunnitelma | Suunnitelma, joka määrittää rakentamisen/kokoamisen jär-jestyksen |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet ja tarkoitus

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Meyer Turku Oy, ja opinnäytetyön tavoitteena on arvioida moduloinnin vaikutusta lohkonkoontiin ja tarkoituksena on kehittää sitä. Lohkonkoonnin on pystyttävä vastaamaan kasvavaan tuotantoon tulevaisuuden investointien ja nopeampien toimitusaikojen takia ja modulointi on yksi keino, jolla saadaan lohkonkoonnin tuotantoa virtavammaksi. Työmäärän hajonta erilaisissa lohkoissa on suurta, ja lohkojen rakennuspaikkoja on rajallinen määrä, joten suuritöisten lohkojen työmäärää rakennuspaikalla on saatava lyhemmäksi eli kaikkia lohkoja samanpituisiksi. Tämä voidaan saavuttaa moduloimalla esimerkiksi tietynlaisia laipioryhmiä, kuten hissi-kuiluja.

Opinnäytetyön alussa käydään läpi runkotuotannon eri vaiheet alusta loppuun, sekä perehdytään Lean- ja DFX-metodeihin. Modulointia runkotuotannossa Turun telakalla lähdetään selvittämään vaiheittain rakennustapasuunnittelusta alkaen, lohkonkoonnissa tapahtuvaan asennukseen asti.

Opinnäytetyössä huomiota kiinnitetään varsinkin laipioryhmien modulointiin. Laipioryhmissä on vaaka- ja poikittaislaipioita, sekä jossain tapauksissa osa laidasta. Runkotuotannon moduulit voivat sisältää muitakin osia kuin laipioita ja laitoja. Tulevaisuudessa moduuleiksi onkin saatava mahdollisimman paljon uusia ja erilaisia rakenteita.

Opinnäytetyössä arvioidaan moduulien mahdollisia rakennuspaikkoja, niiden vaatimuksia ja tulevaisuuden uusia moduloinnin kohteita. Moduloinnin kehittämiseen käytetään kokeneiden työntekijöiden haastatteluja, sekä Lean- ja DFM-metodeita.

Modulointia tutkitaan myös kellottamalla moduloitava laipioryhmä. Kellotettava laipiomoduuili on lohkon 278P laipioryhmä. Laipiomoduuili kootaan ja hitsataan lohkon lähettyvillä, jonka jälkeen se nostetaan lohkoon. Lohkon rakennusaikaa, jossa hyödynnetään laipiomoduuilia, verrataan perinteisellä tavalla rakennettavaan lohkoon. Kello- tuksesta saatavilla tuloksilla arvioidaan moduloinnin hyötyä lohkonkoonnille.

1.2 Toimeksiantajan esittely

Meyer Turku Oy, jonka omistaa saksalainen perheyhtiö Meyer Werft, on yhdessä Papenburgissa sijaitsevan Meyer Werftin ja Rostockissa sijaitsevan Neptun Werftin kanssa yksi maailman johtavista risteilyalusten rakentajista. Turussa telakka on perustettu jo vuonna 1737, ja sillä on ollut monia omistajia vuosien varrella. Meyer Werft osti Turun telakan korealaiselta STX:ltä vuonna 2014, ja tänä päivänä sen toimitusjohtajana toimii Tri Jan Meyer. (Meyer Turku 2019.)

Meyer Turku Oy:n telakalla työskentelee tällä hetkellä hieman yli 2000 työntekijää, ja se on tärkeä työllistäjä Lounais-Suomen alueella. Meyer Turku Oy on erikoistunut erityyppisiin vaativien, innovatiivisten ja ympäristöystävällisten risteilyalusten, autolauttojen ja erikoisalusten rakentamiseen. (Meyer Turku 2019.)

Meyer Turku Oy:llä on myös tytäryhtiöitä, jotka ovat Piikkiössä sijaitseva hyttitehdas Piikkiö Works Oy sekä avaimet käteen -periaatteella toimiva Shipbuilding Completion Oy, joka tarjoaa ratkaisuja laivojen yleisiin tiloihin. Myös ENG´nD Oy kuuluu sisaryhtiöihin. ENG´nD Oy on suunnitteluyritys laivanrakennus- ja offshore-alalla. (Meyer Turku 2019.)

2 LAIVANRAKENNUKSEN RUNKOTUOTANTO

2.1 Yleistä runkotuotannosta

Runkotuotanto on tärkeä osa laivanrakennusta. Runkoa voi pitää laivan luurankona, joka kannattelee koko laivaa. Runkotuotanto määrittelee telakan tuotantokapasiteetin ja rungon tuotantotapa määrittelee muiden toimintojen ajoitukset. Runkotuotantoprosessi alkaa suunnittelusta, jonka jälkeen osavalmistus valmistaa osat lohkonkoontiin, sekä suurlohkokoontiin. Osavalmistuksen osista lohkonkoonti kokoaa lohkonrakennushalleissa valmiiksi lohkot. Valmiit lohkot kootaan suurlohkokoonnissa suurlohkoiksi ja pintakäsittely pintakäsittelee suurlohkot. (Laatuohje Q.AFY.B.T.011.)

Rungonkoonti kokoaa valmiit suurlohkot telakan altaassa laivan rungoksi. Rungonkoonnin tuote ja koko runkotuotannon tuote on vesillelaskukelpoinen hyväksytty laivan runko (kuva 1). Runkoprosessin eri vaiheissa runkotuotteita hyväksytetään tilaajalla ja luokituslaitoksella. (Laatuohje Q.AFY.B.T.011.) Näin pystytään säilyttämään laadun tarkkailu koko runkotuotannon läpi.

Runkosuunnittelu



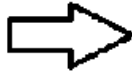
Osavalmistus



Lohkonkoonti



Suurlohkokoonti



Pintakäsittely



Rungonkoonti

Kuva.1 Runkotuotannon päävaiheet.

Runkotuotanto toteutetaan omissa tuotantotiloissa omalla tai alihankkijoiden henkilöstöllä. Joitain isompia kokonaisuuksia kuten suurlohkoja voidaan myös alihankkia, ja ne toimitetaan telakalle. (Laatuohje Q.TKU.B.R.011.)

Laivanrakennuksen "pyhiä" asioita ovat rungon lujuuden säilyttäminen suunnittelu- ja rakentamisprosessissa. Risteilijöissä varsinkin värinättömyyden ja hiljaisuuden säilyttäminen on tärkeää. (Laatuohje Q.AFY.B.T.011.)

2.2 Suunnittelu

Laivan suunnittelu jakautuu yleensä kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat konseptisuunnittelu, perussuunnittelu ja valmistussuunnittelu. Nämä on yleisesti jaettu myös varustelu-, sähkö-, kone- ja runkotuotannon kannalta tärkeimpään eli terässuunnitteluun.

Konseptisuunnittelu on suunnitteluvaihe, jossa pyritään saamaan laivasopimus aikaseksi, ja sen dokumentteja ovat luonnos yleisjärjestelylle, karkea luettelo laivan varusteista sekä kilpailukykyinen hinta. Konseptisuunnittelussa suunniteltuja dokumentteja käytetään perussuunnittelun lähtötietoina.

Perussuunnitteluvaiheessa suunnitellaan luokituslaitoksella, viranomaisilla sekä tilaajalla hyväksyttävät dokumentit, kuten rungon lohkojaot, rakennustapa, aikataulut sekä työpiirustusluettelot. Perussuunnitteluvaiheessa suunnitellaan siis esimerkiksi tietyn levyosan rajat ja ainevahvuus.

Perussuunnitteluvaiheen jälkeen alkaa valmistussuunnittelu, jossa perussuunnitteluaineistoihin lisätään rakenneratkaisuja, kuten hitsaukset oikeilla a-mitoilla, liitokset ja niiden seevaukset eli viisteet sekä tietoja aukoista ja niiden vahvistuksista. Suunnittelijalla on oltava kyky ymmärtää tuotteen DFM-metodien mukainen valmistettavuus ja telakan työskentelytavat runkotuotannossa, ja suunnittelun on oltava sellaista, että suunniteltujen mallien valmistus on telakan tuotannossa mahdollista.

2.3 Osavalmistus

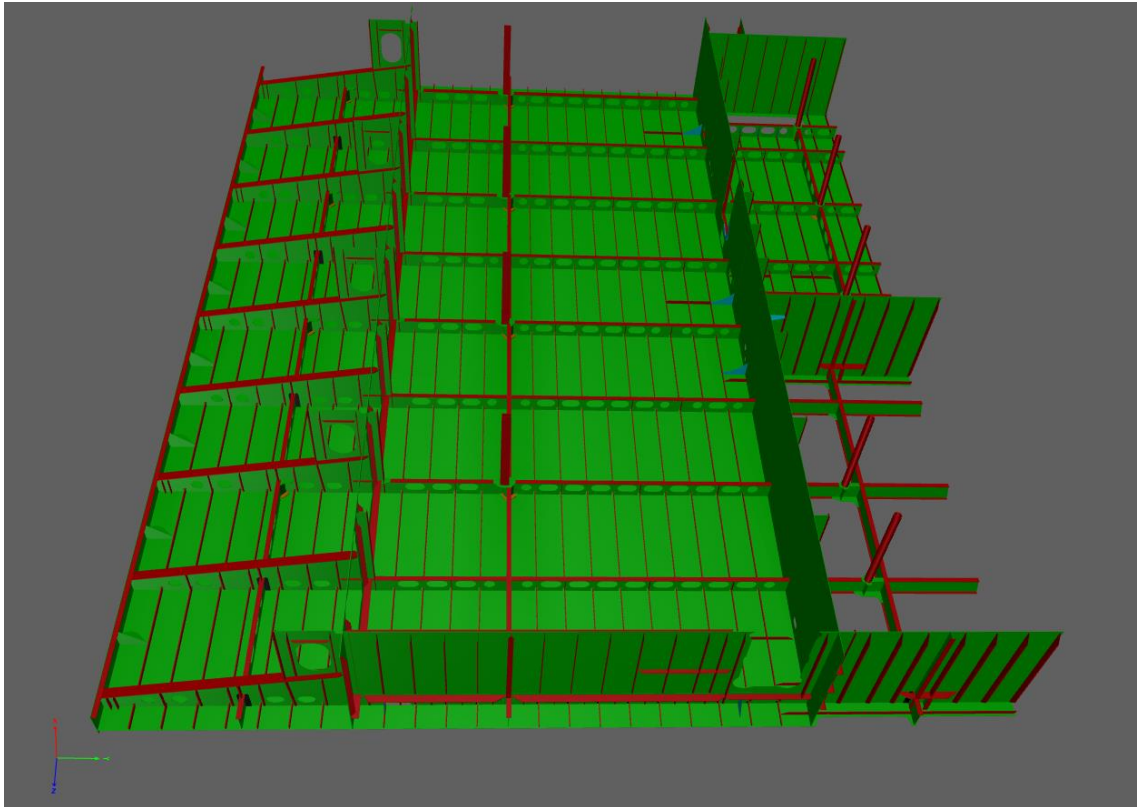
Osavalmistus esikäsittelee runkomateriaalin eli leikkaa tai taivuttaa levy- ja profiiliosia. Osiin tehdään tarvittaessa myös seevauksia ja hiontoja osan vaatimusten mukaan. (Laatuohje Q.AFY.B.T.011.)

Osavalmistuksen osat merkataan tunnistetietojen mukaan, jotta ne ohjautuvat tuotannossa oikeaan paikkaan. Tuotteet myös lajitellaan koontiosastojen koontiohjeiden mukaan koonnin helpottamiseksi. (Laatuohje Q.AFY.B.T.011.)

Osavalmistus valmistaa myös osakoonnit, jotka ovat esikoottuja, osin varusteltuja mittatarkkoja osakokonaisuuksia. Ne tehdään jo osavalmistuvaiheessa, koska ne on todettu olevan helpompia valmistaa jo aikaisessa vaiheessa eikä esimerkiksi lohkonkoonnissa. (Laatuohje Q.AFY.B.T.011.) Osakoonneissa on samoja ominaisuuksia kuin moduuleissa, ja ne molemmat virtauttavat seuraavan vaiheen tuotantoa.

2.4 Lohkonkoonti

Lohkonkoonnin tehtävänä on toimittaa suurlohkokoontiin, pintakäsittelyyn tai varusteluvaiheeseen valmiit rakennustapamäärityksen mukaiset lohkot tarkastettuina (kuva 2) (laatuohje Q.AFY.B.T.011). Lohkot kootaan ylösalaisin lohkonkoonnin hallien rakennuspaikoilla. Tämä on helpompi tapa työskennellä ja asentaa sekä hitsata lohkoon tulevia osia. Myös lohkovarustelulle tämä on helpompi tapa työskennellä. Lohkot käännetään oikeinpäin vasta suurlohkovaiheessa. (Meyer Turku Oy Laivanrakennusprosessi.)



Kuva 2. Lohko.

Lohkonkoonti alkaa paneelilinjasta, jossa valmistetaan lohkotuotannon paneelit palkitettuina. Paneelin valmistus alkaa levyjyrsimellä, jossa levyjen pitkät sivut jyrsitään piirustusten mukaisesti. Jyrsimeltä levyt siirtyvät yhdeltäpuoleltahitsausasemalle, jossa levyt hitsataan yhdeltäpuolelta yhtenäiseksi laataksi. Yhdeltäpuolelta hitsattu laatta siirtyy laatan kääntöpisteelle, jossa se käännetään ja siirtyy toiselta puolelta hitsattavaksi. Tämän jälkeen laatta siirtyy polttokoneelle. (Laatuohje Q.TKU.C.R.315.)

Polttokoneella laatalle ajetaan merkkausohjelman ajo, jonka jälkeen poltto-ohjelma polttaa aukot ja reijät sekä ympärilpoltot ja viisteytykset. Kun laatta on valmiiksi poltettu se siirretään palkitusasemalle. Palkitusasemalla palkit syötetään laatalle ja kohdistetaan konemerkatulle ritsille. Laatan ja palkin peräreunat on kohdistettava tasan. Palkit hitsataan hitsausvaunulla ja tarvittaessa korjataan hitsauset ja palkkien päät viimeistellään. (Laatuohje Q.TKU.C.R.315.)

Laatan valmistuttua laatta siirtyy vaunulle, josta se siirretään sille suunniteltuun lohkorakennushalliin, joko suoraan vaunulta tai nostureiden avulla. Lohkoja rakennetaan 5-linjalla, 10-hallissa, WEB-hallissa ja Kombi-halleissa.

Lohkon valmistus alkaa ristikon koonnista laatalle, eli pitkittäiset sekä poikittaiset T-palkit kohdistetaan ja asennetaan laatan ritsien mukaisesti. Laatalle asennetaan myös tarvittavat pienosat kuten lattaraudat sekä bulbit. Laipiot asennetaan, kun ristikko on koottu. Laipioiden asennus aloitetaan pääsääntöisesti pituuslaipioista, jonka jälkeen asennetaan poikittaislaipiot. Laipioiden jälkeen asennetaan pilarit, kaulukset, polviot ja muut pienosat. (Laatuohje Q.TKU.C.R.320.)

Hallista riippuen lohko nostetaan pukeille, kun edellä mainitut osat on asennettu ja lohkoa on hitsattu tarpeeksi kestäväksi, jotta se kestää ylösnoston. Jos lohko rakennetaan valmiiksi tason päällä, voidaan siirtyä suoraan laidan asennukseen. (Laatuohje Q.TKU.C.R.320.)

Laidan asennuksen jälkeen lohkoon asennetaan nosto-osat kuljetusta, kääntöä ja suurlohkoon nostoa varten. Lohko on myös viimeisteltävä lohkon tarkistusta varten. (Laatuohje Q.TKU.C.R.320.)

Ennen kuin lohko kuljetetaan seuraavaan vaiheeseen, lohko mitataan. Mittauksista nähdään, onko lohko oikean mittainen ja laita oikeaan asentoon asennettu. Esimerkiksi liialla hitsauksella voi lohkoista tulla liian kapea.

2.5 Suurlohkokoonti

Suurlohkokoonnissa kootaan lohkonkoonnissa rakennetut lohkot tai osavalmistuksessa rakennetut kokoonpanot suurlohkoiksi (kuva 3). Suurlohkovaiheen tuote on sovittuun tasoon koottu ja varusteltu suurlohko. (Meyer Turku Oy Suurlohkokoonti.) Suurlohkot koostuvat yleensä noin kuudesta lohkoista, riippuen suurlohkon sijainnista laivassa. Kooltaan ne ovat noin 8 metriä korkeita ja 35 metriä leveitä.



Kuva 3. Pintakäsitelty suurlohko.

Suurlohkon kokoaminen aloitetaan alimmasta kannesta. Lohkot ovat yleensä kahdessa osassa eli P- ja S-puoli erillisinä. Lohkot linjataan peräpäästä ja tarkastetaan, ettei rakoa ole korkeussuunnassa. Seuraavien kerrosten nostamiseen ja aseointiin käytetään luotilankoja ja niiden avulla varmistutaan kansien oikeasta linjasta suurlohkossa. Kun lohko on nostettu ja aseoitu alemman lohkon päälle, tarkastetaan kansiväli. Lohkojen rihtaus suoritetaan suurlohkotöiden ohella. Valmis suurlohkon siirtyy seuraavaksi pintakäsittelyyn pintakäsiteltäväksi. (Meyer Turku Oy Suurlohkonkoonti.)

2.6 Pintakäsittely

Pintakäsittelyprosessi on lohkovalmistuksen erikoisprosessi. Sen tarkoituksena on rungon maalattavien pintojen puhdistus ja maalaus. Pintakäsittely toteutetaan maalaushal-leissa tai alihankkijalla. (Laatuohje Q.TKU.B.R.013.)

Pintakäsittely tapahtuu yleensä vasta suurlohkovaiheessa, mutta myös yksittäisiä lohkoja voidaan pintakäsitellä. Jokaisen runkotuotannon vaiheen terästyön viimeistelylaatu vaikuttaa pintakäsittelyyn. Huonolla laadulla tehdyt tuotteet joudutaan korjaamaan maalaushallissa ennen maalausta ja huono laatu vaikuttaa pintakäsittelyn laatuun. Huonosti pintakäsitelty tuote alkaa nopeammin korrosioitumaan.

2.7 Rungonkoonti

Rungonkoonnin tehtävänä on koota suurlohkoista vesillelaskuvalmis hyväksytty laivan runko. Rungonkoonti alkaa ensimmäisen suurlohkon eli kölilohkon laskemisesta rakennusaltaaseen. Suurlohkoja nostetaan nostoaikataulun mukaisesti altaaseen ja niiden paikka mitataan tarkasti. Suurlohkojen saumat hitsataan yhteen ja poistetaan ylimääräinen työvara. Rungonkoonti päättyy vesillelaskuun, jossa laiva siirtyy varustelulaituriin. Varustelulaiturissa jatkuu laivan varustelu, kunnes laiva on valmis luovutettavaksi. (Meyer Turku Oy Laivanrakennusprosessi.)

3 TUOTANNON VIRTAUTTAMINEN

3.1 Virtaustehokkuus ja prosessi

Virtaustehokkuudessa huomio kohdistuu organisaation jalostettavaan yksikköön ja pois perinteisestä keskittymisestä resurssitehokkuuteen (Modig & Åhlström 2013, 13). Sen tärkein asia on siis tunnistaa aika, joka kuluu tarpeen tunnistamisesta sen tyydyttämiseen (Modig & Åhlström 2013, 5). Teollisuudessa yksikköinä käytetään yleensä joitakin tuotteita, jotka jalostetaan prosessissa käyttämällä erilaisia materiaaleja. Kaikissa organisaatioissa on prosesseja, kuten esimerkiksi tuotantoprosessi, ja prosessit ovatkin virtaustehokkuuden perusta. Prosessissa on tarkoitus viedä jotakin eteenpäin, jolloin esimerkiksi jokin tuote eli virtausyksikkö jalostuu. (Modig & Åhlström 2013, 19.) Nämä virtausyksiköt ”virtaavat” organisaation läpi (Modig & Åhlström 2013, 13). Telakan tuote on esimerkiksi valmis risteilijä varustamolle.

Mittarina käytetään virtaustehokkuudessa sitä, kuinka paljon virtausyksikkö jalostuu tiettyä aikana. Tarpeen tunnistaminen aloittaa ajanjakson ja se päättyy, kun tarve on tyydytetty. (Modig & Åhlström 2013, 13.) Virtaustehokkuuteen keskittymällä voidaan vähentää myös lisätyötä ja hukkaa (Modig & Åhlström 2013, 123).

3.2 Läpimenoaika

Järjestelmän rajojen määrittely vaikuttaa läpimenoajan mittaamiseen. Läpimenoaika on yksinkertaisesti aika, joka kuluu virtausyksiköltä jalostua prosessin loppuun asti. (Modig & Åhlström 2013, 22.) Läpimenoaika voi esimerkiksi olla lohkon valmistuminen alkaen paneelin kokoamisesta tai koko runkotuotannon prosessi. Läpimenoaika riippuu siis hyvin paljon rajoista.

Pullonkaulat ovat prosessin vaiheita, joissa läpivirtaus on kaikkein pienintä, ja ne ”kuristavat” koko prosessin läpimenvirtausta. Pullonkaulat muodostavat jonoa prosessiin ja tämän takia seuraava vaihe joutuu odottamaan vuoroaan. Pullonkauloja ei voi kokonaan välttää, vain pienentää niiden vaikutusta seuraavaan vaiheeseen kartoittamalla ja tiedostamalla ne. Jos pullonkaulan saa eliminoitua esimerkiksi nopeuttamalla työskentelyä tai lisäämällä resursseja, se ilmestyy johonkin muuhun vaiheeseen. Pullonkaulat

syntyvät, koska prosessin vaiheet on tehtävä tietyssä järjestyksessä ja prosessissa on vaihtelua. (Modig & Åhlström 2013, 37-39.)

3.3 Vaihtelu

Vaihtelu vaikuttaa merkittävästi virtaustehokkuuteen (Modig & Åhlström 2013, 42). Prosesseissa on aina vaihtelua, johon syitä on loputtomasti, mutta ne voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan. Luokat ovat resurssit, virtausyksiköt ja ulkoiset tekijät. Vaihtelun aiheuttaja vaikuttaa aina joko saapumisaikaan tai palvelu-aikaan. Vaihtelua esiintyy ajassa, joka prosessin läpikäymiseen tai prosessiin saapumiseen kuluu eri virtausyksiköitä. (Modig & Åhlström 2013, 40-42.)

Prosessi koostuu useista eri vaiheista, joten käsittelyajan vaihtelu jo ensimmäisessä vaiheessa vaikuttaa seuraaviin prosessin vaiheisiin (Modig & Åhlström 2013, 40-42). Esimerkiksi laivanrakennuksessa lohkonkoonnin myöhästyminen vaikuttaa suurlohkonkooniin ja pienemmässä mittakaavassa lohkon rakennuksessa, tietyn tahdin myöhästyminen vaikuttaa seuraavan tahdin aloitukseen, joka vaikuttaa lohkon valmistumisen myöhästyminen. On kuitenkin mahdotonta luoda prosessi, jossa ei olisi minkäänlaista vaihtelua, mutta sitä tulee välttää. (Modig & Åhlström 2013, 40-42).

3.4 Lean

Leanin alkujuuret ovat Japanissa, jossa Toyota Motor Corporationin johto halusi nostaa yrityksen tuottavuutta. Japanissa oli kuitenkin toisen maailman sodan jälkeen valtava resurssipula ja pääoma puuttui lähes kokonaan, sekä konekanta oli hyvin vanhanai-kaista. Toyotan oli pakko kehittää uusi tapa ajatella tehokkuutta ja kehitys tapahtui keskittymällä virtaustehokkuuteen. Oli siis keksittävä toimenpiteitä, jolla pystyttäisiin tekemään enemmän vähemmällä ja vain oikeita asioita. (Modig & Åhlström 2013, 71-72.)

Resurssipulan seurauksena haluttiin tehdä asioita oikein, eli haluttiin valmistaa tuote, jonka asiakas haluaa. Pääoman puutteen takia oli valittava oikeat raaka-aineet sekä tehtävä investoinnit oikeaan teknologiaan, eikä virheinvestointeihin ollut varaa. (Modig & Åhlström 2013, 72.)

Käsite lean production julkaistiin ensimmäistä kertaa vuonna 1988 artikkelissa Lean-tuotantojärjestelmän riemuvoitto, jonka kirjoitti John Krafciki. Kansan tietoon Lean-

käsite tuli kuitenkin vuonna 1990, kun James P. Womack, Daniel T. Jones ja Daniel Roos julkaisivat myyntimenestyksen *The Machine that Changed the World*. (Modig & Åhlström 2013, 79.)

Kirjan kirjoittajat osoittivat, että Toyota pääsee paljon paremmille tehokkuustasoille kuin muut autotehtaat. Lean koostuu heidän mukaansa neljästä periaatteesta, jotka ovat; tiimityö, viestintä, resurssien tehokas hyödyntäminen, sekä hukan poistaminen ja jatkuvat parannukset. Lean-käsitteen kehitystä on myös jatkettu Jones:n ja Womack:n toimesta. He ovat pyrkineet neuvomaan kirjoissa sekä artikkeleissa mitä yrityksen tulee tehdä, jos se haluaa toimia Lean-käsitteen mukaisesti. (Modig & Åhlström 2013, 79-80.)

Lean on toimintastrategia, jossa on kyse siitä miten organisaatio tuottaa arvoa. Se korostaa aina virtaustehokkuutta ja kapasiteetin tehokasta käyttöä. Toisaalta resurssitehokkuutta on myös vältettävä. Resurssitehokkuus muodostaa lisätyötä ja hukkaa, työn edetessä vain pätkittäin ja työajan kuluessa odottamiseen. Tämän seurauksena myös virtaus on tehotonta ja läpimenoajat pienenevät. Resurssitehokkuudella tässä tapauksessa tarkoitetaan mahdollisimman tehokasta resurssien hyödyntämistä, joka ei palvele virtausta eikä läpimenoaika. (Modig & Åhlström 2013, 9.) Leanin periaatteeseen kuuluu myös vaihtelun vähentäminen (Modig & Åhlström 2013, 125).

3.5 DFX

DFX eli Design for excellence on suunnitteluohje. Sen mukaan tuote pyritään suunnittelemaan mahdollisimman hyväksi. DFX-termissä, X toimii muuttujana ja sitä muokataan tuotteen ja asiakkaan prioriteettien mukaan. Yleisempiä näistä muuttujista ovat: Cost (C), Logistics (L), Reliability (R), Serviceability / Repairability (S), sekä Assembly (A) ja Manufacture (M), joihin perehdytään opinnäytetyössä enemmän.

DFM

DFM:n eli Design for Manufacture tarkoituksena on yksinkertaistaa tuotteen valmistusta ja saada sillä valmistuskulut alenemaan (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13). Tuote tai sen osan suunnittelussa painotetaan valmistettavuutta ja tuote pyritään valmistamaan jollain tietyllä menetelmällä, jolla tuote saadaan valmistettua mahdollisimman helposti ja yksinkertaisesti. Oikein suunnitellun kappaleen ja sille parhaalla valitulla valmistusmenetelmällä massatuotantovaiheessa pystytään pienentämään kustannuk-

sia huomattavasti. Sillä pystytään myös ehkäisemään jatkosuunnittelun tarvetta sekä mahdollisia tulevia ongelmia. (Tuomola, T. 2019.) Tuotteen suunnittelussa on siis hyvin kriittistä, että tuotteen suunnittelija ymmärtää tuotteen valmistettavuuden (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13).

Valmistuskulujen alenemiseen pyritään kehittämällä tuote niin, että se koostuu mahdollisimman pienestä määrästä eri osia eli komponenttien minimoinnilla. Tuote pyritään siis suunnittelemaan niin, että sen valmistaminen sisältäisi mahdollisimman vähän eri työvaiheita. Komponenttien minimoinnissa on otettava huomioon se, että osien vähentäminen saattaa hankaloittaa koneistusta. Jäljellä jäävien osien muodoissa saattaa olla sellaisia vaatimuksia, että koneistaminen voi olla hyvin hankalaa. (Tuomola, T. 2019.)

Komponenttien minimoinnin lisäksi on tärkeää tuotteen kannalta välttää tarpeettomia toleransseja eli turhia tarkkuuksia kohteissa, jossa se ei ole tarpeellista. Liian tarkka toleranssointi tuo turhia kustannuksia valmistusvaiheessa, koska tuotteesta tehdään ”liian” hyvä. (Tuomola, T. 2019.)

DFA

DFA eli Design for Assembly on tuotekehitysmenetelmä, jonka tavoitteena on rakenteen ja kokoonpanotyön yksinkertaistaminen (Lempiäinen & Savolainen 2003, 69). Kokoonpanovaihetta on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa, jotta siinä vältyttäisiin ylimääräiseltä työltä. Ylimääräinen työ aiheuttaa aina lisää kustannuksia. Suunnittelu vain valmistettavuuden ehdoilla voi johtaa tilanteeseen, jossa tuotteen kokoamisesta tehdään lähes mahdotonta, siksi DFA-näkökulma on hyvä huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Olennaisia asioita mitä tulee miettiä suunnitteluvaiheessa, on kiinnitysosien yksinkertaisuus ja standardointi, kokoonpanon suuntien minimointi, sekä kuten DFM:ssä osien lukumäärän minimointi. (Tuomola, T. 2019.)

Ihmisen tekemässä työssä tulee ottaa huomioon myös koontijärjestyksiä, erilaisia työkaluja ja helppo pääsy asennuspaikoille. DFA:ta käytetään myös automaation kanssa. Automaatiolle on ihmisen helpotkin työtavat usein liian haastavia toteuttaa, joten todella helppo kokoonpantavuus on tärkeää, että automaatio pystyy sen toteuttamaan. (Tuomola, T. 2019.) Kokoonpantavuutta pidetään tärkeämpänä, kuin valmistettavuutta, koska kokoonpanotyö on työläämpää kuin osien valmistus ja osien minimoinnilla saadaan valmistuksesta kustannuksia pois (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70).

DFMA

DFMA eli Design for Manufacture and Assembly on DFM- ja DFA-metodien yhdistelmä. Se tarkoittaa tuotteen suunnittelua siten, että jo suunnitteluvaiheessa huomioidaan lopputuotteen mahdollisimman helppo valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Suunniteltaessa uutta tuotetta tulee suunnittelijoiden huomioida jo suunnitteluvaiheen alkumetreillä mahdollisesti myöhemmin eteen tulevat ongelmat, jotka vaikeuttavat osien valmistusta ja kokoonpantavuutta. Myöhempien vaiheiden huomiointi jo suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää, koska valtaosa tuotteen lopullisista kustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa. (Tuomola, T. 2019.)

Vapaat asennussuunnat ovat myös olennaisena osana DFMA:ta. Kokoonpano tulee pystyä kokoamaan niin, ettei rakenteita jouduta rikkomaan ja osat saadaan oikeassa järjestyksessä paikoilleen.

Myös vasta tuotannossa havaitut esteet valmistettavuudessa tai kokoonpantavuudessa ovat kriittisiä. Tuotannossa joudutaan soveltamaan ja tekemään kiireellisiä ratkaisuja jotka eivät välttämättä ole laadullisesti ja rakenteellisesti hyviä. Havaitut esteet on saatava suunnittelun tietoisuuteen niin, että ongelma on ratkaistu seuraavalla kerralla. Jo suunnitteluvaiheessa tehdyt korjaukset ja valmistettavuuden sekä kokoonpantavuuden ehdoilla suunnittelu on kustannustehokasta.

4 MODULOINTI

4.1 Yleistä moduloinnista

Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista vakioihin rakenneosiin, joista kootaan jokin kokonaisuus eli moduuli. Turun telakalla moduloidaan esimerkiksi hyttejä, portaikkoja, hissejä, sekä AC-kuiluja. Myös runkotuotannossa tapahtuu hieman modulointia esimerkiksi yksinkertaisissa laipiorhmissä, kuten hissikuiluissa. Runkotuotannon moduloinnissa onkin vielä paljon kehitettävää.

Moduloinnilla pyritään tuotteiden samankaltaisuuteen fyysisissä ja toiminnallisissa rakenteissa. Tällöin saadaan moduulien väliset vuorovaikutukset minimoitua ja moduulien väliset rajapinnat yksinkertaistettua. Moduulien välisten riippuvuuksien minimointi helpottaa myös moduulien itsenäistä ja rinnakkaista suunnittelua. (Österman & Tuokko 2001, 8.)

Myös tuotteen suunnittelijan kyky ymmärtää tuotteen valmistettavuus on kriittinen tekijä moduuleiden suunnittelussa. Moduloitava kohde on jo suunnitteluvaiheessa mietittävä niin, että modulointi olisi mahdollisimman helppoa.

4.2 Moduloinnin hyödyt

Moduloinnista on paljon hyötyä runkotuotannolle ja lohkonkoonnille. Moduloimalla esimerkiksi laipiorhmiä saadaan tuotannon läpimenoaika pienennettyä, jolloin rakennuspaikkoja vapautuu uusille lohkoille. Moduuli tuodaan valmiina tuotteena lohkonkoonnin halliin, rakennuspaikan viereen ja moduuli nostetaan lohkon paikoilleen. Normaalisissa tapauksessa yksittäiset laipiot asennetaan yksitellen paikoilleen, joka on huomattavasti hitaampaa. Myös nosturin käyttöön kuluvaa aikaa kuluu paljon enemmän yksittäisten laipioiden asentamiseen kuin yhden suuren kokonaisuuden asentamiseen.

Myös levy- ja hitsaustyölle saadaan parempi ja tasaisempi laatu, ja mittatarkkuus paranee moduloitaessa. Moduloitava laipioryhmä kootaan sille varatulla rakennuspaikalla, jossa on tarpeeksi tilaa kokoamiselle, ja moduulin kääntämiselle. Moduulin hitsaus voidaan suorittaa rakennuspaikan lattialla tai tasolla vaakatasossa, joka on parempi, kuin

lohkon päällä pystyasennossa, jossa hitsaaminen on vaativampaa. Vaakatasossa voidaan käyttää myös enemmän hitsauskuljettimia, joilla saadaan hyvä ja tasainen hitsauksen laatu.

Moduloimalla tuotteita saadaan myös työturvallisuutta paremmaksi. Työntekijöiden ei tarvitse kiipeillä tikkailla tai tasoilla, koska moduulin koonti ja hitsaus on jo tehty aikaisemmassa vaiheessa turvallisesti lattiatasolla. Myös telinetyö ja telineiden siirtämiseen kuluva aika pienenee, joka tuo kustannussäästöä ja helpottaa lohkossa liikkumista.

4.3 Moduloinnin haasteet

Haasteina moduloinnille ovat työn siirtyminen toiseen vaiheeseen. Lohkonkoonti saa moduuleista suurimman hyödyn vain jos ne tulevat valmiina lohkonkoonnille. Lohkonkoonnin ei siis ole lähtökohtaisesti järkevää itse koota moduuleita. Myös lohkonkoonnin rakennuspaikkoja on rajallisesti. Näillä rakennuspaikoilla on lähtökohtaisesti rakennettava vain lohkoja, jos tulevaisuuden tuotanto määriin halutaan päästä.

Esimerkiksi osavalmistus voisi pystyä kokoamaan tulevaisuudessa moduulit. Tämä vaatii tietysti paljon järjestelyjä, kapasiteetin nostoa ja moduuleille uusien rakennuspaikkojen löytämistä. Osavalmistus kokoaa tälläkin hetkellä moduuleita, mutta tulevaisuudessa osavalmistuksen on pystyttävä kokoamaan niitä vielä enemmän.

Väärin koottu moduuli tuo todella paljon ylimääräistä työtä lohkonkoonnille. Moduuli on polttopilleillä avattava ja korjattava, jolloin laatu kärsii tai väärin kootut osat tulee valmistaa ja koota uudestaan, joka viivästyttää lohkon valmistumista. Moduulin koontivaiheessa on varmistuttava, että moduuli on oikein valmistettu. Mittatarkkuuksien on oltava tarkkoja moduuleissa. Moduulin asennusvaiheessa tunkeilla ja taljoilla pystytään helpottamaan moduulin asennus lohkoon, mutta jos moduuli ei ole mitoissaan voi sen asentaminen suoraan olla lähes mahdotonta. Tällöin joudutaan taas polttamaan osia irti ja pakottamaan moduuli paikoilleen.

Tahtisuunnitelmassa moduulin asennus tulisi miettiä niin, että vapaat asennussuunnat toteutuvat moduulin asennuksessa lohkoon. Tahtisuunnitelman on toteuduttava siis niin, että moduulin saa asennettua lohkoon suoraan, eikä mitään jouduta poistamaan sen tieltä. Tulevaisuudessa paneelilinjan paneelissa on T-palkit valmiiksi asennettuna ja hitsattuna, mikä voi tehdä vapaan asennussuunnan toteutumisen haastavaksi. Täl-

löin osa T-palkeista tulee jättää asentamatta tai ainakin hitsaamatta kokonaan. Lohkonkoonti asentaa ja hitsaa asentamattomat T-palkit moduulin asennuksen jälkeen.

Koontiohjeissa ja työpiirustuksissa on moduulit merkittävä mahdollisimman selkeästi ja yksiselitteisesti. Osassa koontiohjeista ja työpiirustuksista moduulit ovat jo selkeästi merkittynä, mutta niitä on saatava vielä yksiselitteisemmäksi. Koontiohjeissa ja työpiirustuksissa olisi hyvä olla tieto, että moduuli on valmiiksi koottu kokonaisuus. Tämä voi tulla varsinkin alihankkijoille yllätyksenä, ja alihankkijat voivat luulla asentavansa moduulin osat itse yksitellen paikoilleen.

Tahtisuunnitelman tulee myös ohjata moduulin osat sen oikealle rakennuspaikalle. Ongelmaksi voi koitua jos osia häviää tai valmistuu liian myöhään. Moduulin koonnin myöhästyessä, myös lohkon rakennusaika pitenee, koska moduulia joudutaan odottamaan.

4.4 Moduloinnin vaiheet ja valinta

Rakennustapasuunnittelu

Moduloitavan kohteen valinta alkaa rakennustapasuunnittelusta. Rakennustapasuunnittelun tarkoituksena on kuvata tuotteen rakennustapa selkeästi ja tuoda esille sovitun rakennustavan tarpeet. Tarpeita ovat rakennettavuus valmistuksessa, rakentamisen kulku, ja sovittujen rakennustapojen tarpeiden laatiminen suunnitteluaineistoon, luokitusaaineistoon sekä tuottavuuden ohjaaminen. Rakennustavan suunnittelu aloitetaan jo myyntiprojektivaiheessa ja ennen valmistussuunnittelua. Siihen voi siis tulla vielä muutoksia valmistussuunnittelussa. (Q.TKU.C.R.107_Rungon rakennustapaselvitys.)

Moduloinnin ensimmäinen päätös tapahtuu siis rakennustapasuunnittelussa jossa suunnittelijat valitsevat heidän mielestään järkevät kohteet moduloitavaksi. Tällä hetkellä modulointia tapahtuu lähinnä laipioryhmissä. Varsinkin hissikuiluja moduloidaan, koska niissä on selkeästi neljä laipiota, jotka muodostavat suljetun kokonaisuuden, johon ei tarvitse lisätä kuin vähän tukia, jotta se pysyy noston ja kuljetuksen aikana koossa. Myös laipioryhmiä, joissa on taso laipioiden välissä, moduloidaan. Nämäkin ovat tukevia välitason ansiosta, eikä näissä tarvita neljättä laipiota tekemään suljettua kokonaisuutta. (Saarnio, E. 2019.)

Työnsuunnittelu

Työnsuunnittelussa tuotantosuunnitelma muokataan työpaikkakohtaisiksi kuormitus- ja hienosuunnitelmiksi. Se laatii kaikkien runkotuotantovaiheiden työnsuunnitteluaineistot, jotka sisältävät työarvioita ja aikataulutietoja. Tähän vaiheeseen kuuluu myös tarvittavien materiaalien saatavuuden varmistus ja niiden keräilyjen aktivointi. (Q.TKU.B.R.011 Runkotuotanto.)

Työnsuunnittelu arvioi myös mitkä kohteet ovat mahdollista moduloida ja missä olisi niille järkevin rakennuspaikka. Moduuleiden koontia tapahtuu tällä hetkellä osavalmistuksen toimesta 8-hallissa ja 11-hallissa. 8-hallissa pystytään valmistamaan suuremmat moduulit ja 11-hallissa pienemmät ja nopeammat moduulit hallin linjamaisuuden vuoksi. Moduulien valmistuttua osavalmistuksesta, moduulit kuljetetaan niille määrättyyn lohkonkoonnin rakennuspaikan läheisyyteen 5-linjalle, WEB-, 10-, tai Kombi-halliin.

4.5 Edellytykset moduloinnille

Modulointia on aloitettava miettimään jo prosessin alkuvaiheessa eli suunnittelussa. Jos suunnittelu tekee oikeat päätökset moduloitavan kohteen levykoista, päittäis- saumoista ja asennusystävällisyydestä, on helpompi toteuttaa modulointi. Päittäis- saumat tulee olla järkevästi sijoitettuna, jottei turhia levysaumoja synny eivätkä levyt saa tulla liikaa yli moduulista. (Hölttä, P. 2019.) Turhat levysaumot lisäävät työtä ja heikentävät laatua, koska hitsauksen tekee lohkonkoonnissa ihminen eikä osavalmistuksen hitsauskone. Moduulista liian pitkälle tulevat levyt vaikeuttavat moduulin nostamista ja liikuttamista ja tekevät siitä heikomman. Mahdolliset moduloitavat rakenteet on otettava huomioon siis jo suunnittelussa ja rakenteiden on tuettava modulointia.

Moduuleita kokoavan runkotuotannon vaiheen eli esimerkiksi osavalmistuksen on saatava moduulin osat oikeaan aikaan ja oikeassa järjestyksessä rakennuspaikalle. Osa- puutteet aiheuttavat asennukseen katkon, joka pullonkaulamaisesti vaikuttaa seuraaviin vaiheisiin. Asennusjärjestyksen on oltava myös oikea hyvän laadun ja mittatarkkuuden säilyttämiseksi.

Ennen valmiin moduulin nostoa terminaalitraktorin lavalle sekä siirtoa lohkonkoontiin moduuli on tuettava oikein, jotta se kestää nostamisen sekä liikuttamisen. Moduuliin on tarvittaessa lisättävä tukia kuten kulmarautoja tai H-palkkeja. Tukia voidaan lisätä myös moduulin ja lavan väliin, varmistukseksi että moduuli pysyy lavalla liikuttamisen ajan. Moduuli voidaan myös hitsata kiinni lavaan jolloin se pysyy varmasti lavassa kiinni.

Nostoa varten moduuliin tulee asentaa tarvittaessa myös nostokorvat. Moduuli pitää nostaa terminaalitraktorin lavalle lohkonkoonnin asennuksen kannalta oikein päin, jotta lohkonkoonnin ei tarvitse rakennuspaikalla enää kääntää moduulia, joka lisää huomattavasti lohkonkoonnissa asennuksen aikaa. Nostokorvien käyttö varmistaa, että moduuli on aina oikein päin. Moduulin nostotukia voisi käyttää myös koko lohkon nostosuunnitelmassa hyödyksi.

Moduloinnin on siis onnistuttava jokaisen runkotuotannon vaiheen läpi, jotta moduloinnista saadaan hyötyä. Onnistuessaan lohkonkoonnin kapasiteettia vapautuu ja tuotantomäärä ja virtaavuus kasvavat.

4.6 Työpisteet ja niiden vaatimukset

Työpisteet

Moduulien koontia ei lähtökohtaisesti voida tehdä lohkonkoonnin rakennuspaikoilla. Moduulien on tarkoitus virtauttaa lohkonkoonnin tuotantoa ja saada lohkojen läpimenoaika lyhemmäksi. Tämä ei toteudu jos lohkonkoonti joutuu varaamaan rakennuspaikkoja moduulien kokoamiseen.

Moduuleita kootaan tällä hetkellä osavalmistuksen rakennuspaikoilla, 11-hallissa ja 8-hallissa. 11-halli on tarkoitettu laipioiden valmistusta varten ja laipiot valmistetaan 12 metrisellä linjalla jonka päässä on taso. Linja on 12 metriä leveä ja noin 100 metriä pitkä (Ibrahimbegovic, A. 2019). 11-hallissa valmistetaan laipioita, joten moduloitavien laipioryhmien koonti on siellä järkevää. Moduuliin tarkoitettut laipiot tulee valmistua linjalla oikeassa järjestyksessä ja linjan päässä olevalla tasolla voidaan suorittaa moduulien kokoaminen. Linjalta valmistuvat muut laipiot pystytään kuljettamaan nosturin avulla moduulien vierestä tai yli, eikä linja mene tukkoon moduulien kokoamisen takia. Hallin linjamaisuuden vuoksi tason päässä koottavat moduulit ovat silti koottava mahdollisimman nopeasti, ettei päässä oleva taso tukkeudu. Taso linjan päässä on 12 metriä leveä ja 18 metriä pitkä (Ibrahimbegovic, A. 2019). Suuretkin moduulit pystytään siis

kokoamaan tasolla, mutta kaikkein eniten kokoamisaikaa vaativat moduulit on järkevintä tehdä 8-hallissa. Linjan päässä oleva taso tuo myös rajoitteen moduulien kokoon. Koottavat moduulit pitää mahtua tasolle.

8-halli on 11-halliin verrattuna perinteisempi halli, jossa on normaaleja rakennuspaikkoja. Rakennuspaikkoina toimivat kaksi tasoa jotka ovat kooltaan 12x53 metriä sekä 15x45 metriä (Ibrahimbegovic, A. 2019). Kooltaan suurien ja kokoamisajaltaan pitkien moduulien kokoaminen onnistuu näillä tasoilla hyvin. Tasoilla rakennetaan myös muita osavalmistuksen tuotteita, joten moduuleille on varattava riittävät tilat 8-hallista. Myös 8-hallin vieressä olevassa 9-hallissa voisi olla mahdollista koota moduuleita, jos sieltä löytyy vapaata tilaa kokoamista varten.

Telakan muissa halleissa on myös mahdollista koota moduuleja. Moduulien koontiin ei tarvitse paljon tilaa ja kokoamisen kannalta on vain hallin edellytykset oltava oikeat. Tähän voisi sopia hyvin esimerkiksi 8-hallin uusi lisäosa, jossa tällä hetkellä valmistetaan kansipalkkeja paneelilinjalle. Hallin päähän voisi mahtua ainakin kaksi pientä rakennuspaikkaa moduuleille. Hallissa on myös yksi nosturi joka on nostokapasiteetiltaan 2x25 tuhatta kiloa eli se riittäisi hyvin moduulien koonnin tarpeisiin. Vaihtoehtoina voisi olla myös kääntöpöytä moduulien kääntämiseen. Tällöin moduulien nostaminen ja kääntäminen toisinpäin nosturilla vähentyisi merkittävästi. Sijainniltaan tämä 8-hallin uusi lisäosa on myös kätevästi aivan lohkonkoontihallien vieressä.

Moduuleja on mahdollista koota myös telakan ulkopuolella alihankkijan toimesta tai vuokratuissa tiloissa. Tilat ovat kuitenkin sijaittava mahdollisimman lähellä telakkaa, koska moduulit ovat isoja ja niiden sisälle jää paljon tyhjää tilaa, joten niiden kuljetus kaukaa on kallista.

Vaatimukset

Moduloitavan kohteen rakennuspaikalla on oltava riittävästi tilaa moduulin kokoamiseen. Esimerkiksi yksi laipio laipiomoduulissa voi olla lähes 15 metriä pitkä. Laipioita ja moduuleita on pystyttävä kääntämään ja siirtämään, joten tilaa on oltava riittävästi mutta rakennuspaikalla on oltava myös riittävän tehokkaat nosturit.

Moduulien kuljetus on yksi modulointiin vaikuttavasti asioista. Moduuleita kuljetetaan niiden kokoamispaikalta lohkonkoontin halleihin, joko terminaalitraktorin lavan päällä tai terminaalitraktorin pukkien päällä. Terminaalitraktorin lavat ovat leveydeltään noin 3 metriä ja ne ovat 3-10 metriä pitkiä. Lavalla moduuli voi olla hieman lavaa isompi, jos

sen rakenne on sellainen, että se pysyy lavan päällä ehjänä eikä putoa lavalta. Pukkien päälle voi nostaa isommatkin moduulit, koska pukkien välistä etäisyyttä pystytään säätämään. Moduulien maksimikoon määrittää kuitenkin logistiikka, koska liian isoja moduuleja ei enää pystytä kuljettamaan järkevästi.

Lohkonkoonnin hallien ovet määrittävät myös minkä kokoisia moduuleita on mahdollista ottaa lohkonkoonnin rakennuspaikan viereen. 10-hallin pienet sivuovet ovat vain 4 metriä korkeita. Terminaalitraktorin lavat sekä pukit ovat noin 80-90 senttimetriä korkeita ja terminaalitraktori nostaa niitä vielä maasta noin 20 senttimetriä ylös, joten korkeat laipiot voivat olla mahdotonta tuoda sisälle pystyasennossa. Investointien jälkeen 10-hallin sivuovet muuttuvat korkeudeltaan 6 metrisiksi, jonka jälkeen ei ongelmaa enää ole.

4.7 Ehdotuksia moduloinnin kohteiksi

Tulevaisuuden runkotuotannon moduuleina voisi olla esimerkiksi kaksoislaidat, jotka on helppo asentaa isompana kokonaisuutena paikoilleen. Laitojen sisäosat ovat 05 puhdistusasteeltaan eli ne ovat hitaita hitsata ja viimeistelylaadun on oltava hyvää. Kaksoislaitoihin kuluu siis paljon työtunteja, joten moduuleina ne säästäisivät paljon aikaa lohkonkoonnissa.

Monet kansilevyt joita ei pystytä asentamaan paneelilinjalla esimerkiksi tasomaisuutensa vuoksi, voitaisiin moduloida isommiksi kokonaisuuksiksi. Näissä eritasokansissa voisi olla valmiina ainakin T-palkit ja kansilevystä riippuen myös laipiot tai laidat, ja niiden pienosat. Tätä voisi käyttää myös lipoissa joissa olisi valmiiksi koottuna partaat ja mahdollisesti myös pienet parvekekonsolit. Tämänlaisia kokonaisuuksia voitaisiin vain nostaa paikoilleen lohkon, eikä koko työtä tarvitsisi aloittaa kansilevystä.

LNG-tankkikulut ja muut tankkikulut ovat myös hyviä moduloinnin kohteita, koska niissä on toteuduttava luokituslaitoksen vaatima tankkihitsaus, eli a-mitan on oltava suurempi kuin muissa laipioissa, eikä hitsisaumasta saa löytyä vuotokohtia. Hitsisaumat testataan kokeilla, joten niiden on oltava laadukkaita ja modulointi voisi mahdollistaa paremmat työskentelyasennot, jotka johtavat myös parempaan hitsauksen laatuun.

Teatterilohkot ovat lohkonkoonnissa kaikkein työläimpiä lohkoja ja niiden rakentamiseen kuluu kaikkein eniten työpäiviä. Niihin olisi todella tärkeää saada kokonaisuuksia moduloituna, koska läpimenoaika sekä tuotannon vaihtelua on saatava pienemmäksi.

Modulointi voisi onnistua esimerkiksi moduloimalla portaikot kolmeksi suureksi kokonaisuudeksi, jotka voitaisiin yhdistää lohkonkoonnin rakennuspaikalla. Teatterilohkoissa on yleensä myös eritasokansia, jotka voidaan asentaa yhtenä kokonaisuutena lohkoon. Teatterilohkojen haastavuus on, että ne ovat yleensä joko laivassa hieman erilaisia, ja yhteneväisyyksien löytäminen on haastavaa.

Demisterilaatikat voisivat tulla myös valmiina ja ne voitaisiin valmistaa pokkaamalla, eli levyt olisi taitettu 90-asteen kulmaan, ja näin jäisi ainakin yksi pystysauma pois. Hitsauksen vähentyessä vähenee myös lämmön aiheuttamat muodonmuutokset. Demisterilaatikat voisivat tulla yksittäisinä koonteina, jolloin asennus on helpompaa tai ne voisivat olla valmiiksi asennettuina laitaan. Valmiiksi asennettuina on mietittävä enemmän vapaita asennussuuntia.

Moduloinnin koontivaiheessa myös varustelun olisi mahdollista tehdä jo hieman omia töitään, jos ne eivät häiritse moduulin kokoamista. Esimerkiksi työvaiheina hissikuilujen u-palkit, laipioiden villapiikitykset, ja erilaisten läpivientien osien asennukset voisivat olla mahdollista tehdä moduulin koontivaiheessa.

Modulointia voi käyttää hyödyksi moniin eri osakokonaisuuksiin. Esimerkiksi tapauksissa joissa joitain osakokonaisuuksia joudutaan kokoamaan yksittäisistä osista lohkon päällä, sen voisi tehdä jo aikaisemmassa vaiheessa, jossa työskentely on helpompaa ja tilat sekä työasennot parempia.

Osassa näistäkin esimerkeistä tapahtuu jo hieman modulointia ja modulointikokeiluja on tehty. Moduloinnin määrä on kuitenkin noustava ja moduuleita on saatava enemmän tuotantoon.

4.8 Kooste

Moduuli nimityksenä on hieman hankala Turun telakalla. Moduulit mielletään helposti vain varustelun tuotteiksi. Tästä syystä olisi helpointa löytää runkotuotannon moduuleille oma nimike. Tällainen nimike voisi olla kooste ja esimerkiksi laipioiden kohdalla puhuttaisiin laipiokoosteista. Näin välttyttäisiin sekaannuksilta varustelun kanssa.

4.9 Ohjeistus suunnitteluun

Telakalla tehdään ohjeistuksia osastoille ja osastojen välille. Myös moduloinnista olisi hyvä saada ohjeistus suunnitteluun ja muihin vaiheisiin. Varsinkin suunnittelijoiden olisi hyvä pystyä miettimään moduloinnin kannalta järkeviä päätöksiä jokapäiväisessä työssä. Moduloinnille tärkeitä asioita suunnittelun kannalta käydään läpi kohdassa 4.5 Edellytykset moduloinnille.

5 LAIPIOMODUULIN KELLOTUS

5.1 Yleistä laipiomoduurin kellotuksesta

Yksi opinnäytetyön toimeksiannoista oli kellottaa laipiomoduurin koonti ja kahden lähes samanlaisen lohkon rakennusaika. Toiseen lohkoon asennettiin valmis laipiomoduuili ja toinen rakennettiin perinteisellä tavalla ilman moduuria. Lohkot olivat 278P, johon moduuili asennettiin, ja 278S, joka rakennettiin perinteisellä tavalla.

278P-lohkosta moduloitiin laipioryhmä, jossa oli yksi pitkittäinen noin 11 metriä pitkä laipio ja kaksi laidan osaa jotka olivat yhteensä noin 14 metriä pitkät. Pitkittäisen laipion ja laidan väliin tuli kuusi poikittaista lyhyempää laipiota. 278P-lohko rakennettiin 10-hallissa ja laipiomoduuili koottiin 10-hallin rakennuspaikalla, lohkon läheisyydessä. 278S-lohko rakennettiin WEB-hallissa alihankkijan toimesta.

Ennen varsinaista lohkojen ja laipiomoduurin kellotusta tehtiin tarvittavat ennakoivat työt. Näitä olivat yleinen suunnittelu, rakennuspaikan järjestäminen 10-halliin, moduurin osien kuljettaminen 10-halliin rakennuspaikan viereen, ja työntekijöiden perehdytys tulevaan työhön. Kun kaikki tarvittavat ennakoivat työt oli tehty, voitiin aloittaa moduurin ja lohkojen kellotus ja tarvittava dokumentointi.

Virallista kellotusta ei moduuriin tai lohkoihin saatu. Moduurin työtunteja seurattiin itsenäisesti ja tästä työajasta poistettiin kaikki mahdolliset häiriöt, mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Lohkon 278P työtunnit saatiin telakan tuotannonohjausjärjestelmästä ja niitä verrattiin tunteihin joita itsenäisesti seurattiin. Lohkoon 278S työtunnit saatiin lohkoa rakentavalta alihankkijalta, joka itsenäisesti seurasi lohkon työtunteja.

Lohkojen rakentamisessa on voinut tulla häiriöitä, jotka ovat lisänneet rakennusaikaa. Oletuksena kuitenkin pidettiin, että häiriöitä tulee tulemaan kummankin lohkon rakennukseen ja näin ollen häiriöt kumoavat toisiaan. Myöskään suuremmista ongelmista tai häiriöistä ei raportoitu. Telakan työntekijät työskentelevät kahdessa vuorossa eli aamu-vuorossa 8 tuntia ja iltavuorossa 8 tuntia, 5 kertaa viikossa. Alihankkijat työskentelevät 10 tuntia päivässä, 6 kertaa viikossa ja tekevät lohkon rakennukset urakkana.

Hissimoduuli koesarja

Turun telakalla on tehty aikaisemminkin moduloinnin hyötyihin perehtyvä koesarja. Koesarjassa moduloitiin hissikuilun laipiot, jossa kaksi pidempää pitkittäistä ja kaksi lyhempää poikittaista laipiota muodostivat suljetun laipioryhmä.

Moduulit koottiin 11-hallin 12 metrisen linjan päässä olevalla tasolla ja moduulit asennettiin lohkoihin Kombi 3-hallissa. Koesarjaa pidettiin onnistuneena ja modulointi vähensi lohkonkoonnin työtunteja.

6 TULOKSET JA POHDINTA

6.1 Laipiomodulin ja lohkojen kellotuksien tulokset

Laipiomodulin kokoamiseen ja hitsaamiseen kului yhteensä 121,5 tuntia, josta levyseppien töihin kului 46 tuntia ja hitsarien töihin kului 75,5 tuntia. Kahdella levysepällä kuluisi tämän moduulin kokoamiseen siis 2,9 työpäivää eli noin 3 työpäivää. Vaikka häiriöt pyrittiin poistamaan kellotuksesta, moduuli olisi varmasti koottu esimerkiksi osavalmistuksen rakennuspaikalla hieman nopeammin.

Hitsareiden työhön kului yhteensä 75,5 tuntia. Kahdella hitsarilla työpäiviä kuluisi 4,7 eli noin 5 työpäivää. Moduulin korkeasta puhdistusasteesta johtuen hitsarien työhön kului huomattavan paljon aikaa. Yhteensä työpäiviä tämän moduulin kokoamiseen kuluisi siis noin 6-7 työpäivää. Levysepät ja hitsarit pystyvät työskentelemään osittain samaan aikaan.

Lohkon 278P rakentamiseen kului yhteensä 893,5 tuntia. Tästä ajasta levyseppien työhön kului 376,4 tuntia ja hitsareiden työhön 517,1 tuntia. Lohkon rakentaminen aloitettiin 14.6.2019 ja lohko valmistui 11.7.2019. Lohkon rakentamisen aikana vietettiin juhannusta, joten työpäivistä vähennettiin 1 päivä. 278P-lohkon rakentamiseen kului yhteensä 20 työpäivää.

Lohkon 278S rakentamiseen kului yhteensä 1029 tuntia. Tästä ajasta levyseppien työhön kului 471 tuntia ja hitsareiden työhön 558 tuntia. Lohkon rakentaminen aloitettiin myös 14.6.2019 ja lohko valmistui päivää aikaisemmin 10.7.2019. Myöskään alihankkijat eivät työskennelleet juhannuksena joten työpäivistä vähennettiin 1 päivä. 278S-lohkon rakentamiseen kului yhteensä 22 työpäivää. Alihankkijat työskentelevät myös lauantaisin.

Lohkojen rakennusaikojen erotus oli yhteensä 135,5 tuntia. Lohko 278P, johon laipiomoduuli asennettiin, valmistui siis 135,5 tuntia nopeammin. Kaikki erotukseen tulleet tunnit eivät välttämättä johtuneet pelkästään laipiomodulista, mutta olettaa voidaan, että laipiomodulista oli hyötyä lohkonkoonnille. 135,5 tuntia on viidellä työntekijällä hieman päälle 3 työpäivää. Laipiomodulin kokoamisesta erillään lohkoista voidaan siis tulkita olleen hyötyä, koska tällöin kokoaminen on helpompaa ja hitsaaminen nopeam-

paa ja laadukkaampaa. 135,5 tuntia on myös taloudellisesti huomattava tuntimäärä lohkonkoonnille.

278P-lohkon rakentamiseen kului 2 työpäivää vähemmän kuin 278S-lohkon rakentamiseen. Tämä on merkittävää lohkonkoonnin kapasiteetin vapautumisen kannalta. Rakennuspaikkoja vapautuu siis nopeammin uusien lohkojen käyttöön ja lohkojen työmäärä isoissa lohkoissa pienenee. Tällöin saadaan myös työmäärän vaihtelua pienemmäksi lohkojen välillä.

Suoritusluku oli myös parempi lohkoissa jossa käytettiin moduulia. Suoritusluku tulee laskettujen ja toteutuneiden työtuntien suhteesta. Lohkoissa 278P suoritusluvuksi tuli 0,89 ja vastaavasti lohkoissa 278S 0,7. Lohkot sijaitsevat kahdeksannella kannella ja nämä kannet ovat yleisesti hieman haastavampia ja työajaltaan pidempi kuin esimerkiksi hyttilohkot. Suorituslukuina kahdeksannella kannella 0,8 on tavoite ja 0,9 on hyvä arvo. Voidaan siis todeta, että 278P-lohkon suoritusluku 0,89 on hyvä ja laipiomoduulista on ollut hyötyä lohkon rakennukseen.

Lohkon 278P suoritusluvun arvoa verrattiin myös muihin kahdeksannen kannen lohkoihin. Verrattuja lohkoja oli yhteensä 10 kappaletta ja niiden suoritusluvun keskiarvo oli 0,57 (Eerola, P. 2019). Lohkot joita vertailussa käytettiin, olivat telakan omien työntekijöiden tekemiä. Muihin kahdeksannen kannen lohkoihin verrattuna 278P-lohkon suoritusluku oli siis hyvä.

Tarkemman ja luotettavamman tuloksen olisi saanut, jos mittauksia olisi tehty enemmän. Täysin luotettavan tuloksen saamiseksi vaadittaisiin kuitenkin kymmeniä mittauksia, jolloin kaikki häiriöt saataisiin karsittua pois. Tässä opinnäytetyössä ei pystytty tekemään kuin yksi kelloitus lohkoille ja moduuleille. Tarvittavat arviot ja pohdinnat on tehtävä näiden arvojen perusteella.

6.2 Pohdinta

Tulevaisuudessa lohkonkoonnin on pystyttävä vastaamaan kasvavaan tuotannon määrään. Moduuleilla voidaan saada lohkonkoonnin kapasiteettia vapautettua, niin että rakennuspaikkoja saadaan nopeammin vapaiksi uusille lohkoille, työmäärän hajonta pienemmäksi, ja suuritöisten lohkojen rakennusaikaa pienemmäksi. Kuten tämän opinnäytetyön kelloituksesta käy ilmi, moduulista voi olla todellinen hyöty lohkonkoonnille.

Modulointi ei tietenkään ole ainoa ja riittävä tapa jolla lohkonkoonti pystyy vastaamaan kasvavaan tuotannon määrään, mutta se voisi olla yksi hyvä tapa.

6.3 Kehitys

Telakalla runkotuotannon modulointia tarvitsee vielä paljon kehittää. Siitä on mahdollista saada vielä todella paljon enemmän hyötyä, ja se voisi olla yksi hyvä tapa vastata tulevaisuuden tuotannon määrän kasvuun. Modulointiin on kuitenkin saatava kaikki runkotuotannon osastot mukaan, jotta se onnistuisi. Lisää erilaisia moduloinnin kohteita on kehitettävä ja moduuleille on saatava jokin tai joitakin järkeviä rakennuspaikkoja. Moduloinnin kehitys Turun telakalla jatkuu tämän opinnäytetyön jälkeen.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida moduloinnin vaikutusta lohkonkoontiin ja tarkoituksena oli kehittää sitä. Huomiota kiinnitettiin varsinkin laipioista koostuviin laipiomoduleihin. Tulevaisuuden investointien ja nopeampien toimitusaikojen takia lohkonkoonnin on pystyttävä vastaamaan kasvavaan tuotantoon, ja moduulit voivat olla yksi potentiaalinen keino saada tuotantoa virtaavammaksi. Tuotannon virtauttamista ja modulointia lähdettiin tutkimaan Lean- ja DFX-metodien avulla ja haastatteleamalla kokeneita telakan työntekijöitä. Opinnäytetyössä käytiin läpi myös eri runkotuotannon vaiheet ja modulointia runkotuotannossa selvitettiin vaiheittain rakennustapasuunnittelusta alkaen, lohkonkoonnissa tapahtuvaan asennukseen asti.

Opinnäytetyössä arvioitiin myös moduulien mahdollisia rakennuspaikkoja, sekä niiden vaatimuksia ja mahdollisia tulevaisuuden moduloinnin kohteita. Rakennuspaikoiksi valikoitui esimerkiksi jo moduulien kokoamiseen käytetyt 8-halli ja 11-hallin ja uutena rakennuspaikkana 8-hallin uusi jatko-osa, johon voisi tehdä rakennuspaikat vain moduuleita varten. Tulevaisuuden moduloinnin kohteiksi arvioitiin esimerkiksi kaksoislaidat, LNG-tankit ja eritaso-kansilevyt.

Jotta modulointi onnistuisi, on modulointia mietittävä koko runkotuotannon vaiheiden läpi. Jo suunnitteluvaiheessa on suunnittelijan suunniteltava runkotuotannon tuotteita niin, että myöhemmässä vaiheessa niiden modulointi olisi mahdollista. Jos jo alkuvaiheessa tämä ei toteudu, eivät esimerkiksi rakennustapasuunnittelija tai työnsuunnittelija pysty toteuttamaan modulointia. Tuotteen suunnittelijan kyky ymmärtää tuotteen valmistettavuus on siis kriittinen tekijä moduloinnin suunnittelussa, koska moduloitava kohde on jo suunnitteluvaiheessa mietittävä niin, että modulointi olisi mahdollisimman helppoa. Tämä ei tietenkään koske pelkästään suunnittelua vaan modulointi on otettava huomioon jokaisessa vaiheessa myös suunnittelun jälkeen.

Yhtenä opinnäytetyön toimeksiantona tehtiin kellotus laipiomoduuliin. Kellotuksesta saatiin hyvää tietoa ja todellisia tilastoja moduloinnin hyödyistä. Kellotukseen valittu moduuli asennettiin lohkoon 278P, ja tämän lohkon työtunteja verrattiin lohkoon 278S, joka oli rakenteeltaan lähes samanlainen ja se rakennettiin perinteisellä tavalla, eli ilman moduulia. Lohko jossa käytettiin moduulia, rakennettiin työtunneissa 171,4 tuntia nopeammin. Rakentamiseen käytettiin myös 2 työpäivää vähemmän. Lohkojen rakentamisesta saaduissa työtunneissa on otettu huomioon erilaiset häiriötekijät.

Lohkojen työtuntien erotukseen tulleet tunnit eivät luultavasti olleet pelkästään moduulin ansiota, mutta tuloksista voidaan tulkita, että moduloinnista oli hyötyä lohkon rakentamisessa. 278P-lohkon suoritusluku oli myös hyvä, verrattuna 278S-lohkoon, ja muihin kahdeksannella kannella oleviin lohkoihin.

Tulevaisuudessa runkotuotannon moduloinnin kehityksen on jatkuttava. Moduloinnista on mahdollista saada todella paljon hyötyä lohkonkoonnille, mutta myös koko runkotuotannolle. Ainoastaan modulointia kehittämällä ei kuitenkaan tarvittavaa tuotannon määrää saavuteta, mutta modulointi on yksi hyvä tapa jolla voitaisiin päästä lähemmäs tulevaisuuden tuotannon määriä. Moduloinnin kehittäminen jatkuu myös opinnäytetyön jälkeen.

LÄHTEET

- Eerola, P. 2019. Tuotannonohjaaja, Meyer Turku Oy. Excel-taulukko
- Hölttä, P. 2019. Työnsuunnittelija, Meyer Turku Oy. Turku. Henkilökohtainen tiedonanto 17.4.2019.
- Ibrahimbegovic, A. 2019. Tuotantoinsinööri, Meyer Turku Oy. Turku. Sähköposti 31.7.2019.
- Lempiäläinen Juhani & Savolainen Jari. 2003. Hyvin suunniteltu – Puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Meyer Turku Oy. A0.Laivanrakennusprosessi_perusesitys_170913.pdf
- Meyer Turku Intranet, Yritysprofili. Viitattu 2.3.2019
- Meyer Turku Oy Laatuohje. Q.AFY.B.R.011_Lohkovalmistus
- Meyer Turku Oy Laatuohje. Q.TKU.B.R.011 Runkotuotanto
- Meyer Turku Oy Laatuohje. Q.TKU.B.R.013_Pintakäsittely
- Meyer Turku Oy Laatuohje. Q.TKU.C.R.107_Rungon rakennustapaselvitys
- Meyer Turku Oy Laatuohje. Q.TKU.C.R.315 Tasolohkolinjan (22m) toiminnankuvaus
- Meyer Turku Oy Laatuohje. Q.TKU.C.R.320 Suoran kansilohkon koonti
- Meyer Turku Oy. Suurlohkonkoonti_suomi_tulostettava_versio_05052015.pdf
- Modig Niklas & Åhlström Pär. 2013. Tätä on Lean – ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Tukholma: Rheologica Publishing.
- Saarnio, E. 2019. Rakennustapasuunnittelija, Meyer Turku Oy. Turku. Henkilökohtainen tiedonanto 10.4.2019.
- Tuomola, T. 2019. Projektipäällikkö, Meyer Turku Oy. DFMA:n sisällön esittely lohkonkoonnille. PowerPoint.
- Österholm Jussi & Tuokko Reijo. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Vantaa: Metalliteollisuuden Kustannus Oyj.