



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

RONI NIEMI
UUDEN KOKOONPANOLINJAN VAIHEISTUS JA TASAPAINOT-
TAMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Minna Lanz
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 28. helmikuuta
2018

TIIVISTELMÄ

Roni Niemi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 71 sivua, 1 liitesivua

Helmikuu 2018

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: Professori Minna Lanz

Avainsanat: kokoonpanolinjan tasapainotus, tahtiaika, työnaikatutkimus, sekamallilinja

Diplomityön kohdeyritys valmistaa hyttimoduuleja telakkateollisuuden tarpeisiin. Meyer Turun telakan kasvanut kysyntä aiheutti kohdeyrityksessä tarpeen uusille investoinneille. Uuden kokoonpanohallin tavoitteena on kasvattaa hyttimoduulien tuotantokapasiteettia, sekä lisätä kokoonpanon tehokkuutta tuottamalla hyttejä yhden sekamallilinjalla. Tämän diplomityön tavoitteena oli sovittaa tuotanto uudelle kokoonpanolinjalle muodostamalla eri hyttityyppien vaiheistukset kokoonpanoa varten. Tämän lisäksi tavoitteena oli suorittaa karkea kokoonpanolinjan tasapainotus, jonka avulla voidaan aloittaa uuden linjan tuotannon testaus.

Diplomityö koostuu kahdesta osiosta: teoriaosuudesta ja tutkimusosuudesta. Teoriaosuudessa esitellään kokoonpano toimintana, siihen liittyvät keskeiset käsitteet, kokoonpanolinjan toimintaperiaate ja sen suunnittelu, sekä manuaalisen kokoonpanon kehittäminen. Tämän lisäksi kerrotaan työntutkimuksesta ja työn standardisoinnin merkityksestä. Teoriaosuuden lopussa käsitellään kokoonpanolinjojen tasapainotusta ja tuotannon tasaamista. Tutkimusosuus alkaa nykytilan selvityksellä, jossa yritysasettelyn ja tuoteanalyysin jälkeen esitellään kohdeyrityksen nykyinen tuotantoprosessi ja sen ongelmakohtat. Tutkimusosuudessa suoritettiin nykytuotannon työntutkimus, jossa nykytuotannon vaiheistuksen dokumentoinnin jälkeen aloitettiin työnaikatutkimus kolmelle erilaiselle päähyttityypille. Työnaikatutkimuksen tulosten perusteella suunniteltiin vaiheistukset tuotannon testauksen aloittaville hyteille, joka piti sisällään suurimman osan uudella linjalla kokoonpantavista päähyttityypeistä. Loput vaiheistukset muodostetaan tuotannon testauksen aikana. Vaiheistuksien muodostamisessa otettiin huomioon kokoonpanolinjan tahtiaika, etusija- ja rakenteelliset rajoitteet. Vaiheistuksien tasapainotuksessa pääpaino oli ylikuormitusten ja liiallisen joutoajan minimoimisessa. Sekamallilinjajamaisen kokoonpanon mahdollistamiseksi vaiheistuksien työsisällön ja miehityksen yhtenäistäminen antoi omat haasteensa kokoonpanon suunnitteluun.

Nykytuotantoon suoritettu työnaikatutkimus antoi tärkeää tietoa kokoonpanon oikeasta tilasta ja mahdollisti vaiheistuksien suunnittelussa linjan tehokkaamman hyödyntämisen. Tämän diplomityön tuloksena syntyneissä vaiheistuksissa matkustajayhtin kokonaistyömäärä putosi 45 % ja miehistöhytin 25 % aikaisemmin arvoidusta.

ABSTRACT

Roni Niemi

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 71 pages, 1 Appendix pages

February 2018

Master's Degree Programme in Mechanical Technology

Major: Production engineering

Examiner: Professor Minna Lanz

Keywords: Assembly line balancing, cycle time, work measurement, mixed-model line

The target company of this MCs thesis produces cabin modules for the needs of the shipbuilding industry. As the Meyer Turku yard experienced growth in demand it also triggered the need for new investment for the target company. The goal for the new assembly hall is to increase the production capacity as well as the efficiency of the assembly by producing cabins with only one mixed-model line. The purpose of this MCs thesis was to fit the production to the new assembly line by forming work phasing's for the different cabin types. In addition to this the goal was also to conduct a ruff balancing for the assembly line, which allows to start the test production face in the beginning of the next project.

This MCs thesis consists of two parts: theoretical and empirical parts. The theoretical part discusses first assembly as on action, the key concepts of assembly, the principles of assembly line and its designing as well as the development of manual assembly. In addition, the principles of work measurement and the importance of work standardization are also discussed. The end of the theoretical part consists of different aspects of assembly line balancing and production sequencing. The empirical part starts with current state survey, where after company presentation and product analysis, the current production as well as its problem areas are presented. In the empirical part a work study was conducted to the old production. The work study started with a documentation of the existing work phasings' and after that a work measurement was conducted to a three different main cabin types. With the results obtained from the work measurement new work phasings' were designed for cabins which will start the production testing of the new assembly line. These work phasings' contained most of the main cabin types. Work phasings' for rest of the main cabin types are created during the production testing. During the phasing design the defined cycle time, existing precedence constraints and structural aspects had to be taken into account. In the assembly line balancing the main focus was in the avoidance of overload situations and unnecessary idle time. To enable mixed-model line production the created phasing's needed to have a similar labor content and worker occupation needs which raised many challenges.

The work measurement study gave new important information about the real state of the assembly and enabled more efficient use of the new line in the work phasing design. In the different work phasings' resulting from this study the overall workload for a passenger cabin decreased 45 % and for a normal crew cabin 25 % from the previous estimates.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin vuoden 2017 aikana Piikko Works Oy:lle tehostamaan uudelle kokoonpanolinjalle siirtyvää hyttituotantoa. Haluan kiittää yrityksen puolesta työssäni auttaneita henkilöitä, erityisesti työni ohjaajaa Kimmo Kaskea sekä tuotantopäällikköä Lauri Laaksoa antamasta ohjauksesta. Tämän lisäksi haluan kiittää Sami Viitasta ja Eetu Urmasta monista kahvin ääressä käydyistä keskusteluista, jotka auttoivat allekirjoittanutta saamaan käsitystä yrityksen kokonaiskuvasta. Allekirjoittaneen työssä auttoivat myös Pertti Hietasalo ja työnjohtajat, jotka lähtivät tulevaisuuden rakentamiseen avoimin mielin ja antoivat itselleni täyden tuen työn alusta lähtien.

Haluan lisäksi osoittaa kiitokset työni ohjaajalle ja tarkastajalle Minna Lanzille tarvittavasta avusta diplomityön aikana.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni tuesta koko projektin aikana.

Turussa, 4.3.2018

Roni Niemi

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn tavoitteet ja rajaukset	1
1.2	Työn rakenne	2
1.3	Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät	3
2.	KOKOONPANO JA KOKOONPANOLINJAN TASAPAINOTUS.....	4
2.1	Kokoonpanon periaate.....	4
2.1.1	Kokoonpanon keskeisiä käsitteitä ja kaavoja.....	5
2.2	Kokoonpanolinja ja sen suunnittelu	7
2.2.1	Erilaiset kokoonpanolinjat	9
2.2.2	Lyhyen ja pitkän tahtiajan vaikutukset	11
2.3	Manuaalisen kokoonpanon kehittäminen.....	12
2.3.1	Työntutkimus	15
2.3.2	Standardoitu työ ja jatkuva parantaminen.....	17
2.4	Kokoonpanolinjan tasapainotuksen periaate.....	18
2.5	Kokoonpanolinjan tasapainotus erilaisissa ympäristöissä.....	20
2.6	Linjan työkuorman tasapainottaminen työasemille.....	23
2.6.1	Tasapainotus vaiheajojen perusteella.....	26
2.6.2	Esivalmistelut.....	29
2.7	Tuotannon sekvensointi.....	30
2.7.1	Lean-valmistus ja heijunka	32
3.	ANALYYSI KOHDEYRITYKSEN NYKYTILASTA	34
3.1	Yritysesittely	34
3.2	Tuoteanalyysi	35
3.3	Tilaustoimitusprosessi	36
3.4	Nykyinen tuotantoprosessi	37
3.5	Toimintaympäristön haasteet	41
3.6	Tuotannon ongelmakohdat.....	43
4.	KOKOONPANOLINJAN VAIHEISTUS JA TASAPAINOTUS	45
4.1	Vanhoiden työnaikatutkimus- ja vaiheikadatojen analysointi.....	45
4.2	Nykyisen tuotannon työntutkimus	46
4.3	Uuden kokoonpanolinjan toteutus.....	49
4.4	Vaiheistuksien ja tasapainotuksen suunnittelu	51
4.5	Tuotannon sekvensointi.....	56
4.6	Uuden kokoonpanolinjan tuotannon testaus	57
4.6.1	Tuotannon käynnistämisen haasteet ihmisenäkökulmasta	58
5.	TULOKSET	60
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA UUDEN LINJAN JATKUVA PARANTAMINEN	61
6.1	Tuotannon kehitys	61
6.1.1	Kokoonpantavuus ja työtapojen menetelmäkehitys.....	62

6.1.2	Esivalmistelu mahdollisuudet	63
6.1.3	Työntekijöiden koulutus	65
6.1.4	Uuden linjan työntutkimus.....	65
6.2	Suunnittelun ja tuotannon kommunikointi.....	67
6.3	Logistiikka.....	68
7.	YHTEENVETO	70
	LÄHTEET.....	72

LIITE A: MALLI TYÖNAIKATUTKIMUKSEN POHJASTA

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Aikastandardi	Työnaikatutkimuksen avulla määritelty aika.
ALBP	engl. Assembly Line Balancing Problem, kokoonpanolinjan tasapainotus ongelma. Koskee työn tasaista jakamista työasemille.
DFA	engl. Design For Assembly, suunnittelu kokoonpantavuus huomioiden.
Etusijarajoite	Kokoonpanossa osa komponenteista täytyy asentaa ennen toisia komponentteja.
GALB	engl. General Assembly Line Balancing, nimitys laajennetulle kokoonpanolinjan tutkimukselle.
Hukka	Asia, joka ei lisää tuotteen arvoa asiakkaan näkökulmasta. Hukan lähteitä on luokiteltu 8 erilaista.
Iterointi	Menetelmä, jossa työvaiheita toistetaan niin kauan kunnes haluttu lopputulos saavutetaan.
JIT	engl. Just-In-Time, järjestelmä jossa materiaali saapuu kohteelle juuri oikeaan aikaan.
Joutoaika	Käyttämättä jäävä työaika työasemalla, jos työtä on liian vähän määriteltyyn työaikaan nähden.
Joutuisuus	Työntekijän työskentely tehokkuutta kuvaava kerroin.
Kaizen	Jatkuvan parantamisen kulttuuri, jossa toimintaa yritetään parantaa aina.
Sekamallilinja	Yhdellä tuotantolinjalla tuotetaan sekaisin erilaisia tuotteita.
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä, joka yhdistää yrityksen eri toimintoja, kuten tuotanto, hankinta ja logistiikka.
SALB	engl. Simple Assembly Line Balancing, yksinkertainen kokoonpanolinjan tasapainotus.
SALBP	engl. Simple Assembly Line Balancing Problem, yksinkertaisen kokoonpanolinjan keskeisin ongelma.
SMAL	engl. Single-Model Assembly Line, yhdellä linjalla tuotetaan vain yhtä tuotetta.
Tahtiaika	Aika jonka työkappale viettää työasemalla ennen seuraavalle työasemalle siirtymistä.
Tahtilinja	Työkappaleet liikkuvat linjalla työasemalta toiselle tahdin mukaisesti.
Takt-aika	Asiakaskysyntään perustuva aika, jonka välein tuotteen on valmistettava linjalta.
Työmäärä	Yhdeltä työntekijältä kuluva kokonaisaika tuotteen kaikkien töiden tekemiseen.
Työnaikatutkimus	Tutkimus jossa mitataan työvaiheiden kestoja ja näin määritellään odotettavia työnkestoja läpi tuotannon kaikkien työntekijöiden.
Työntutkimus	Tutkimus, jonka tavoitteena on määritellä ja kehittää tutkimuksen kohteena olevan työn työmenetelmiä, ergonomiaa ja ajankäyttöä.
Vaiheaika	Työaseman töiden suorittamiseen kuluva aika.
Ylikuormitus	Työasemalla on liian paljon työtä määriteltyyn työaikaan nähden.

1. JOHDANTO

Kohdeyritys on Turun laivarakennus telakan tytäryhtiö ja valmistaa modulaarisia hyttejä telakalla rakennettaviin risteilijöihin. Turun telakan omistajuuden vaihduttua Meyer Werft perheyritykselle, koki telakan kysyntä huomattavan kasvun. Kohdeyrityksen sisältä ja uuden omistajan toimesta havaittiin tarve uusille investoinneille pyrkimyksenä tehostaa yrityksen toimintaa ja samalla kyvykkyyttä vastata paremmin telakan tarpeisiin. Uusi investointi pitää sisällään uuden tuotantohallin, jossa yhdellä pakkotahtilinjalta kokoonpannaan suurin osa kohdeyrityksen kaikista hyteistä. Uudella linjalla on pyrkimyksenä tavoitella tuotannon tasaista virtausta määrättyllä tahdilla.

Uuden linjan tavoitteena on nostaa kohdeyrityksen tuottavuutta mahdollistamalla keskimäärin 24 hytin päivittäinen valmistuminen. Usean eri tuotteen kokoonpano samalla linjalla ja tahtiajan pienentäminen on erittäin haasteellista ottaen huomioon kohdeyrityksen monimutkainen tuoterakenne. Keskimääräinen hytti muodostuu noin 170 komponentista, jonka takia hyttien kokoonpano vaatii melko yksityiskohtaisen vaiheistuksen. Ennen uuden linjan käyttöönottoa täytyy nykytuotannon pohjalta suunnitella tasapainoinen vaiheistus, joka ehkäisee ylikuormitusten ja toisaalta liiallisen joutoajan muodostumisen. Uuden linjan tarkempi määrittely, kuten tulevien työasemien tarkka lukumäärä, oli käynnissä samanaikaisesti tämän tutkimuksen kanssa. Uuden linjan kokoonpano alkaa tuotannon testauksella, jossa tämän opinnäytetyön aikana syntyneitä ratkaisuja kokeillaan käytännössä.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena oli nykytuotantoon suoritettua työntutkimuksen perusteella suunnitella uudelle linjalle tasapainotetut vaiheistukset eri hyttimallien kokoonpanoa varten. Tasapainotuksessa pääpaino oli työn tasaisessa jakamisessa kokoonpanolinjan jokaiselle työasemalle. Edellä mainitun lisäksi tasapainotuksen avulla oli tarkoitus mahdollistaa sekamallilinjamainen kokoonpano. Tämä tarkoitti eri hyttityyppien vaiheistuksien yhtenäistämistä, jossa samoilla työasemilla suoritetaan samankaltaista työtä, pyrkien mahdollisimman pieneen eroon työmäärissä. Diplomityön tarkoituksena oli samalla arvioida yrityksen nykytilaa ja tuoda esille tuotannon kriittisimpiä kehityskohteita. Tutkimuksen avulla luodut vaiheistukset luovat pohjan uuden linjan toiminnan aloitukselle ja mahdollistavat jatkuvan kehityksen aloituksen, jossa uuden linjan luomia mahdollisuuksia yritetään hyödyntää tehokkaasti.

Työn lähtökohtana oli yrityksen nykytuotannon perusteellinen analysointi ja työnaikatuotannon suorittaminen parvekkeelliselle matkustajahyttille ja kahdelle erilaiselle

miehistöhytille. Käytettävissä oleva aika ei mahdollistanut laajempaa työntutkimusta, joka käsittelisi useampia hyttityyppejä. Suoritettujen tutkimuksien pohjalta oli kuitenkin mahdollista muodostaa karkeat vaiheistukset myös lopuille uudella linjalla kokoonpantaville hyteille. Työnaikatutkimuksen tulosten perusteella oli mahdollista luoda eri hyttimallien vaiheistukset uuden linjan vaatimusten mukaisesti. Työnaikatutkimuksen tuloksena saatiin arvokasta tietoa todellisista hyttien vaatimista työmääristä. Arvioidut kokonaistyömäärät putosivat miehistöhyttien kohdalla kolmasosan ja matkustajahytiltä puoleen aikaisemmin arvioiduista.

1.2 Työn rakenne

Diplomityö koostuu kahdesta kokonaisuudesta: teoriaosuudesta ja tutkimusosuudesta. Teoriaosuus alkaa luvusta 2 kokoonpanon määrittämisellä, jossa esitellään kokoonpano toimintana, siihen liittyvät keskeiset käsitteet, kokoonpanolinjan toimintaperiaate ja sen suunnittelu, sekä manuaalisen kokoonpanon kehittäminen. Tämän lisäksi luvussa 2 käsitellään kokoonpanolinjojen tasapainotusta koskevan tutkimuksen kehitys ja sekamallilinjan tasapainotuksen perusta.

Tutkimusosuus alkaa luvusta 3, jossa esitellään kohdeyritykseen suoritettu nykytila selvitys. Selvitys alkaa yritysesittelyllä, jonka jälkeen käydään läpi tuoteanalyysi ja kohdeyrityksen tilaustoimitusprosessi. Tämän jälkeen esitellään nykyinen tuotantoprosessi, sen ongelmakohdat ja kerrotaan toimintaympäristön asettamista haasteista.

Luvussa 4 käsitellään aluksi uuden linjan suunnittelun aloitusta, joka pitää sisällään yrityksen vanhan vaiheikadatan ja aikaisempien työnaikatutkimuksien analysoinnissa ilmenneet haasteet. Tämän lisäksi käydään läpi nykytuotantoon suoritettu työntutkimus, johon sisältyy nykyisille kokoonpanolinjoille suoritettu työnaikatutkimus. Luvussa 4 esitetään lisäksi uuden linjan vaiheistuksien suunnitteluprosessi. Suunnitteluprosessin käsittely alkaa uuden kokoonpanolinjan rakenteen esittelyllä, jonka tarkoituksena on antaa lukijalle ymmärrys uudesta ympäristöstä. Tämän jälkeen esitellään uuden linjan vaiheistuksien muodostaminen työnaikatutkimuksessa saatujen tulosten avulla. Suunnitteluprosessi jatkuu syntyneiden vaiheistuksien yhtenäistämällä, jonka avulla pyritään mahdollistamaan sekamallilinjamainen kokoonpano. Lopuksi luvussa 4 kerrotaan uuden linjan tuotantosekvenssin mahdollisesta toteutuksesta ja tulevan linjan testauksen suorittamisesta.

Luvussa 5 tuodaan esille tämän diplomityön aikana saavutetut tulokset. Tuloksissa käsitellään syntyneiden vaiheistuksien vaikutus eri hyttimallien kokonaistyömääriin.

Luvussa 6 tuodaan esille johtopäätökset ja kriittisimmät kehityskohteet, joiden tarkasteluun on syytä paneutua tulevaisuudessa. Kehityskohteiden tarkastelussa tuotantoon vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin laajasti. Kehityskohteiden tarkastelu pitää sisällään tuo-

tannon lisäksi suunnittelun, hankinnan ja logistiikan tuotantoon vaikuttavien tekijöiden arvioinnin.

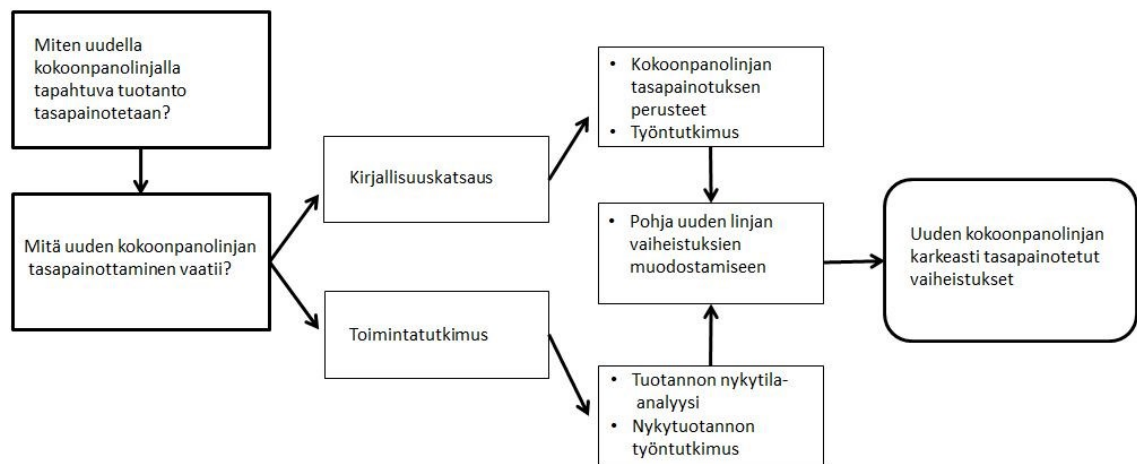
Luvussa 7 pohditaan diplomityön onnistumista tavoitteiden täyttymisen osalta.

1.3 Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät

Työ suoritettiin pääosin toimintatutkimuksena. Teoria osuus koostuu kvalitatiivisesta kirjallisuuskatsauksesta, jossa käsitellään kokoonpanotyötä, sen kehittämistä ja sekamallilinjain tasapainotusta.

Käytännön osuudessa nykytilaselvitys perustui pääosin epävirallisiin haastatteluihin ja allekirjoittaneen omaan havainnointiin, joiden avulla muodostui kuva tuotannon nykytilasta, sen ongelmista ja mahdollisista kehityskohteista. Uuden linjan vaiheistuksen kannalta tärkeät tuotannon osakohtaiset asennusajat ja työajat saatiin työntutkimuksen aikana suoritetulla työnaikatutkimuksella. Tuotannon testauksen aloittava vaiheistus muodostui lopulliseen muotoonsa iteratiivisesti useiden palaverien ja keskustelujen kautta.

Kuvassa 1 on esitelty työn tutkimuskysymykset, työssä käytetyt tutkimusmenetelmät, osatavoitteet ja tavoiteltu lopputulos.



Kuva 1. Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät

2. KOKOONPANO JA KOKOONPANOLINJAN TASAPAINOTUS

Aikoinaan Henry Ford mullisti kokoonpanotyön ottaessaan käyttöön liikkuvat kokoonpanolinjat. Liikkuvalla linjalla valmistettiin Fordin menestyksestä Model-T autoa. Aikaisemmin autoja oli valmistettu tavalla, jossa samat työntekijät valmistivat auton alusta loppuun. Ford havaitsi edellä mainitun tavan tehottomuuden ja kehitti liikkuvan linjan jossa auto siirtyi työpisteeltä toiselle. Työntekijät eivät enää rakentaneet koko autoa, vaan ainoastaan heidän työpisteelle kuuluvan osan valmistusta. (Grzechca, 2011) Tämä mahdollisti erikoistumisen, jossa työntekijät suorittivat heille kuuluvat työtehtävät tehokkaasti (Rekiek & Delchambre, 2006). Henry Fordin ottama edistysaskel muutti kokoonpanotyön lopullisesti, aiheuttaen samalla laskun tuotannon kustannuksissa (Grzechca, 2011).

2.1 Kokoonpanon periaate

Tässä aluvuussa käydään läpi kokoonpanon keskeisiä käsitteitä ja sen suorituksen mittaamiseen liittyviä kaavoja. Käsitteiden esittely auttaa lukijaa ymmärtämään työn sisältöä ja ennalta ehkäisee väärinymmärryksien syntymisen.

Kokoonpano on prosessi jossa yhdellä tai useammalla työasemalla sovitetaan erilaisia osia yhteen lopullisen tuotteen luomiseksi. Kokoonpanossa käytettävät osat voivat olla yksittäisiä komponentteja tai osakokoonpanoja. (Laperrière & Reinhart, 2014; Rekiek & Delchambre, 2006) Osakokoonpano koostuu komponenteista, jotka ovat kokoonpantu omilla kokoonpanopaikoilla. Osakokoonpanot voivat tulla myös sellaisenaan suoraan toimittajalta. Osakokoonpano liitetään lopulliseen tuotteeseen loppukokoonpanossa. (Tekes, 2001)

Kokoonpanojärjestelmät voidaan jakaa paikka- ja linjakokoonpanoksi. Suurten tuotteiden ja valmistusmäärien kokoonpanoon soveltuu kokoonpanotehdas. Kokoonpanojärjestelmien suunnittelun olennaisiin kysymyksiin kuuluu osien saaminen mahdollisimman lähelle asennuspaikkaa. (Lapinleimu, Kauppinen, & Torvinen, 1997)

Kokoonpanopaikalla työn hoitaa yksi työntekijä tai työryhmä. Työ voidaan jakaa kokoonpanopaikoille ammattialoittain, kuten sähkötyöhön, hydraulikka tai mekaniikka kokoonpanoon. Kokoonpanopaikka soveltuu yksittäis- ja pienerätuotantoon. **Kokoonpanolinjalla** työ on jaettu vaiheisiin joiden läpi tuotteet kulkevat. Linjalla kokoonpano voidaan suorittaa myös tuotetta seuraavan työryhmän avulla. Työryhmä kulkee linjalla

työkappaleen mukana vaiheelta toiselle ja suorittavat kunkin vaiheen työtehtävät edetessään linjalla. Tuotteen valmistuessa ryhmä palaa linjan alkuun aloittaen uuden tuotteen. **Kokoonpanotehdas** koostuu osakokoonpanopaikoista ja loppukokoonpanolinjasta. Se soveltuu suurille tuotteille ja tuotantomäärille. (Lapinleimu et al. 1997) Kokoonpanolinjaa käsitellään tarkemmin tämän luvun aliluvussa 2.2.

2.1.1 Kokoonpanon keskeisiä käsitteitä ja kaavoja

Kysyntävauhti (engl. Demand rate) on asiakaskysyntään perustuva suure, joka kertoo kuinka usein tuotteen tulisi valmistua linjalta. Se määritellään jakamalla käytettävissä oleva työaika kysynnällä (J. Miltenburg, 2007):

$$\text{Kysyntävauhti} = \frac{\text{Käytettävissä oleva työaika}}{\text{Asiakaskysyntä}}$$

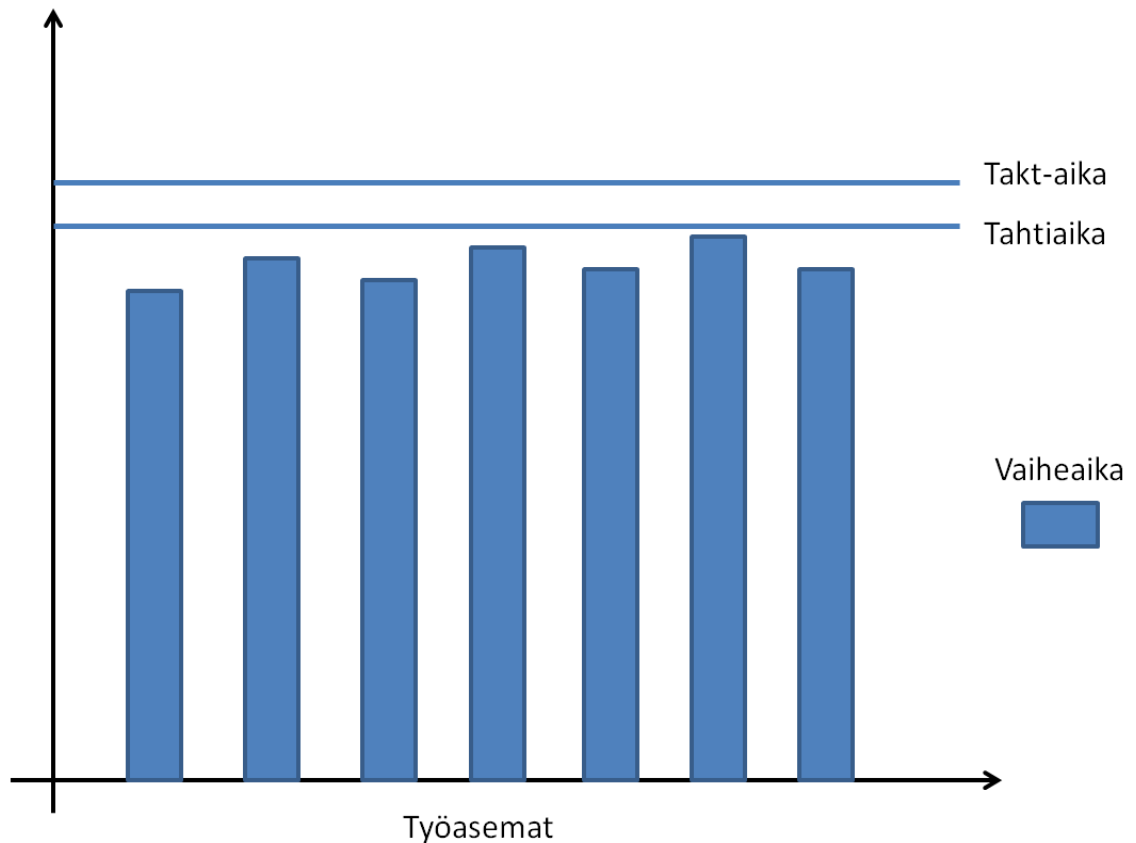
Takt-aika (engl. takt time) kertoo tahdin jolla asiakkaat vaativat yhden tuotteen valmistuvan linjalta (Rother & Harris, 2001). Takt-aika kertoo täten myös enimmäisajan, jota yhden tuotteen tekemiseen voidaan yhdellä työasemalla käyttää. Baudin (2002) mukaan tuotannossa jossa valmistetaan kysyntään yksi työkappale kerrallaan vakio nopeudella, takt-aika määrää ajan, jonka on kuluttava kahden perättäisen valmistuneen työkappaleen välillä. Takt-aika lasketaan jakamalla todellinen käytettävissä oleva työaika asiakaskysynnällä vuoroa kohden. Todellinen käytettävissä oleva aika lasketaan vähentämällä käytettävissä olevasta ajasta tauot, huollot ja muut arvioidut häiriöt.

$$\text{Takt - aika} = \frac{\text{Todellinen käytettävissä oleva työaika}}{\text{Asiakaskysyntä}}$$

Tahtiaika (engl. cycle time) määrittelee kuinka kauan työkappaleiden on suunniteltu viettävän kullakin työasemalla. Tavoiteltu tahtiaika lasketaan takt-ajan avulla. Prosessissa syntyy aina tilanteita, jotka aiheuttavat aikahäviötä, kuten konerikot, osien hajoamiset ja odottelu. Edellä mainitut häiriöt otetaan huomioon **välineistön kokonaistehokkuutta** kuvaavalla kertoimella (engl. Overall Equipment Effectiveness, OEE). (Team, 1999; Wilson, 2015) OEE on tehokas ja kuvaava mittari, joka kertoo tuotannon realistisen tilan. Näin ollen linjan tahtiaika on usein takt-aikaa nopeampi ja tällä varmistetaan takt-ajan täyttyminen. (Wilson, 2015)

$$\text{Tahtiaika} = \text{takt - aika} \times \text{OEE}$$

Työaseman vaiheaika (engl. station time) kertoo kokoonpanolinjan työasemien realisoituneen työajan. Jos kokoonpanolinjan kaikkien työasemien vaiheajat ovat samat, voidaan linjan sanoa olevan tasapainossa. (Wilson, 2015) Vaiheajat voivat kuitenkin vaihdella eri työasemilla ja tasapainotuksen tarkoituksena on tasata vaiheaikoja eri asemien välillä (Baudin, 2002).



Kuva 2. Työasemien vaiheaajat, linjan tahtiaika ja takt-aika (Wilson, 2015)

Kuvassa 2 on esitetty vaiheaikojen käyttäytyminen tahtiajan puitteissa. Kuvan kokoonpanolinja käyttäytyy hyvin, sillä kaikkien työasemien vaiheaajat ovat alle tahtiajan. Vaiheaajat eivät kuitenkaan saa olla liian paljon tahtiaikaa nopeampia. Jos näin on, saattaa osalla työasemista olla ylimiehitys. (Rother & Harris, 2001)

Läpimenoaika on aika, joka kuluu tuotteen valmistuksen aloituksesta siihen, että tuote on valmis toimitettavaksi asiakkaalle (Ahokas, Tiihonen, Neuvonen, & Suikki, 2011). Läpimenoaikaa kutustaan myös nimellä läpäisy aika (Lapinleimu et al. 1997). Läpäisy-aika koostuu jalostavasta ja ei jalostavasta työajasta. Jalostava työaika kertoo, mikä osuus ajasta käytetään tuotteen jalostusarvon kasvattamiseen. Jalostavaa työtä on esimerkiksi osien liittäminen. Ei jalostavaa työtä eli hukkaa ovat esimerkiksi tavaroiden siirtely ja osien sovittaminen. Ei jalostavan työn suuruuteen vaikuttaa paljon tuoterakenne ja osien suunnittelu. Lyhyt läpäisy aika kertoo hyvin toimivasta ja joustavasta tuotantojärjestelmästä. Kokoonpanotyössä läpäisy aikaan vaikuttaa suurelta osin odottele, johtuen joko materiaalien puutoksista tai niiden laadullisista ongelmista. (Ahokas et al. 2011; Lapinleimu et al. 1997; Tekes, 2001)

Työkappaleiden **laukaisu kurilla** (engl. launching dicipline) tarkoitetaan aikaväliä, joka kertoo kuinka usein työkappaleita lasketaan linjalle. Laukaisu kuri vaikuttaa linjan tehokkuuteen. Kokoonpanolinjoille löytyy kaksi erilaista laukaisu strategiaa: Kiinteä ja vaihteleva laukaisunopeus. Käytettäessä kiinteää laukaisunopeutta peräkkäisiä työkapp-

paleita lasketaan linjalle samalla intervallilla tahtiajan kanssa. Näin ollen tietyn aikavälin tuotto on helppo laskea jakamalla kyseinen aikaväli tahtiajalla. Vaihteleva laukaisu-nopeus lisää kokoonpanolinjan joustavuutta. Vaihtelevan laukaisu-nopeuden avulla voidaan pyrkiä ehkäisemään ylikuorman ja joutoajan muodostumista tietyllä aikavälillä. (Boysen, Fliedner, & Scholl, 2009)

Kokoonpanolinjalla mahdollisesti ilmenevä ylikuormitus ja joutoaika on käsitelty tarkemmin alaluvussa 2.4.

2.2 Kokoonpanolinja ja sen suunnittelu

Kohdeyrityksen uusi investointi pitää sisällään uuden kokoonpanotehtaan, jossa yhdellä tahdin mukaisesti liikkuvalla kokoonpanolinjalla on tarkoitus kokoonpanna suurin osa yrityksen tuotteista. Näin ollen tässä alaluvussa paneudutaan tarkemmin kokoonpanolinjan toimintaan.

Kokoonpanolinjat ovat tuotannon osa, joka koostuu työntekijöistä, koneista ja käytettävistä välineistä (Reinhart, 2014). Kokoonpanolinja koostuu m määrästä työasemia, jotka on aseteltu linjalle (Rekiek & Delchambre, 2006). Linjalla osia lisätään tuotteeseen sen liikkussa työasemalta toiselle usein liikkuvan linjan, esimerkiksi liukuhihnan avulla (Emde, Boysen, & Scholl, 2010). Kokoonpantavat tuotteet voivat vaihdella pienistä, suurissa erissä valmistettavista kulutustavaroista, suuriin koneisiin (Lapinleimu et al. 1997).

Kokoonpanolinjalla työasemat voivat olla suljettuja tai avoimia. **Suljetuilla asemilla** työntekijät suorittavat niille osoitetut työtehtävät työaseman rajojen sisällä, rajojen ylittämisen ollessa kiellettyä. Suljettujen työasemien käyttö on tarpeellista, jos työn suorittaminen vaatii määrätynlaisen ympäristön, esimerkiksi maalaamo on usein suljettu työasema. **Avoimien työasemien** käytössä rajojen ylittäminen voidaan sallia tietyissä rajoissa. Avoimet työasemat voivat olla avoimia työaseman oikealta, vasemmalta tai molemmilta rajoilta. (Boysen et al. 2009)

Kokoonpanolinjalla suoritettaviin tehtäviin kohdistuu usein **etusijarajoitteita** (engl. precedence constraints). Nämä rajoitteet tarkoittavat suoritusjärjestystä, jonka mukaan jokin työtehtävä voidaan suorittaa vasta, kun tietyt muut työtehtävät on suoritettu. (Rekiek & Delchambre, 2006) Kokoonpanotekniikka vaihtelee tuotteesta riippuen. (Lapinleimu et al. 1997) Kokoonpanolinjat voivat olla manuaalisia, automaattisia tai puoliautomaattisia. Manuaalisella linjalla kokoonpano suoritetaan manuaalisesti operaattoreiden toimesta. Automaattisella linjalla ohjelmoitu ohjausjärjestelmä ohjaa kokoonpanoa ja kokoonpanotyön suorittavat automaattiset koneet. Puoliautomaattisella linjalla hyödynnetään sekä manuaalisia, että automaattisia työasemia. (Reinhart, 2014)

Logistiikan toimivuudella on suuri vaikutus kokoonpanon toimintaan. Kuten edellisessä kappaleessa on mainittu kokoonpanossa osat ovat yleensä riippuvaisia toisistaan etusijarajoitteilla. Tämä tarkoittaa sitä, että kokoonpanossa asennettavat osat rakentuvat edellisten päälle. Näin ollen materiaalipuutteet saattavat aiheuttaa koko linjan pysähtymisen. (Hopp & Spearman, 2000) Kokoonpanolinjan tehokkuutta vähentää seuraavien tekijöiden kasvu:

- Kokoonpantavien osien lukumäärä
- Vaihtelevuus osien saapumisessa
- Suunnitelmallisuuden puute komponenttien saapumisessa

Jokainen edellä mainituista tekijöistä kasvattaa vaihtelua, joka lisää kokoonpanolinjalla tapahtuvaa odottelua ja linjan pysähdyksiä. (Hopp & Spearman, 2000)

Rekiek & Delchambre (2006) mukaan tärkein tavoite kokoonpanolinjan suunnittelussa on pyrkiä kasvattamaan linjan tehokkuutta maksimoimalla tuoton ja kustannusten suhde. Kokoonpanolinjan suunnittelu voidaan toteuttaa monella tavalla. Geng (2016) mukaan seuraavanlainen menettely voi toimia suunnittelun pohjana:

1. Analysoi tuote ja valmistamiseen vaadittavat kokoonpanovaiheet. Tarkastele vaihtoehtoisia kokoonpanomenetelmiä ja pohdi onko kokoonpano tarpeellinen.
2. Arvioi tai tutki jokaisen asennusoperaation kesto ja määrittele etusijarajoitteet.
3. Määrittele tarvittava tuotantokapasiteetti ja sen pohjalta kokoonpanolinjan tahtiaika.
4. Valitse kokoonpanon vaiheistus.
5. Sijoita työtehtäviä työasemille tahtiajan ja etusijarajoitteiden mukaisesti. Tasapainota linja.
6. Suunnittele kokoonpanon rakenne ja tasapainota työntekijät.

Ensimmäinen vaihe koskee erityisesti tuoterakenteen suunnittelua, jossa mietitään osien ja alikokoonpanojen rakennetta. Menetelmän toinen vaihe koostuu tehtäväaikojen ja etusijarajoitteiden määrittämisestä. Usein asennus aikoja ei vielä tiedetä suunnittelun näin aikaisessa vaiheessa. Näin ollen aikoja muodostetaan usein tutkimuksen sijasta aikaisempiin tutkimuksiin perustuvien aikojen ja kokemuseräisen arvioinnin perusteella. Etusijarajoitteet määräytyvät pääosin jo ensimmäisessä vaiheessa, mutta ne voivat myös muuttua suunnittelun myöhemmissä vaiheissa. Kolmannessa vaiheessa arvioidaan kysyntä ennusteita ja kokoonpanon kapasiteettia. Kokoonpanon kapasiteettiin vaikuttaa esimerkiksi mahdolliset laatuongelmat ja tuotantokatkokset. Edellä mainittujen pohjalta määritellään linjan tahtiaika. Manuaalisessa kokoonpanossa tahtiajan määrittämiseen vaikuttaa myös tuotteen koko ja työstä aiheutuva fyysinen rasitus. Neljännessä vaiheessa määritellään kokoonpanon vaiheistus. Tämä tarkoittaa tuotteen kokoonpanoon tarvittavien operaatioiden sijoittelua työasemille. Neljännen vaiheen suunnittelu on vahvasti kytköksissä viidenteen vaiheeseen, linjan tasapainotukseen. Näiden vaiheiden yhteisenä

tavoitteena on jakaa työ työasemille tasaisesti. Kuudennessa vaiheessa kokoonpanon rakenne määritellään ja työntekijöiden välisiä työmääriä tasataan. (Geng, 2016)

Edellä mainittua menetelmää toteutetaan iteratiivisesti eri vaiheiden vuorovaikutuksen ja vallitsevien epävarmuuksien johdosta. Menetelmässä vaiheita ei mietitä yksitellen vaan yleensä muutamia vaiheita yhdessä, jotta suunnitelmasta muodostuu yhtenäinen. (Geng, 2016)

Laperrière & Reinhart (2014) määrittelevät kokoonpanolinjan suunnittelun laajemmin. Heidän mukaansa kokoonpanolinja voidaan jakaa fyysisiin ja loogisiin komponentteihin. Näiden komponenttien huomioon ottaminen on tärkeää kokoonpanolinjan suunnittelussa. Suunnittelussa onkin suotavaa ottaa mukaan henkilöstöä yrityksen eri osastoilta ja näin varmistaa kaikkien komponenttien huomioiminen. Loogiset komponentit on jaoteltu seuraavasti:

- Prosessi suunnittelu
- Linjan tasapaino
- Testaus strategia
- Linjan tuoton hallinta
- Materiaalin hallinta
- Ylläpito
- Keskeneräisen tuotannon hallinta
- Osien hankinta
- Henkilöstö resurssit
- Linjan koko ja layout
- Tietojärjestelmät

Fyysiset komponentit koostuvat koneista, osista ja muista kokoonpanossa käytettävistä välineistöistä. Osa loogisista ja fyysisistä komponenteista ovat riippuvaisia toisistaan ja tämä on otettava huomioon suunnittelussa. (Laperrière & Reinhart, 2014)

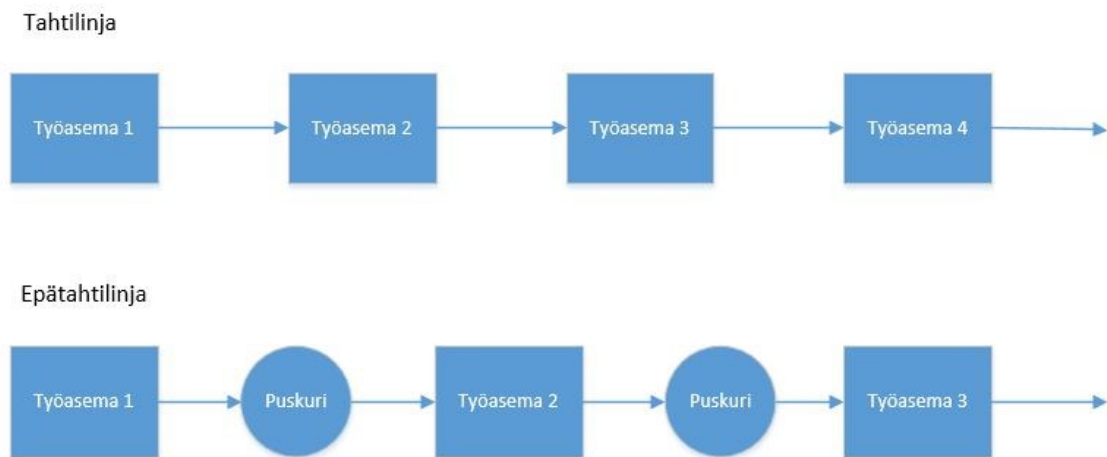
2.2.1 Erilaiset kokoonpanolinjat

Kokoonpanolinjat voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan tahtilinjaan ja epätahtilinjaan (Lapinleimu et al. 1997). Tämän lisäksi linjalla valmistettavat tuotteet ja niiden tuotantojärjestys, antavat omat erityispiirteensä kokoonpanolinjan määrittelyyn. Tässä alaluvussa tuodaan esille erilaisia kokoonpanolinjoja.

Tahtilinja on jatkuvalla nopeudella liikkuva linjasto, jossa tuotteet liikkuvat työasemalta toiselle tasaisin välein. Tahtilinjalla työasemat ovat sijoitettu linjalle vierekkäin. Linjan jatkuvasta liikkeestä johtuen työasemilla on vain tietty aika suorittaa niille osoitetut työtehtävät, tuotteen saapuessa työaseman kohdalle. (Matanachai & Yano, 2001) Tahtilinjalla jokaisen työaseman vaiheaikaa rajoittaa asetettu tahtiaika (Becker & Scholl,

2006). Kokoonpanolinja voi olla myös **semitahtilinja**, jossa vain osa linjasta on tahtisassa (Matanachai & Yano, 2001).

Epätahtilinjalla jokainen työasema työskentelee omalla nopeudella, jonka johdosta tuotteet voivat joutua odottamaan ennen siirtymistä seuraavalle työasemalle. Kestoajkojen vaihtelua yritetään epätahtilinjalla hallita puskurivarastoilla, jotka sijaitsevat työasemien välissä (Becker & Scholl, 2006) Epätahtilinjalla puskurivarastot lisäävät keskeneräistä tuotantoa ja vievät käytettävissä olevaa tilaa. Näin ollen on suositeltavaa pitää varastot mahdollisimman pieninä. (Lapinleimu et al. 1997)



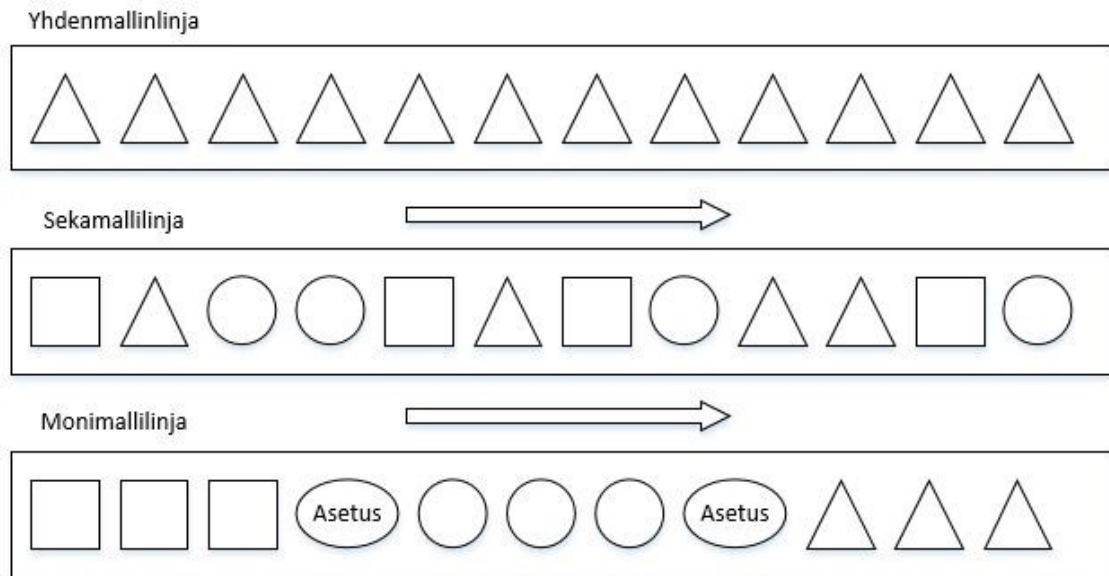
Kuva 3. Tahtilinja ja epätahtilinja (Lapinleimu et al. 1997)

Kokoonpanolinjalla, jossa tuotetaan vain yhtä tuotetta, kutsutaan nimellä **yhden mallin linja** (engl. Single-Model Line) (Becker & Scholl, 2006). Henry Ford käytti kuuluisan Model-T auton kokoonpanossa yhden mallin linjaa. Massa tuotettaessa vain yhtä tuotetta, voidaan yhden mallin linjan avulla saavuttaa huomattavia säästöjä tuotannon kustannuksissa. (Matanachai & Yano, 2001)

Linja, jossa valmistetaan tuotteita erissä, käytetään nimitystä **monimallilinja** (engl. Multi-Model Line). Monimallilinjalla eri tuotteita valmistetaan erä kerrallaan ja erien välillä suoritetaan tarvittavat tuotekohtaiset asetusmuutokset. (Becker & Scholl, 2006)

Kokoonpanolinjaa, jossa valmistetaan useita tuotteita sekaisin ilman asetusajoja, kutsutaan nimellä **sekamallilinja** (engl. Mixed-Model Line) (Merengo, Nava, & Pozzetti, 1999). Becker & Scholl (2006) mukaan sekamallilinjalla tuotettut tuotteet voivat erota toisistaan koon, värin, materiaalien ja käytettävien työkalujen osalta niin, että niiden kokoonpanon vaiheajat ja tehtävät voivat vaihdella. Rekiek & Delchambre (2006) mukaan sekamallilinjalla tuotettavien tuotteiden työvaiheet ja etusijarajoitteet yleensä kuitenkin muistuttavat toisiaan. Sekamallilinjat ovat usein tahtilinjoja tai semitahtilinjoja. Sekamallilinjalla, jossa tuotettavien mallien määrä ei rajoitu vain yhteen tuotteeseen, tahtilinjamainen kokoonpano aiheuttaa monia haasteita linjan tasapainotukseen. (Matanachai & Yano, 2001)

Kuvassa 4 tuodaan esille miten yhden mallin linja, monimallilinja ja sekamallilinja eroavat toisistaan.



Kuva 4. Erilaisia kokoonpanolinjoja (Becker & Scholl, 2006)

Tarve uusille kokoonpanolinjajärjestelmille on syntynyt muuttuneiden asiakastarpeiden myötä. Nykypäivän globaalissa kilpailuympäristössä yrityksiltä vaaditaan yhä laajempaa tuotevalikoimaa ja kyvykkyyttä vastata tehokkaammin asiakaskysynnän vaihteluihin. Tämä on luonut tarpeen joustavalle tuotannolle, jossa eri tuotteita valmistetaan samalta linjalta vastaamaan paremmin asiakastarpeisiin. Sekamallilinjoiden on havaittu olevan kyvykkäitä vastaamaan näihin haasteisiin. (Hu, Zhu, Wang, & Koren, 2008)

2.2.2 Lyhyen ja pitkän tahtiajan vaikutukset

Tahtiaika voi vaihdella alle sekunnista, jopa viikon mittaiseksi. Taulukossa 1 on esitetty erilaisia tahtiaikoja erilaisille tuotteille:

Taulukko 1. Tyypillisiä tahtiaikoja eri teollisuuden aloilla (Baudin, 2002)

Tahtiaika	Tuote
0,02 sek	Tupakka
1 sek	Pesuaine
5 sek	Printerin väripatruuna
10-30 sek	Auton osat
1-5 min	Auto
5-10 min	Iso moottoripyörä
1 päivä	Lentokone
1 vko	Laiva/Tankkeri

Baudin (2002) mukaan alle 10 minuutin tahtiaikaa pidetään lyhyenä tahtiaikana. Lyhyt tahtiaika tuo etuja, mutta myös haittoja jos tahtiaika laskee liian alhaiseksi. Manuaalista tuotantoa ei voida suorittaa alle sekunnin tahtiajalla. Edellä mainitussa tilanteessa ratkaisu on tuotannon automatisointi. Ongelmallisin lyhyt tahtiaika on 5-10 sekuntia. Kyseinen tahtiväli on liian suuri automaation suoraan hyödyntämiseen, ja samalla liian pieni manuaalisen tuotannon järkevään käyttöön. Manuaalisen tuotannon kannalta lyhyt tahtiaika tekee työstä erittäin itseään toistavaa ja pitkäväteistä, joka luo suurta raskautta työntekijöille. Baudin (2002) mukaan yli 30 sekunnin tahtiajalla toimivat yritykset ovat kyvykkäitä pitämään pitkäaikaisia työntekijöitä. Alle 30 sekunnin tahtiajalla toimivien yritysten tuotannon työntekijät ovat yleensä väliaikaisia. (Baudin, 2002)

Pidemmän tahtiajan (yli 10 minuuttia) tuotannossa työntekijät kohtaavat erilaisia haasteita lyhyeen tahtiaikaan verrattuna. Pidemmissä tahtiajoissa työntekijä suorittaa isomman määrän työoperaatioita. Näin ollen on mahdollista aiheutua tilanne, jossa työntekijä unohtaa jonkin työvaiheen. Pidempi tahtiaika lisää myös vaihtelua vaiheajoissa, jos työtä ei ole standardisoitu. Toisaalta pidempi tahtiaika lisää työtyytyväisyyttä rikkaamman työsisällön kautta. (Baudin, 2002)

2.3 Manuaalisen kokoonpanon kehittäminen

Kokoonpanotyön kehittäminen on tärkeää suuren kustannus ja tilankäyttöosuuden vuoksi. Kokoonpano on kuitenkin itsessään harvoin tavoitteellinen kehittämiskohde. Yleensä kokoonpanoajasta suurin osa kuluu osien liikutteluun ja paikoilleen asettamiseen, eikä liittämiseen joka on kokoonpanotyön päätehtävä. (Lapinleimu et al. 1997)

Malmberg et al. (1987) mukaan haluttaessa kehittää kokoonpanoa täytyy ottaa huomioon kaikki siihen vaikuttavat tekijät. Näin ollen kehittäminen alkaa kokoonpantavasta tuotteesta ja sen suunnittelusta kokoonpanoon soveltuvaksi. Kokoonpanon kehittämisen kivijalka kohdistuu täten myös osavalmistukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman perusedellytyksiä, esimerkiksi osien sopimista toisiinsa ja osien saatavuutta, valuvat kehittämistoimet hukkaan. Bogue (2012) mukaan suunnittelun, jonka lähtökohtana on suunnittelu osien tuotettavuus huomioiden (engl. Design For Manufacturing, DFM), tavoitteena on tuotteen tuottaminen mahdollisimman helposti ja kustannustehokkaasti. DFM on yhteyksissä suunnitteluun osien kokoonpantavuus huomioiden (engl. Design For Assembly, DFA). DFM keskittyy pääosin yksittäisten osien tuottamiseen ja DFA yrittää helpottaa osien muodostaman tuotteen rakentumista. DFA ajattelussa suunnittelun täytyy keskittyä esimerkiksi osien määrän minimointiin ja ylhäältä alas suuntautuvan kokoonpanosuunnan toteutumiseen. DFM ja DFA omaksutaan yleensä yhdessä, ja näin ollen niistä käytetään yhteistermiä DFMA. (Bogue, 2012)

Taulukko 2. DFMA yleiset ohjenuorat ja hyödyt (Bogue, 2012)

Ohje	Hyödyt
Tarvittavien osien minimointi	Parantunut luotettavuus, vähentyneet hankinta ja varastointi kustannukset, yksinkertaistunut kokoonpano
Käytä standardi osia räätälöityjen sijaan	Vähentyneet kustannukset, nopeutunut hankinta, parantunut luotettavuus
Minimoi ja standardisoi kiinnikkeet/suunnittele liittäminen ja kiinnitys tehokkaaksi	Vähentyneet kustannukset, yksinkertaistunut kokoonpano, parantunut luotettavuus, yksinkertaistunut korjaus ja huolto
Käytä mahdollisimman vähän erilaisia materiaaleja	Yksinkertaistunut saumaus, vähemmän tuotanto prosesseja
Minimoi särkyvien/herkkien osien määrä	Vähentyneet kustannukset osien rikkoutumisista, helpottunut käsittely ja kokoonpano
Vältä toleranssien ja pinnan laatujen ylimäärittely	Helpompi tuottaa ja vähentyneet valmistus kustannukset
Helpota valmistusta	Monimutkaisten tukien ja työstöjen eliminointi, sekä niistä aiheutuvat kustannus säästöt
Harkitse modulaarisia rakenteita	Vähentyneet kustannukset yksinkertaistuneen kokoonpanon ja testauksen myötä
Tähtää suunnittelu ratkaisuihin jotka itsessään poistavat kokoonpanovirheitä	Kokoonpano virheiden eliminointi ja niistä aiheutuneet kustannus säästöt
Suunnittele osa asennus suunnat ja käsiteltävyys huomioiden	Käsittelyn ja manuaalisen liikuttelun helpottumisesta aiheutuneet säästöt
Suunnittele tunnetut asennus tekniikat huomioiden	Tunnettujen tekniikoiden käytöstä aiheutuvat kustannus säästöt
Harkitse suunnittelua automattisoidulle/robotisoidulle kokoonpanolle	Potentiaaliset kustannus säästöt manuaaliseen työhön verrattuna

Taulukossa 2 on tuotu esille DFMA:n erilaisia ohjeita ja niiden avulla saavutettavia hyötyjä. Bogue (2012) mukaan DFMA-konseptit ovat nyky maailman globaalissa kilpailutilanteessa äärimmäisen tärkeitä, niiden avulla saavutettavien monien hyötyjen vuoksi.

Bralla (1999) korostaa yhteistyön tärkeyttä suunnittelun ja tuotannon välillä. Hänen mukaansa ainoastaan tiiviillä yhteistyöllä on mahdollista saavuttaa mahdollisimman tuotettava tuote. Malmberg et al. (1987) mainitsee, että suunnittelijan osuus on kokoonpanokustannuksista kaikista suurin. Bogue (2012) mukaan on laajasti tiedostettu, että noin 70 % tuotteen tuotantokustannuksista määräytyy suunnittelu vaiheen päätöksistä.

Lapinleimu et al. (1997) korostavat ennakkosuunnittelun tärkeyttä erityisesti kokoonpanossa. Mitä aikaisemmassa vaiheessa ennakkosuunnittelu tapahtuu, sen parempi on lopputulos. Lapinleimu et al. (1997) Kokoonpanotyössä korostuu riittävän ja oikea-aikaisen informaation merkitys. Riittävä informaatio nousee omaan arvoonsa kouluttaessa uusia työntekijöitä. (Malmberg & Kauppinen, 1987) Lapinleimu et al. (1997) mukaan tuote voidaan koota, jos:

- tiedetään mitä kootaan
- tiedetään mitä komponentteja työasemilla tarvitaan
- tiedetään mitä työkaluja työasemilla tarvitaan
- tiedetään kokoonpanon kulku
- kokoonpanossa tarvittavat materiaalit ovat oikeilla paikoillaan ja ulottuvilla
- materiaali täydennykset tulevat ajallaan

- ammattitaitoista työvoimaa on tarjolla riittävästi

Ennakkosuunnittelu koskee myös materiaalihuollon toiminnan tarkkaa suunnittelua. Liiallinen määrä materiaalia kokoonpanopaikalla on pyrittävä välttämään ja tavaroiden tulisi saapua ”juuri oikeaan aikaan” (engl. Just-in-Time, JIT). Materiaalin oikea aikaisen toimittamisen lisäksi olennaista on juuri oikean materiaalin toimittaminen työasemille. Tämän lisäksi materiaalit tulisi pitää järjestyksessä, sopivasti erillään ja riittävän lähellä työasemaa jolloin ne ovat helposti löydettävissä. (Malmberg et al. 1987) Materiaalien liikkuminen tuotannossa JIT-periaatteen mukaisesti pienentää varastotasoja ja kesken-eräistä tuotantoa. Liian suuret ja turhat varastot on yksi kahdeksasta hukan lähteestä. (The Productivity Development Team, 1998) Liker (2004) määrittelee 8 hukan lähettä seuraavasti:

- Ylituotanto: tuotetaan enemmän, kuin mitä olisi tarpeen.
- Odottelu: tarpeellisten osien odottelu, konerikot ja asetusajat aiheuttavat odotte-
lua.
- Tavaroiden turha kuljettaminen: tuotannon eri vaiheiden välissä tapahtuva tava-
roiden ja materiaalien turha liikuttelu.
- Turhat varastot: keskeneräinen tuotanto sekä raakamateriaalien ja valmiiden
tuotteiden varastointi lisäävät kustannuksia ja piilottavat ongelmia.
- Laatuvirheet: sitouttavat aika, sekä henkilöstö resursseja vian tutkimiseen ja kor-
jaukseen.
- Ylimääräiset liikkeet työskentelyssä: lisäävät työn suorittamiseen käytettyä ai-
kaa, laskien samalla tuotannon tehokkuutta.
- Ylikäsittely: työtä, joka ei lisää tuotteen arvoa asiakkaan näkökulmasta. Esimer-
kiksi ylilaadun tekeminen on ylikäsittelyä.
- Työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättäminen: työympäristö, joka ei tue
työntekijöiden luovuuden hyödyntämistä jatkuvassa kehityksessä.

Varsinaisen kokoonpanotyön kehittäminen jakaantuu kahteen osa-alueeseen: turhan työn poistamiseen ja tarpeellisen työn kehittämiseen. Turha työ tarkoittaa kaikkea työtä, joka ei jalosta tuotetta ja pitää sisällään monta edellä mainituista kahdeksasta hukan lähteestä. Tarpeellinen työ tarkoittaa työtä parhailla ja järkevillä tavoilla tehtynä, jota tarvitaan tuotteen kokoonpanemiseksi. (Lapinleimu et al. 1997; Malmberg & Kauppinen, 1987) Malmberg et al. 1987 mukaan kokoonpanotyön kehittämiseksi pätee seuraavat perussäännöt:

- etäisyyksien lyhentäminen
- mahdollistamalla työskentely molemmilla käsillä
- pyrkimällä suoriin liikeratoihin
- tarttumisen helpottaminen

Malmberg et al. (1987) mainitsee kokoonpanon työkulun kehittämisen suurimpana tavoitteena poistaa turhia siirtoja, kuljetuksia ja käsittelyä niin paljon kuin mahdollista.

2.3.1 Työntutkimus

Työntutkimuksen tavoitteena on parantaa kohdeyrityksen tuottavuutta, työ hyvinvointia ja kannattavuutta. Edellä mainittuihin tavoitteisiin pyritään tehokkailla, taloudellisilla sekä turvallisilla työmenetelmillä ja työolosuhteilla. Työntekijät hyötyvät työntutkimuksesta ja tuottavuuden kehittämisestä parempien ansioiden, turvallisten työmenetelmien ja työn jatkuvuuden kautta. Työntutkimus herättää usein työntekijöiden keskuudessa vastahakoisia tunteita. Työntekijöiden asenne johtuu työntutkimuksen vanhasta käytöstä urakkapalkkauksen pohjan laskemiseksi. Todellisuudessa nykypäivänä työntutkimuksen soveltamisalue on huomattavasti laajempi. (Ahokas et al. 2011)

Työntutkimuksen tavoitteena on määritellä ja kehittää tutkimuksen kohteena olevan työn työmenetelmiä, ergonomiaa ja ajankäyttöä. Työntutkimus aloitetaan tutkimuksen kohteena olevan työkokonaisuuden havainnoimisella. Työntutkimuksen sisältö vaihtelee sen tavoitteista riippuen. Yleisesti työntutkimus koostuu neljästä eri osa-alueesta (Ahokas et al. 2011).

- menetelmätutkimus
- työn vakiinnuttaminen
- työnopastus
- työnmittaus

Menetelmätutkimuksen tavoitteena on kehittää työmenetelmiä taloudellisemmaksi, turvallisemmaksi ja tehokkaammaksi. Työn vakiinnuttaminen pyrkii tehokkaan työmenetelmän vakiinnuttamiseen tuotannossa, jossa jokainen työntekijä toteuttaa työn määritellyllä tavalla. Työnopastus tarkoittaa tehokkaimman työmenetelmän kouluttamista uusille ja vanhoille työntekijöille. Työnmittauksesta käytetään tässä tutkimuksessa nimitystä **työnaikatutkimus**. Sen tarkoituksena on selvittää eri työvaiheiden kestoja. Työnaikatutkimuksen avulla määritellyt **aikastandardit** ovat tärkeä tieto kapasiteetti ja työvoima laskennan, sekä aikataulutuksen kannalta. (Ahokas et al. 2011; Stevenson, 2014) Tämän lisäksi siirrettäessä tuotanto uuteen ympäristöön, on uuden tuotannon vaiheistuksen ja tasapainotuksen muodostaminen erittäin haastavaa ilman määriteltyä työsisältöä ja aikastandardeja. (Stephens & Meyers, 2010)

Stephens & Meyers (2010) mukaan ymmärtääkseen työnaikatutkimuksen tärkeyden, täytyy ensin ymmärtää aikastandardi käsitteenä. Heidän mukaan aikastandardi on aika, joka kuluu työn suorittamiseen työasemalla täyttäen samalla seuraavat kolme ehtoa:

1. työn suorittaa harjaantunut työntekijä
2. työntekijä työskentelee normaalilla työtahdilla

3. työntekijä suorittaa määritellyn tehtävän

Aikastandardien määrittämiseen on olemassa erilaisia menetelmiä. Tässä tutkimuksessa paneudutaan sekuntikellolla suoritettavaan työnaikatutkimukseen. Kyseinen menetelmä perustuu havaintoihin yhdestä työntekijästä läpi useiden toistojen. Tämän perusteella voidaan määrittellä odotettava työnkesto kyseiseltä työltä läpi yrityksen kaikkien työntekijöiden (Stevenson, 2014). Työnaikatutkimuksen rakenne kulkee seuraavasti (Stevenson, 2014):

- määrittele mittaamisen kohteena oleva työ ja tiedota asiasta työn suorittavalle työntekijälle
- määrittele otosten lukumäärä
- mittaa työn kesto ja arvioi työntekijän joutuisuus
- laske standardiaika

Työnaikatutkimuksen otosten lukumäärään vaikuttaa Stevensonin (2014) mukaan kolme tekijää:

1. mittaustulosten hajonta
2. tavoiteltu tarkkuus
3. luottamus saatujen tulosten paikkansapitävyyteen.

Tutkimusta suorittavan henkilön olisi suotavaa olla täysin tietoinen tutkimuksen kohteena olevan työn sisällöstä. Työnaikatutkimusta suorittaessa voi syntyä helposti tilanteita, joissa työntekijät yrittävät tahallaan kasvattaa mittaustulosta suuremman standardiajan toivossa. Tutkijan on oltava kykenevä huomaamaan turhat liikkeet ja arvioitava työntekijän tehokkuutta joutuisuus kertoimen avulla. Joutuisuudella tarkoitetaan työntekijän tehokkuutta mittauksen aikana. Joutuisuus kertoimen avulla on mahdollista normalisoida mittaustulos jos työntekijä vaikuttaa suorittaneen työn normaalia hitaammin tai nopeammin. Normaali-joutuisuutta kuvataan kertoimella 1,0. Jos tutkijan käyttämä joutuisuus kerroin on 0,90, on työntekijä hidastellut työnsä aikana. Toisin sanoen työntekijä on mittaajan mukaan suorittanut työnsä 90 % tehokkuudella normaaliin työtahtiin nähden. Vastavuoroisesti 1,05 kerroin kuvastaa, että työntekijä on suorittanut työnsä hieman normaalia työtahtia nopeammin. Joutuisuus kertoimen avulla saadaan mittaustuloksista vertailukelpoisia keskenään. (Stevenson, 2014)

Sekuntikellolla suoritettavassa aikastandardien määrittämisessä, mitataan ensin havaittu aika (engl. observed time). Kertomalla havaittu aika joutuisuus kertoimella, saadaan normaaliaika (engl. normal time). Standardiaika (engl. standard time) saadaan kertomalla normaaliaika apuaikakertoimella. Apuaikakertoimen avulla otetaan ajassa huomioon tuotannossa tapahtuvat viiveet, kuten työn aikana tapahtuva kommunikaatio, vessassa käynnit, työkalujen rikkoutuminen ja työntekijöiden väsyminen. Yleinen apuaika kerroin on 1,2 eli 20 % lisäys normaaliaikaan. (Stevenson, 2014)

Suorittaessa työnaikatutkimusta tutkija saattaa huomata eroavaisuuksia työntekijöiden tavassa suorittaa työ, sekä epäkohtia jotka vähentävät työn tehokkuutta. Näin ollen tutkimuksen aikana tutkijan on syytä kerätä muistiinpanoja, joiden avulla tuotannon epäkohtia ja tulevaisuuden kehityskohteita saadaan tunnistettua. (Rother & Harris, 2001)

2.3.2 Standardoitu työ ja jatkuva parantaminen

Liker (2004) mukaan jokaisella tehtaan työntekijällä on omasta mielestään paras tapa suorittaa tietty työtehtävä ja suhtautuvat täten työn standardointiin vastahakoisesti. Standardointi nähdään työntekijöiden toimesta yleensä rajoittavana tekijänä, joka poistaa heidän itse havaitseman parhaan tavan työskennellä. Kuten työntutkimuksella myös työn standardisoinnilla on teollisessa ympäristössä edelleen huono maine, johtuen sen taustalla olevasta alkuperäistarkoituksesta. Aikaisemmin standardisoinnin avulla on pyritty nostamaan työvoiman tehokkuus äärimmilleen, ilman lisä ansioita. Tämä yleensä johti tilanteisiin, jossa tutkimuksen alla olevat työntekijät työskentelivät normaalia hitaammin, tavoitteenaan saavuttaa inhimillisempi työtahti. (Liker, 2004)

Liker (2004) ja The Productivity Development Team (1998) mainitsevat standardoidun työn koostuvan kolmesta eri osasta:

- Standardi vaihe-aika: aika joka kuluu yhden työvaiheen suorittamiseen asiakaskysynnän mukaan.
- Standardi työaseman vaiheistus: työaseman operaatioiden suoritusjärjestyksen ja työtavan määrittäminen.
- Standardit työasemakohtaiset osat työn suorittamiseksi: Lista osista, jotka työntekijä/työntekijät tarvitsevat työaseman operaatioiden suorittamiseksi.

Toyota on kehittänyt uudenlaista tapaa rakentaa standardoitua työtä muodostamalla joukkueita, joissa on edustettuna sekä työjohto että työntekijät. Joukkueiden muodostaminen poistaa jännitteitä johdon ja lattiatasen työntekijöiden väliltä, sekä auttaa rakentamaan yhdessä parempaa tapaa työskennellä. (Liker, 2004)

Standardoitu työ on Likerin (2004) mukaan perusta jatkuvalla parantamiselle. Jatkuva parantaminen, jota kutsutaan Japaniksi nimellä *Kaizen*, on pohjimmiltaan osa yrityskulttuuria, jossa yrityksen jokaisella tasolla sitoudutaan jatkuvaan kehitystyöhön. Ilman standardisointia prosessi todennäköisesti sisältää suurta vaihtelua, ja näin ollen mahdolliset kehityshankkeet katoavat vaihtelun sisälle. Prosessit on saatava ensin stabiloitua, ja vasta sen jälkeen niitä on mahdollista kehittää jatkuvan parantamisen keinoin. Standardisoinnin avulla tuotannossa syntyvä hukka ja epätehokkuudet erottuvat ja yrityksellä on mahdollisuus nähdä heti kehitystoimenpiteiden toimivuus. (Liker, 2004; The Productivity Development Team, 1998)

Toyotan jatkuva parantaminen on vahvasti kytköksissä ”5 kertaa miksi” - analyysiin. Ongelman ilmetessä tuotannossa Toyotan jatkuva parantaminen ei tyydy pelkästään ongelman ratkaisuun. Tärkeässä osassa on ongelman juurisyyn selvittäminen ja tarvittavien toimenpiteiden suorittaminen, jotta samankaltaiselta tilanteelta vältytään tulevaisuudessa. Juurisyyn selvittämiseksi kysytään viisi kertaa miksi, jotta ongelmaan vaikuttaneet tekijät saadaan tunnistettua. Yleensä ”5 kertaa miksi” - analyysi johtaa ylävirran prosesseihin. (Liker, 2004)

2.4 Kokoonpanolinjan tasapainotuksen periaate

Kokoonpanolinjojen tehokkuuden parantaminen on viime vuosisadan aikana saanut suurta huomiota alan tutkimuksen keskuudessa. Alan tutkimus keskittyi pitkään tasapainotusongelmiin, jotka liittyivät yksittäisen tuotteen massatuotantoon. Näin ollen uusien kokoonpanojärjestelmien tuomat muutokset kokoonpanotyöhön asettivat haasteita tutkijoille. (Boysen, Fliedner, & Scholl, 2007; Hu et al. 2008)

Sekamallikokoonpanolinjan tasapainottaminen koostuu kahdesta toisiaan täydentävästä kokonaisuudesta: Linjan työkuorman tasapainottamisesta ja tuotannon sekvensoimisesta (Boysen, Fliedner, & Scholl, 2008). Boysen et al. (2008) käyttävät kokonaisuuksien pohtimisesta myös termejä **kokoonpanolinjan tasapainotus** ja **sekvensointi ongelma**. Linjan työkuorman tasapainotus tarkoittaa työn tasaamista eri työasemien välillä. Tuotannon sekvensointi tarkoittaa tuotettavien tuotteiden tasaamista koko linjalle tietyllä aikavälillä. (Boysen et al. 2008; Matanachai & Yano, 2001) Nämä molemmat kokonaisuudet käydään tarkemmin läpi tämän kappaleen myöhemmissä luvuissa.

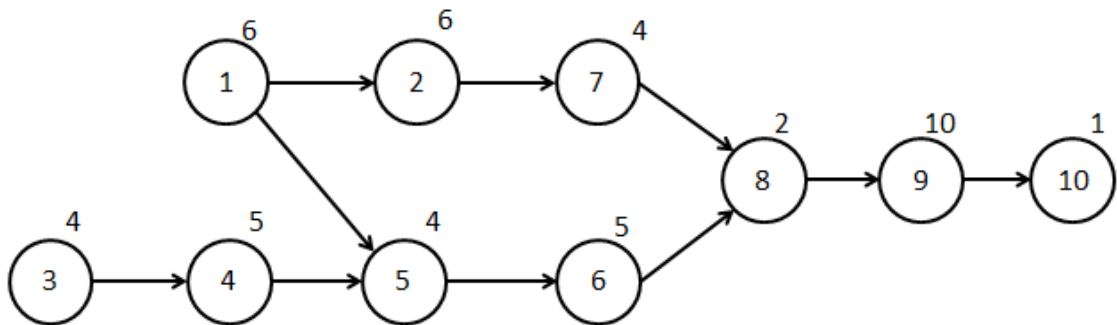
Kokoonpanolinjan tasapainottaminen koostuu erilaisista tekijöistä riippuen toimintaympäristöstä. Baudin (2002) mukaan tahtiajan mukaisesti liikkuvalla kokoonpanolinjalla kaikki työasemat näkevät tuotteen yhtä suuren ajan ja täten työn tasaaminen työasemien välillä perustuu tämän ajan mahdollisimman tehokkaaseen hyödyntämiseen. Työkuorman tasaaminen työasemille on yhden mallin linjan tasapainotuksen keskeisin tavoite. (Matanachai & Yano, 2001) Yhden mallin linjan tapauksessa työn tasaaminen kohdistuu vain työasemien välisen työkuorman tasaiseen jakamiseen (vertikaalinen tasapainotus). Vertikaalisen tasapainotuksen lisäksi sekamallilinjalla täytyy työ tasata myös eri mallien välillä (horisontaalinen tasapainotus), jotta eri malleista koostuva tuotanto sekvenssi saadaan virtaamaan linjan läpi. (Bukchin, 1998; Thomopoulos, 1970) Näin ollen siirryttäessä sekamallilinjalle kokoonpanolinjan tasapainotuksen tavoitteet käsittävät suuremman kokonaisuuden.

Stephens & Meyers (2013) mukaan linjan tasapainottamisen tarkoituksena on:

1. Työkuorman tasaaminen työntekijöiden välillä
2. Pullonkaula vaiheiden tunnistaminen
3. Kokoonpanolinjan nopeuden määrittäminen

4. Työasemien lukumäärän määrittäminen
5. Työvoimakustannusten määrittäminen
6. Jokaisen työntekijän prosentuaalinen työkuorman määrittäminen
7. Avustaa tehtaan layout suunnittelussa
8. Tuotanto kustannuksien vähentäminen

Kokoonpanolinjan tasapainottamiseen sisältyy aina toimivan linjatasapainon selvittäminen. Tämä pitää sisällään työn määräämistä työasemille niin, että työjärjestys ja muut rajoitteet otetaan huomioon (Boysen et al. 2008). Yleisin työkalu tasapainotuksen lähtökohdaksi on kuvassa 5 esitetty etusijavaihekaavio (engl. Precedence diagram). Vaihekaaviossa tuotteen tekemiseksi vaadittavat työelementit on asetettu suoritusjärjestyksen mukaiseen järjestykseen. Työelementtejä kuvataan ympyröillä, jotka on nimetty numeroilla ja ympyröiden viereen on merkattu työelementin vaiheaika. Työelementit on kytetty toisiinsa nuolilla, jotka kertovat suoritusjärjestyksen. Kaavion avulla työelementeistä muodostetaan ryhmiä ottamalla samalla huomioon asetettu tahti-aika. Tavoitteena on muodostaa ryhmiä, joiden yhteenlaskettu vaiheaika on mahdollisimman lähellä tahti-aikaa, kuitenkin sitä ylittämättä. (Becker & Scholl, 2006; Slack, Chambers, & Johnston, 2007)



Kuva 5. Etusijavaihekaavio (Becker & Scholl, 2006)

Jos työntekijät eivät onnistu suorittamaan kaikkia heille määrättyjä työvaiheita tahdin sisällä, aiheutuu **työn ylikuormitus**. Toisin sanoen tuotettaessa tuotteita tasaisella nopeudella liikkuvalla kokoonpanolinjalla työkappale poistuu työaseman alueelta keskenräisenä (Hu et al. 2011; Matanachai & Yano, 2001). Matanachai & Yano, (2001) mukaan ylikuormituksen käsittelyyn on 4 erilaista vaihtoehtoa:

- 1) työntekijät voivat kiirehtiä saadakseen työn valmiiksi
- 2) keskenräiset työt suoritetaan loppuun linjan myöhemmillä pisteillä
- 3) linja pysäytetään, jotta työntekijät voivat suorittaa kaikki työvaiheet
- 4) kutsutaan avustavat työntekijät auttamaan työasemalle

Jokainen edellä mainituista vaihtoehdosta aiheuttaa kuluja ja mahdollisesti ongelmia laadun ylläpidossa. Tästä johtuen ylikuorman ehkäisy parantaa tuotannon tehokkuutta ja tuotettavien tuotteiden laatua. (Matanachai & Yano, 2001) Todellisten ylikuormien syn-

tymistä sekamallilinjalla ei voida täysin poistaa linja tasapainon muodostamisella. Tämä johtuu siitä, että sekamallilinjalla ylikuormien ilmeneminen riippuu myös lyhyen aikavälin tuotanto-ohjelmasta ja sen pohjalta suunnitellusta tuotannon sekvenssistä. Linjan tasapainottamisella voidaan kuitenkin ehkäistä potentiaalisia ylikuormia ja tästä syystä horisontaalinen ja vertikaalinen tasapainotus on tärkeää. (Becker & Scholl, 2006)

Joutoaika ilmenee, jos työasemalla on liian vähän työtä tahtiaikaan nähden. Näin ollen jos työntekijät suorittavat työtehtävät odotetulla nopeudella, joutuvat he odottamaan seuraavan työkappaleen saapumista työasemalle. Yhden mallin linjalla joutuisuutta ilmenee yhdellä tahdilla vakio määrä. Sekamallilinjalla tapauksessa joutoaika vaihtelee riippuen mallien valmistusjärjestyksestä eli kokoonpanolinjan sekvenssistä. (Becker & Scholl, 2006; Hu et al. 2011)

2.5 Kokoonpanolinjan tasapainotus erilaisissa ympäristöissä

Siitä lähtien kun Henry Ford ensimmäisenä otti käyttöön liikkuvan kokoonpanolinjan, keskittyi kokoonpanotyö pääosin massatuotantoon, jonka tavoitteena oli tuottaa kustannustehokkaasti vain yhtä tuotetta (Boysen et al. 2007). Tätä kokoonpanotapaa kutsutaan nimellä yhden mallin kokoonpanolinja (engl. Singel-Model Assembly Line, SMAL) (katso kappale 2.2.1). Vuosien saatossa kokoonpanotyön kehittäminen sai suurta huomiota yrityksiensä ja akateemisen väen keskuudessa (Grzechca, 2011). Ensimmäiset tehokasta kokoonpanolinjaa koskevat optimointi laskelmat kehitettiin Salvesonin toimesta 1955. Salvesonin kehittämisiin kaavoihin perustuvaa tutkimustyötä alettiin kutsua nimellä yksinkertainen kokoonpanolinjan tasapainotus (engl. Simple Assembly Line Balancing, SALB). Tämän aikaisen tutkimustyön nimitys johtui sen monista yksinkertaistavista oletuksista keskeisintä tutkimuskysymystä kohtaan, joka koski työn tasaista jakamista työasemille. (Boysen et al. 2007) Työn tasaista jakamista työasemille joidenkin ennalta määriteltujen tavoitteiden mukaan, kutsutaan nimellä kokoonpanolinjan tasapainotus ongelma (engl. Assembly Line Balancing Problem, ALBP) (Becker & Scholl, 2006). SALB:in keskeisin ongelma SALBP (engl. Simple Assembly Line Balancing Problem) määritellään kirjallisuudessa seuraavasti (Scholl & Becker, 2006):

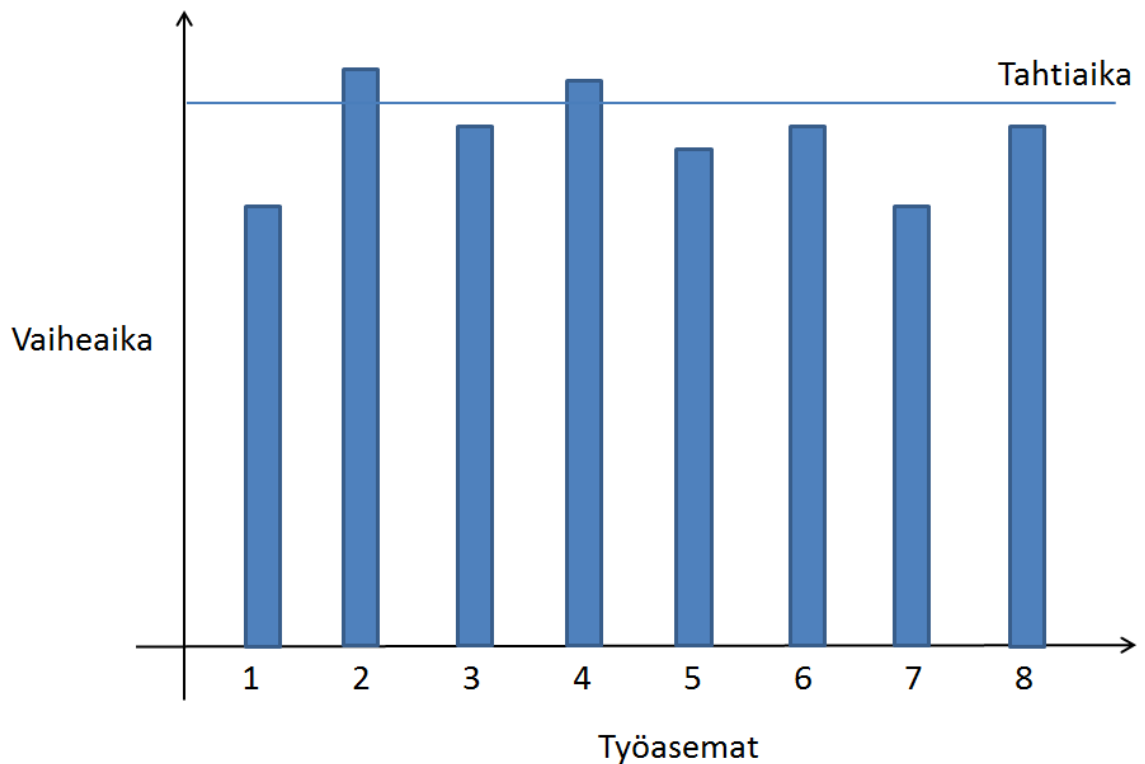
- massa tuotetaan yhtä homogeenistä tuotetta
- tahtilinja ja kiinteä tahtiaika c
- deterministiset vaiheajat
- ei muita rajoitteita kuin kokoonpanon järjestys (etusijarajoitukset)
- kokoonpano tapahtuu linjalla, jossa on tietty määrä yksipuolisia työasemia
- kaikki työasemat on varusteltu samalla tavalla
- linjan tehokkuus maksimoidaan pyrkimällä vaiheaikoihin, jotka ovat mahdollisimman lähellä tahtiaikaa

Taulukossa 3 on esitelty neljä erilaista SALBP versiota, jotka muodostuvat taulukossa esiteltyjen erilaisten tavoitteiden pohjalta. Esimerkiksi SALBP:in versiossa SALBP-1, tahtiaika c on annettu ja tavoitteena on minimoida työasemien lukumäärä m .

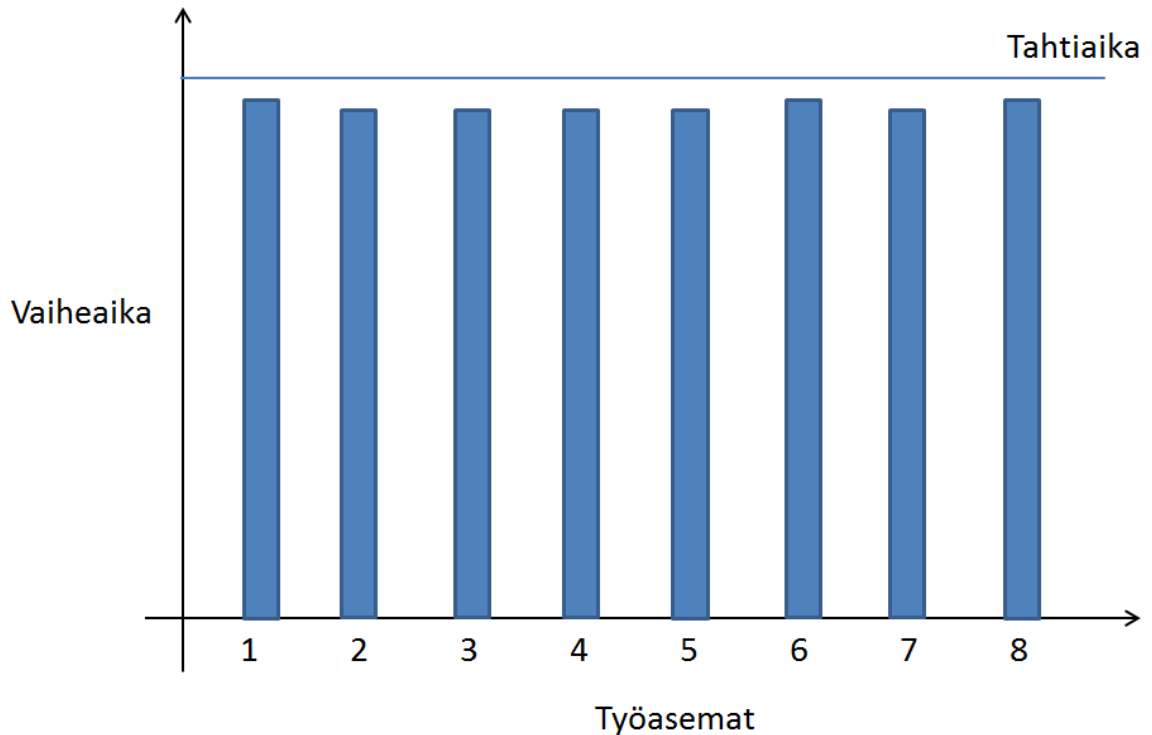
Taulukko 3. SALBP:in erilaiset versiot. (Becker & Scholl, 2009)

		Tahtiaika c	
		Annettu	Minimointi
Työasemien lkm. m	Annettu	SALBP-F	SALBP-2
	Minimointi	SALBP-1	SALBP-E

SALBP on saanut laajaa huomiota alan tutkimuksessa viimeisen 40 vuoden aikana ja sen ratkaisemiseksi on ehdotettu monia deterministisiä algoritmeja (Nicosia, Pacciarelli, & Pacifici, 2002).



Kuva 6. Kokoonpanolinja ennen tasapainotusta (Baudin, 2002)



Kuva 7. Kokoonpanolinja tasapainotuksen jälkeen (Baudin, 2002)

SALB tutkimukset sisältävät paljon rajoitteita, jotka vaikeuttavat niiden käyttöönottoa monissa tapauksissa. Rajoitteet muodostuvat tutkimusten yksinkertaistettujen oletuksien korreloidessa huonosti oikean elämän ongelmiin kokoonpanolinjalla. (Scholl & Becker, 2006) Tapauksessa jossa tuotetaan korkealla volyymilla vain yhtä tuotetta, työn jakaminen työasemille on melko selkeää ja näin mahdollistaa tutkimusten pohjalta luotujen ratkaisujen käyttöönoton (Matanachai & Yano, 2001). Aikojen muuttuessa kokoonpanotyö alkoi kuitenkin saada uusia vaatimuksia asiakkaiden toimesta. Yritysten oli pyrittävä tarjoamaan asiakkaille laajempaa tuotevalikoimaa, pyrkien samalla sen aiheuttamien kustannusten minimointiin. Tämä muutos sai aikaan uusien tuotantojärjestelmien kehittelyn, joiden optimointiin SALB ei kyennyt tarjoamaan vastauksia. (Boysen et al. 2007)

Alan tutkimus yritti vastata näihin puutteisiin laajentamalla tutkimusta erilaisiin ympäristöihin. Uusi laajentunut tutkimus sai nimityksen yleinen kokoonpanolinjan tasapainotus (engl. General Assembly Line Balancing, GALB). GALB tutkimus käsitteli mm. U-muotoisia linjoja, sekamallilinjoihin, monimallilinjoihin ja rinnakkaisia työasemia. (Becker & Scholl, 2006) Boysen et al. (2007) mukaan GALB:in tarjoamista laajennuksista huolimatta, alan tutkimuksen ja oikean elämän ongelmien väliltä löytyy edelleen suuri rako.

Kuten aikaisemmin on mainittu, sekamallinlinjan tasapainotuksen suunnittelussa täytyy ratkaista kaksi erilaista suunnittelu kysymystä (Emde et al. 2010):

- Kuinka työkuorma jaetaan eri työasemien kesken? Tämä on kokoonpanolinjan tasapainotuksen peruskysymys (ALBP). Työkuorman jakamisessa täytyy ottaa huomioon tehtävien tekojärjestys linjalla, eli vallitsevat etusijarajoitteet. Tämän lisäksi täytyy ottaa huomioon linjalle asetettu tavoiteltu tahtiaika.
- Kuinka tuotanto sovitetaan linjalle? Tuotettavien kappaleiden sovittamista linjalle kutsutaan myös tuotannon sekvensoimiseksi, joka ottaa kantaa siihen missä järjestyksessä eri malleja syötetään kokoonpanolinjalle päivän tai vuoron aikana.

Nämä kaksi kysymystä kulkevat käsi kädessä sekamallilinjan onnistuneessa tasapainotuksessa. Työkuorman tasapainottamisessa saavutetut tulokset vaikuttavat suuresti työn sekvensoinnin onnistumiseen. Jos työasemilla työkuorma on tasapainotettu yli jokaisen mallin, sekvensoinnin suunnittelu helpottuu. Huono työnkuorman tasapainottaminen voi rajoittaa sekvensointia huomattavasti, tai luoda sen jopa mahdottomaksi. (Matanachai & Yano, 2001) Ideaalitulanteessa sekamallilinjan kaikkien mallien kokoonpanoaika on identtinen ja työ on jaettu tasaisesti työasemien kesken. Näin ollen ideaalitulanteessa jokaisen työkappaleen vaikutus linjaan on samanlainen, tehden työn sekvensoinnin turhaksi. Todellisuudessa ideaalitulanne ei ole saavutettavissa. (Bukchin, 1998)

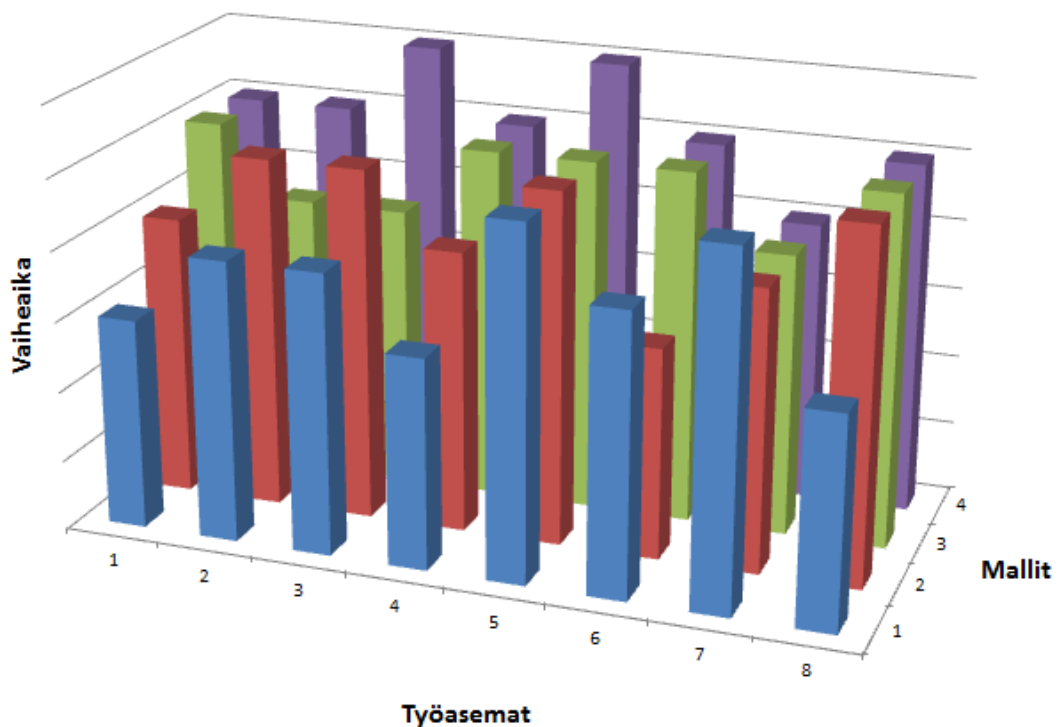
Kokoonpanolinjan työkuorman tasapainottamisella ja sen tuotannon sekvensoinnilla on yleensä erilaiset aikaikkunat (Boysen et al. 2008). Boysen et al. (2008) mukaan linjan työkuorman tasapainotus vaatii suunnittelua pitkällä / keskiverto tähtäimellä, jossa tyyppillinen suunnittelun aikaikkuna on muutamia kuukausia. Emde et al. (2010) mukaan otettaessa käyttöön uusi linja, työkuorman tasapainottaminen vaatii suunnittelua, jopa muutaman vuoden aikaikkunalla. Tuotannon sekvensointi suoritetaan lyhyellä tähtäimellä, jossa tuottavien tuotteiden sekvenssi määritellään päivä/vuoro kohtaisesti (Boysen et al. 2009). Boysen et al. (2008) mukaan linjan tasapainotuksen ja sekvensoinnin suunnittelun erilaiset aikaikkunat vaikuttavat siihen, että niitä ei ole järkevää ratkaista samanaikaisesti. Linjan tasapainotuksen suunnittelun aikana, ei yleensä ole saatavilla tarpeeksi tarkkaa tietoa tulevista myynneistä ja näin päiväkohtaista sekvenssiä on hankala suunnitella riittävällä tarkkuudella. Boysen et al. (2008) Kohdeyrityksen tapauksessa asiakaskysyntä tunnetaan riittävällä tarkkuudella, joten linjan tasapainotusta ja tuotannon sekvensointia voidaan tutkia samanaikaisesti.

2.6 Linjan työkuorman tasapainottaminen työasemille

Samaan tapaan kuten yhden mallin linjan tapauksessa, sekamallilinjan tasapainotus ongelma pitää sisällään sekä työasemien määrän, tahtiajan ja tasapainon selvityksen niin että asetetut kapasiteetti tai kustannus tavoitteet saavutetaan. Sekamallilinjan tasapainotus on kuitenkin huomattavasti monimutkaisempi kokonaisuus yhden mallin linjan tapaukseen verrattuna. Sekamallilinjan tasapainotuksessa haasteita aiheuttaa erityisesti eri malleista aiheutuvan työkuorman tasapainotus jokaiselle työasemalle. (Becker & Scholl, 2006)

Kuten aikaisemmin on mainittu sekamallilinjalla tuotettavat tuotteet voivat vaihdella toisistaan värin, koon, materiaalien tai käytettävän välineistön puolesta niin, että eri mallien valmistaminen voi vaatia erilaisia työtehtäviä, vaiheajoja tai työntekijäjärjestyksiä. Tästä syystä sekamallilinjalla on melkein mahdoton saavuttaa linja tasapainoa, jossa työasemien työkuorma on täysin tasainen jokaisella työasemalla, mitä tahansa mallia tehdessä. Näin ollen sekamallilinjalla on oltava tarpeeksi joustava käytettävien välineiden, koulutettujen työntekijöiden ja paikallisten tahtiaika ylitysten kanssa. (Becker & Scholl, 2006)

Bukchin (1998) tuo ilmi kuvassa 8 kuinka työkuorma jakautuu sekamallilinjalla eri mallien toimesta. Kuvan 8 kokoonpanolinjalla on 8 työasemaa, joilla tuotetaan 4 erilaista tuotemallia. Kuvasta käy ilmi, miten työkuorma vaihtelee työasemien välillä tiettyä mallia tehdessä ja miten työkuorma vaihtelee asemalla eri mallien toimesta. Näistä ensimmäistä ilmiötä kutsutaan nimellä malli variaatio ja jälkimmäistä työasema variaatioksi. Malli variaatio syntyy vaikeudesta saavuttaa täydellistä tasapainoa työasemien kesken. Vaikeuksia aiheuttavat työtehtävien suoritusjärjestys ja tekniset rajoitteet. Työasema variaatiota aiheuttavat edellä mainittujen lisäksi myös työmäärä vaihtelut eri mallien välillä. Työasema variaatiota voi aiheutua, vaikka malli variaatio olisi tasapainossa. Nämä kaksi variaatiota aiheuttavat ylikuormitusta ja joutoaikaa työasemilla ja näin luovat haasteita tasapainotukselle. (Bukchin, 1998)



Kuva 8. Sekamallilinjalla työasemien vaihtelevat vaiheajat eri malleilla (Bukchin, 1998)

Sekamallilinjan työkuorman tasapainotuksessa pitää ottaa huomioon **horisontaalinen** ja **vertikaalinen** tasapainotus. Sekamallilinjan työkuorman tasapainotus eroaa yhdenmallinlinjan tasapainotuksesta juuri horisontaalisen tasapainotuksen myötä. Horisontaalinen tasapainotus tarkoittaa eri malleista aiheutuvan työkuorman tasapainotusta jokaiselle työasemalle. Toisin sanoen horisontaalisen tasapainotuksen tavoitteena on jakaa työkuorma työasemille niin, että jokaisen mallin keskimääräinen vaiheaika on eri työasemilla tasainen ja asetetun tavoiteajan mukainen (Emde et al. 2010). Vertikaalinen tasapainotus tarkoittaa työasemien keskimääräisen työkuorman tasapainotusta työasemien välillä. (Merengo et al. 1999)

Linjan tasapainotus ja varsinkin horisontaalinen tasapainottaminen vaikuttaa tuotannon sekvensoinnin onnistumiseen. Mitä paremmin horisontaalinen tasapainottaminen suoritetaan, sitä paremmin voidaan muodostaa toimivia tuotanto sekvenssejä. (Becker & Scholl, 2006; Boysen et al. 2008)

Sekamallilinjan tasapainotusta on yritetty helpottaa yksinkertaistamalla ongelmaa. Sekamallilinjan tasapainotusta on esimerkiksi tutkittu laskemalla työasemien keskimääräiset vaiheajat eri malleilla ja esittämällä ne vaihekaaviona. Tämän jälkeen tasapainotukseen on voitu hyödyntää yhdenmallinlinjan tasapainotuksen menetelmiä. (Boysen et al. 2009; Emde et al. 2010). Edellä mainittua menetelmää kutsutaan myös nimellä **pelkistämiseksi yhden mallin ongelmiksi** (engl. Reduction to single-model problems) (Becker & Scholl, 2006; Boysen et al. 2008). Becker & Scholl (2006) mukaan ratkaisemalla ilmenevä keskimääräinen tuote saavutetaan tilanne, jossa linja suoriutuu keskiarvollisesti tahtiajan mukaisesti. Tästä huolimatta tasapainottaminen keskimääräisen tuotteen avulla ei ole tehokas menetelmä. (Becker & Scholl, 2006) Emde et al. (2010) mukaan keinotekoisien keskimääräisten tuotteen hyödyntäminen sekamallilinjan tasapainotuksessa, voi johtaa suuriin vaihteluihin työasemien vaiheajoissa sekä ylikuormitukseen ja liiallisen joutoajan muodostumiseen.

Yleinen oletus sekamallilinjan tasapainottamisessa on identtisten työtehtävien määrääminen samalle työasemalle. Jos tästä oletuksesta luovutaan, voidaan sekamallilinjalla tuotettavista malleista muodostaa x määrä itsenäisiä SALBP tapauksia ja ratkoa ne yhden mallin tasapainotus menetelmien mukaisesti. Samojen työtehtävien tekeminen eri työasemilla aiheuttaa kuitenkin tehottomuuksia, kuten työntekijöiden erikoistumisen vähenemisen ja tuotannon ohjauksen hankaloitumisen. (Becker & Scholl, 2006)

Vaihtoehtoinen ratkaisu sekamallilinjan horisontaaliselle tasapainottamiselle on asettaa yhteinen tahtiaika kaikille työasemille. Asetettaessa yhteinen tahtiaika varmistetaan, että ylikuormitusta ei tapahdu ja näin sekvensointi ongelma poistuu. Edellä mainitussa tilanteessa yhteisen tahtiajan täytyy olla riittävän suuri, jotta kaikki mallit suoriutuvat linjalla tahtiajan puitteissa. Suuren tahtiajan käyttö kuitenkin vähentää linjan tehokkuutta. (Boysen et al. 2008) Becker & Scholl (2006) mukaan tehottomuutta yhteisen tahtiajan käytössä aiheuttaa myös kompensaaion käytön poistuminen eri mallien välillä.

Kompensaatiolla tarkoitetaan työmäärältään pienemmän tuotteen tasapainottavaa vaikutusta tuotettaessa kyseinen tuote työmäärältään suuremman tuotteen jälkeen. Boysen et al. (2008) mukaan yhteisen tahtiajan määrittystä voidaan parantaa keskittymällä vain osaan malleista niiden yleisyyden perusteella.

Manuaalisella kokoonpanolinjalla vaiheaikojen vaihteluihin vaikuttavat myös työntekijöiden stokastiset tekijät, kuten motivaatio, työympäristö, sekä henkinen ja fyysinen stressi. Motivaation puute ilmenee jos työntekijän työ koostuu toistuvista ja yksinkertaisista tehtävistä. (Boysen et al. 2008)

2.6.1 Tasapainotus vaiheaikojen perusteella

Stephens & Meyers (2010) mukaan tasapainottaessa työasemia vaiheaikojen perusteella pyritään työ jakamaan mahdollisimman tasaisesti operaattoreiden kesken. Työn jakamisessa riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi on suositeltavaa hajottaa yksittäiset työtehtävät liikkeiksi ja niiden pohjalta rakentaa työtehtävät uudestaan. Näin varmistetaan tasainen työkuorma jokaiselle työntekijälle. Työasema, jonka vaiheaika on kaikista suurin, on kokoonpanolinjan pullonkaula ja rajoittaa linjan tehokkuutta. Stephens & Meyers (2010) mukaan parantaakseen linjan tehokkuutta täytyy tuotanto insinöörien keskittyä parantamaan juuri pullonkaula-asemaa. (Stephens & Meyers, 2010)

Taulukko 4. Kokoonpanolinjan tasapaino (Stephens & Meyers, 2010)

Työasemat	Työaseman työmäärä (min)	Työntekijöiden määrä	Työntekijöiden määrä (pyöristetty)	Työaseman mahdollinen vaiheaika	Prosentuaalinen kuorma	Työaseman operaattoreiden työtunnit yhteensä per kappale	Mahdollinen tuotantomäärä päivässä (Kpl)
1	99	3,41	4	24,75	88,39 %	1,87	17,37
2	45	1,55	2	22,50	80,36 %	0,93	19,11
3	61	2,10	3	20,33	72,62 %	1,40	21,15
4	78	2,69	3	26,00	92,86 %	1,40	16,54
5	112	3,86	4	28,00	100,00 %	1,87	15,36
6	51	1,76	2	25,50	91,07 %	0,93	16,86
7	48	1,66	2	24,00	85,71 %	0,93	17,92
	494		20			9,33	
Tunteina (h)	8,23						

Kokoonpanolinjan tehokkuus: 0,882

Taulukossa 4 on havainnointi kuvitteellisen kokoonpanolinjan tasapainotilanne. Esimerkin tilanteessa kokoonpanolinjalle on asetettu tavoitteellinen tahtiaika 29 minuuttia. Kokoonpanolinja ei kuitenkaan toimi tahdin mukaisesti, vaan tuotteet liikkuvat hitaimman työaseman vaiheajan mukaan. Toisin sanoen linjan tahdin vaihtoa rajoittaa eniten kuormitettu työasema. Sarakkeessa 2 on esitetty työaseman kokonaistyömäärä, joka kertoo kuinka kauan työaseman tehtävien tekemiseen kuluu koulutetun työntekijän toimesta. Seuraavassa sarakeessa on laskettu tarvittava henkilömäärä työasemakohtaisesti.

ti. Henkilömäärä lasketaan jakamalla työasemien kokonaistyömäärä suunnitellulla tahti-ajalla. Työasemien mahdollinen vaiheaika lasketaan jakamalla kokonaistyömäärä työaseman pyöristetyllä työntekijämäärällä. Taulukosta nähdään, että kokoonpanoasemalla 5 on isoin vaiheaika ja se toimii täten linjan pullonkaulana. Aseman 5 prosentuaalinen kuorma on 100 %, koska kokoonpanolinja toimii sen mukaisesti. Kokoonpanolinja toimii hitaimman työaseman tahdissa ja näin ollen tämä pullonkaula-asema rajoittaa koko linjan toimintaa. Muiden asemien prosentuaalinen kuorma lasketaan jakamalla niiden vaiheajat työaseman 5 vaiheajalla. Taulukosta nähdään, että asemalla 4 on linjan toiseksi isoin kuormitus. Työaseman operaattoreiden työtunnit yhteensä per kappale saadaan kertomalla työaseman työntekijämäärä pullonkaula-aseman vaiheajalla. Pullonkaula-aseman mukaisesti kokoonpanolinjan tuotantomäärä päivässä on 15 tuotetta. Linjan tehokkuus on 88 %, joka lasketaan jakamalla työasemien kokonaistyömäärä työasemien yhteenlasketulla työtunneilla per kappale. (Stephens & Meyers, 2010)

Taulukko 5. Kokoonpanolinjan tasapaino muutoksen jälkeen (Stephens & Meyers, 2010)

Työasemat	Työaseman työmäärä (min)	Työntekijöiden määrä	Työntekijöiden määrä (pyöristetty)	Työaseman mahdollinen vaiheaika	Prosentuaalinen kuorma	Työaseman operaattoreiden työtunnit yhteensä per kappale	Mahdollinen tuotantomäärä päivässä (Kpl)
1	99	3,41	4	24,8	95,19 %	1,73	17,37
2	45	1,55	2	22,5	86,54 %	0,87	19,11
3	61	2,10	3	20,3	78,21 %	1,30	21,15
4	78	2,69	3	26,0	100,00 %	1,30	16,54
5	112	3,86	5	22,4	86,15 %	2,17	19,20
6	51	1,76	2	25,5	98,08 %	0,87	16,86
7	48	1,66	2	24,0	92,31 %	0,87	17,92
	494		21			9,10	
Tunteina (h)	8,23						

Kokoonpanolinjan tehokkuus: 0,905

Taulukosta 5 nähdään, että lisäämällä työaseman 5 henkilömäärää yhdellä operaattorilla muodostuu linjan uudeksi pullonkaulaksi työasema 4. Samalla kokoonpanolinjan tuotantomäärä kasvaa 16 kappaleeseen päivässä. Yhden henkilön lisääminen nosti kaikkien työasemien, paitsi työaseman 5, kuormitusta keskimäärin 6,5 %. Kokoonpanolinjan tehokkuus kasvoi arvoon 90,5 % eli noin 2,3 % kuin ennen tasapainotusta. Ylimääräisen työntekijän lisääminen pullonkaulatyöasemaan on vain yksi esimerkki mahdollisesta parannuksesta. Vaihtoehtoisesti kokoonpanolinjan tasapainoa voidaan yrittää parantaa kehittämällä pullonkaula työasemaa. Tämä tarkoittaa työntutkimuksen suorittamista hukan havaitsemiseksi ja sen eliminoimiseksi.

Stephens & Meyers (2010) mukaan tasapainotuksen hinta (engl. cost of balancing) lasketaan kokoonpanolinjan vähiten kuormitetun työaseman mukaan. Tasapainotuksen hinta kertoo linjan tasapainotuksen potentiaaliset säästöt. Taulukossa vähiten kuormitet-

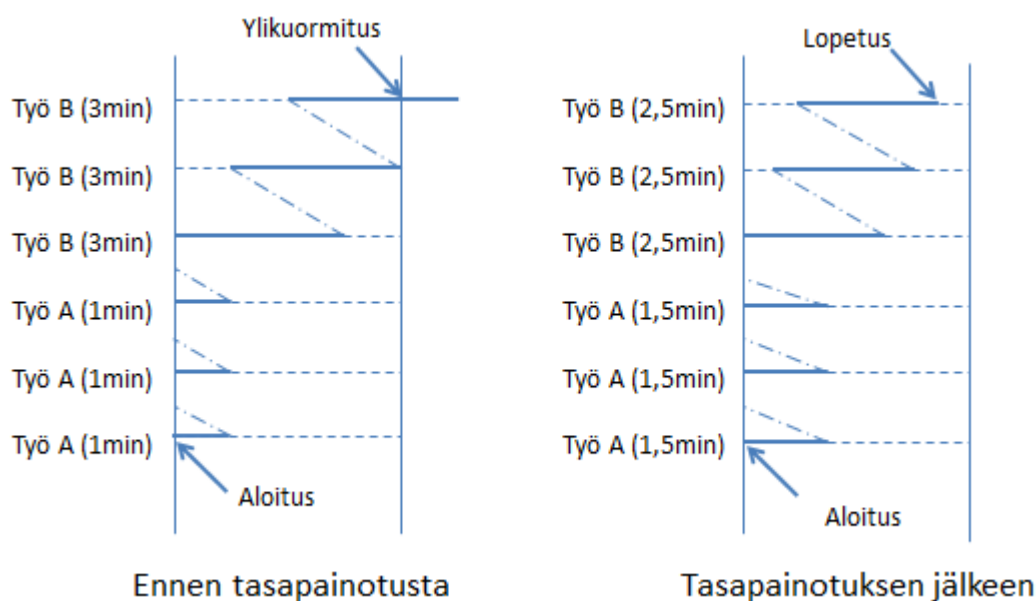
tu työasema 3, jonka kuormitus on pullonkaula työasemaan verrattuna 72,62 %. Tasapainotuksen hinta lasketaan tässä esimerkissä 15 euron tuntipalkan ja 20 000 kappaleen vuosittaisen tuotantovolyymin mukaan. Tulokset on esitelty taulukossa 6.

Taulukko 6. Tasapainotuksen potentiaaliset säästöt vuodessa (Stephens & Meyers, 2010)

		Työaseman operaattoreiden työtunnit yhteensä /
	1,4	työkappale
-	1,01668	(1,4 x 0,7262)
	0,38332	Säästö (tuntia / työkappale)
x	20000	Tuotantomäärä vuodessa (kpl)
	7666,4	
x	15	Tuntipalkka (euroa)
	114996	Säästöt vuodessa (euroa)

Tasapainotuksen avulla saavutettu kustannus säästö voidaan laskea vertaamalla työasemien operaattoreiden käyttämiä työtunteja yhteensä per työkappale. Ennen tasapainotusta lukema oli 9,33 tuntia ja tasapainotuksen jälkeen 9,1 tuntia. Edellä mainittujen arvojen erotus kerrottuna tuntipalkalla antaa saavutetun säästön per tuote, joka on 3,45 euroa/tuote. Tämä kerrottuna hyttien vuosittaisella tuotanto volyymin (20 000 kpl) antaa lukeman 69 000 euroa vuodessa. (Stephens & Meyers, 2010)

Edellä mainittu esimerkki havainnollistaa minkälaisia vaikutuksia tahtiaika tuo kokoonpanolinjalle ja miten yksinkertainen tasapainotus ratkaisu vaikuttaa työasemien työkuormaan sekä linjan tuottoon. Esimerkki ei kuitenkaan ota kantaa eri mallien tuomiin vaikutuksiin sekamallilinjalle. Kuvassa 9 on tuotu ilmi miten eri tuotteiden vaiheajoja muuttamalla voidaan vaikuttaa työaseman työkuormaan.



Kuva 9. Horisontaalinen tasapainotus (Merengo et al. 1999)

Kuvassa 9 on havainnollistettu horisontaalisen tasapainotuksen vaikutuksia yhdelle kokoonpanoasemalle. Työaseman pituus on 4 minuuttia ja linjalla tuotetaan kahta erilaista kappaletta (A ja B) joita molempia kolme kappaletta. Työkappaleen A vaihe aika on 1 minuuttia ja B:n 3 minuuttia. Tahtiajan oletetaan olevan 2 minuuttia, joka lasketaan tuotteiden A ja B vaihe aikojen keskiarvona. Työkappaleiden vaihe aikojen keskiarvoista laskettu tahtiaika on sama ennen ja jälkeen tasapainotuksen. Kuvassa paksu viiva kuvastaa työkappaleiden liikettä niiden ollessa työn alaisina. Poikittainen katkoviiva kuvastaa työkappaleen liikettä ennen ja jälkeen kokoonpanoa. Kulmassa kulkeva katkoviiva kuvastaa työntekijän kävelyä seuraavan työkappaleen luokse. Kuvassa oleva työasema on tasapainotettu horisontaalisesti vaihe aikoja tasaamalla eri tuotteiden välillä. Tasapainotuksen jälkeen tuotteen A uusi vaihe aika on 1,5 minuuttia ja tuotteen B 2,5 minuuttia. Tasapainotuksen seurauksena keskimääräinen työkuorma työasemalla ei ole muuttunut, mutta se on paremmin jaettu eri mallien välillä. (Merengo et al. 1999)

Baudin (2002) mainitsee eri mallien työn tasaamisen olevan helpompaa jos työtä lisätään yksinkertaisempaan ja pienemmän vaiheajan omaavaan malliin, kuin työn vähentämiseen suuremman työn vaativalla mallilla. Edellä mainittu toimenpide on mahdollista vain tahtiajan salliessa. (Baudin, 2002)

2.6.2 Esivalmistelut

Eri tuotteiden kokoonpanoaikojen tasaamisessa tehokkain lähestymistapa on esivalmisteluiden hyödyntäminen työ määrältään isojen tuotteiden kokoonpanossa. Näin linjalla työasemien työ määrät lähenisivät toisiaan eri mallien välillä (horisontaalinen tasapainotus) ja sekamallilinjan tuotanto sekvenssin suunnittelu helpottuisi. Rajoittavana tekijänä

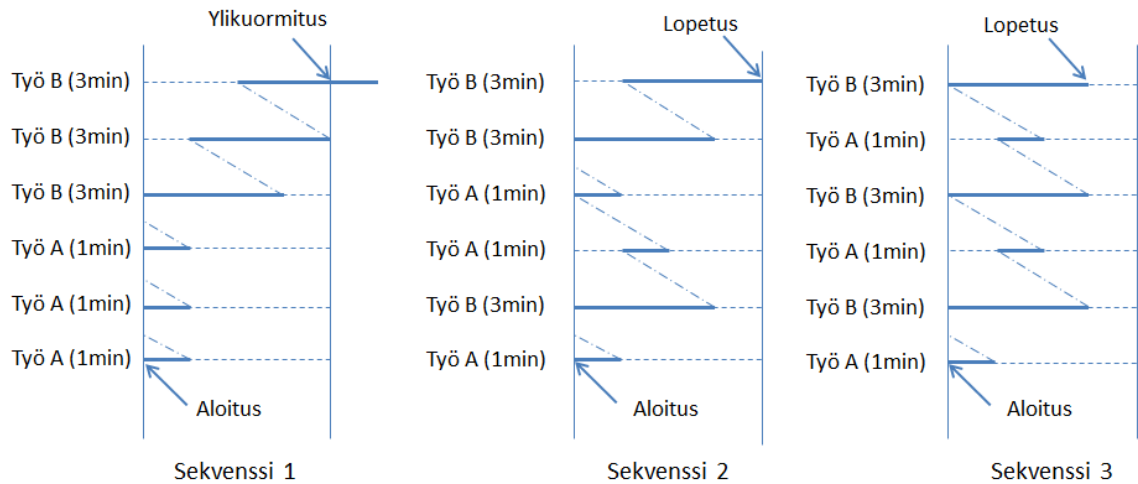
toimii kuitenkin vaikeus irrottaa kokoonpanotehtäviä päälinjalta esivalmisteluun. (Baudin, 2002)

Esivalmisteluiden suunnittelussa täytyy harkita tarkasti onko kannattavampaa tehdä esivalmistelu itse vai siirtää toimittajan vastuulle. Edellä mainitun kysymyksen tutkimisesta käytetään nimitystä tehdä vai ostaa -analyysi (engl. make or buy analysis). Tehdä vai ostaa -analyysi auttaa löytämään oikean ratkaisun ja pitää sisällään resurssien, tavoitteiden ja kustannusten perinpohjaisen arvioinnin. Kustannusten kannalta tehdä vai ostaa -analyysi pitää sisällään tuottamisesta aiheutuvien kustannusten ja ostokustannusten vertaamisen. (Law, 2016; Wirtz, 2009)

2.7 Tuotannon sekvensointi

Nykypäivänä monet autotehtaat tuottavat autojaan sekamallilinjalta. BMW tarjoaa asiakkailleensa jopa 10^{32} erilaisia variaatioita samasta autosta. Saman automallin erilaiset lisävarusteet monimutkaistavat kokoonpanolinjan toimintaa aiheuttaen variaatioita työasemien vaiheajoissa. Jos linjalta samoja operaatioita vaativat mallit seuraavat toisiaan voi osalla työasemista aiheutua ylikuormitus tai joutoaikaa. Tästä johtuen tasapainoinen sekoitus kokoonpantavia tuotteita täytyy määritellä, jotta työasemia pystyttäisiin kuormittamaan tasapainoisesti. (Meyr, 2004)

Kokoonpanolinjan sekvensoinnin perusteellisella suunnittelulla voidaan saavuttaa huomattavia kustannus säästöjä. Sekvensoinnin yhteydessä ei kuulu miettiä vain mikä on mahdollista vaan mikä on järkevintä, ottamalla huomioon ilmenevät työkuormat työasemilla ja syntyvä materiaali tarve. (Boysen et al. 2009) Sekamallilinjan sekvensointi ongelmassa pyritään löytämään sopiva mallien sekvenssi, jonka avulla pystytään vastaamaan eri mallien kysyntään tietyllä aika välillä ja optimoimaan määriteltyjä tavoitteita. Nämä tavoitteet yleensä korreloivat eri mallien valmistamisesta aiheutuviin työasemien vaiheajojen vaihteluihin, jotka ovat jääneet linjan tasapainotuksesta. (Becker & Scholl, 2006)



Kuva 10. Kolmen erilaisen sekvensointi ratkaisun vertailu (Merengo et al. 1999)

Kuvassa 10 on havainnollistettu erilaisten sekvensointi ratkaisujen vaikutus työaseman työkuormaan. Kuvassa työaseman pituus on 4 minuuttia. Linjalla tuotetaan kahta erilaista kappaletta (A ja B) joita molempia kolme kappaletta. Työkappaleen A vaihe aika on 1 minuuttia ja B:n 3 minuuttia. Tahtiajan oletetaan olevan 2 minuuttia, joka lasketaan tuotteiden A ja B vaihe aikojen keskiarvona. Kuvassa 10 paksu viiva kuvastaa työkappaleiden liikettä niiden ollessa työn alla. Katkoviiva, joka esiintyy ennen ja jälkeen paksun viivan, kuvastaa työkappaleen liikettä työvaiheen jälkeen. Kulmassa kulkeva katkoviiva kuvastaa työntekijän kävelyä seuraavan työkappaleen luokse. Kuvasta nähdään, että sekvenssissä 1 muodostuu ylikuormitus, jos toteutuneet vaiheajat vastaavat arvioituja vaihe aikoja. Näin ollen sekvenssi A-A-A-B-B-B ei ole tehokas ratkaisu. Sekvenssissä 2 saavutetaan tilanne jossa ei muodostu ylikuormitus, mutta viimeinen työkappale saadaan valmiiksi juuri ennen tahtiajan umpeutumista. Sekvenssi 3 on kaikista tehokkain, koska viimeinenkin työkappale saadaan valmiiksi hyvissä ajoin jättäen varaa mahdollisille häiriöille. (Merengo et al. 1999)

Työkuorman tasaamisella ja tuotannon sekvensoinnilla on vuorovaikutus toisiinsa, mutta usein niitä käsitellään toisistaan erillään. Tuotannon sekvensoinnilla määritellään järjestyksessä sekoitus tuotettavia tuotteita. Mikä tahansa sekvenssi on yleensä teknisesti mahdollinen toteuttaa. Sekvenssin määrittämisessä täytyy kuitenkin huomioida sen suuri vaikutus kustannuksiin. Käytettävä sekvenssi voi vaihdella riippuen yrityksen tavoitteista. Sekvenssin määrittämisessä vallitsee pääsääntöisesti kaksi erilaista tavoitetta (Boysen et al. 2009; John Miltenburg, 1989):

- *Työn ylikuormituksen välttäminen:* Erilaisten mallien kokoonpano aiheuttaa normaalisti erilaisia vaihe aikoja työasemille. Jos useampi työmäärältään isompi malli seuraa linjalla toisiaan, voi aiheutua ylikuormitus. Ylikuormitus voidaan välttää hyödyntämällä aputyöntekijöitä, tai muodostamalla sekvenssi jossa työmäärältään isompaa tuotetta seuraa linjalla työmäärältään pienempi.

- *Tasainen materiaalin kulutus:* Eri tuotemallit koostuvat erilaisista osista ja täten määritelty tuotanto sekvenssi vaikuttaa materiaali tarpeeseen. Tasainen tuotanto luo pohjan JIT-systeemille toimittajilta lähtien. JIT-perusteiset sekvensointimenetelmät tähtäävät jakamaan materiaalin tarpeen tasaisesti yli suunnitteluhoorisontin. JIT-sekvensoinnin tavoitteena on osien tasainen kulutus pyrkimyksenä vähentää vaihtelua materiaalin tarpeessa.

Kahden edellä mainitun tavoitteen pohjalta voidaan määritellä kolme erilaista sekvensointi menetelmää: Sekamallisekvensointi, auto sekvensointi ja taso suunnittelu. Näistä jokaista voidaan käyttää yksistään tai yhdistelmänä tuotannon sekvensoinnin pohjana. (Boysen et al. 2009)

Sekamallisekvensoinnin tavoitteena on välttää tuotannon ylikuormitus tilanteet tarkkaan mietityn tuotanto suunnitelman avulla, joka ottaa huomioon työajat, työntekijöiden liikkeet ja työasemien rajoitteet. Auto sekvensointi on saanut nimensä sen yleisestä käytöstä autoteollisuudessa. Auto sekvensoinnissa määritellään rajoitteita, joita noudattamalla luodaan toimivia tuotanto sekvenssejä. Määriteltyjä tuotanto sekvenssejä hyödyntämällä vältetään ylikuormitusten muodostuminen. Esimerkiksi yksi rajoite voi koskea auton kattoikkunaa. Edellä mainitulle lisävarusteelle voidaan määritellä rajoite seuraavasti: m määrässä tuotteita voi olla korkeintaan n määrä kattoikkunan omaavia tuotteita. Näin ollen jos kattoikkunallisia tuotteita on $n + 1$, aiheutuu linjalle ylikuormitus. Kaksi ensimmäistä sekvensointi menetelmää tähtäävät ylikuormitusten minimointiin eli ensimmäiseen edellä mainituista sekvensointi tavoitteista. Viimeisen menetelmän, taso suunnittelun, tavoitteena on löytää toimivia sekvenssejä, jotka palvelevat JIT-järjestelmän käyttöä. (Boysen et al. 2009)

2.7.1 Lean-valmistus ja heijunka

Vuonna 1980 havaittiin Japanin autoteollisuuden erityinen laatu ja tehokkuus. Autot Japanista olivat halvempia ja kestävämpiä, kuin mitä vastaavat autovalmistajat Amerikassa pystyivät valmistamaan. Myöhemmin vuonna 1990 Toyota erottautui muista Japanin autovalmistajista ylivertaisella tuotantojärjestelmällään, joka herätti erityistä kiinnostusta länsimaissa. Toyotan tuotantojärjestelmä (engl. Toyota Production System, TPS) toi aivan uusia lähestymistapoja tuotantoon ja koko yrityskulttuuriin (Liker, 2004). Toyotan tuotantojärjestelmä, TPS, tunnetaan myös nimellä lean-valmistus ja lean-tuotanto (Wilson, 2015). Macduffie, Sethuraman, & Fisher (1996) mukaan juuri lean-valmistusta hyödyntävien yritysten on helpompi hallita muun muassa variaatiota tuotettavissa malleissa. Sekamallilinja yleensä yhdistetään lean-valmistukseen, koska sitä hyödyntää erityisesti Toyota ja muut japanilaiset autovalmistajat (Shtub & Dar-El, 1989).

Liker (2004) mainitsee lean-valmistuksen aloituksen hyväksi lähtökohdaksi jatkuvan virtauksen luomisen. Jatkuva virtaus tarkoittaa tuotteiden tasaista ja esteetöntä virtausta

raaka-materiaaleista valmiiksi tuotteiksi. Liker (2004) mielestä jatkuva virtaus luo pohjan lean-valmistukselle ja sen käyttöönotto vaatii myös muiden hyödyllisten lean-työkalujen käytön.

Lean-valmistuksen kulmakivenä pidetään kolmen M:n eliminoimista. Kolme M:ää muodostuvat sanoista Muda, Muri ja Mura. **Muda** tarkoittaa hukkaa, **Mura** epätasaisuutta ja **Muri** ylikuormitusta. Mura muodostuu esimerkiksi tilanteessa, jossa jonakin päivänä tuotannolta vaaditaan enemmän ja toisinaan liian vähän, kuin mitä on resursseja. Mura aiheuttaa murin syntymisen eli työntekijöiden ja välineistön liikakuormituksen. Yleinen käsitys lean-valmistuksesta kohdistuu vain hukkan eli mudan poistamiseen. Liker (2004) korostaa muran vähentämisen olevan avainasemassa murin ja mudan poistamisessa.

Tuotannon tasaaminen eli **heijunka** on elintärkeä työkalu muran vähentämisessä. Tämän lisäksi heijunka on tärkeimpiä vaatimuksia jatkuvan virtauksen ylläpitämisessä. Heijunka on osa Toyotan TPS-tuotantojärjestelmää. Heijunka tarkoittaa tuotannon tasaamista tietyllä aikavälillä sekä volyymin että tuotevalikoiman osalta. Likerin (2004) mukaan tuottamalla suoraan asiakaskysynnän mukaisesti, voi tuotantoon aiheutua huomattavia epätasaisuuksia. Asiakaskysyntä on usein epäsäännöllinen ja täten myös sitä seuraava tuotantosuunnitelma tuottaa tuotteita epäsäännöllisesti. Esimerkkinä Liker (2004) mainitsee tapauksen, jossa maanantaina asiakaskysyntä on kaksinkertainen tiistain kysyntään verrattuna. Esimerkin tapauksessa aiheutuu tilanne, jossa maanantaina tehdään huomattavasti enemmän töitä tiistain työmäärään verrattuna. Työmäärän tasaisella tarkoitetaan tässä tapauksessa linjan tuotannon tasapainottamista tuotanto piikkien välttämiseksi. Heijunkan tarkoituksena on ottaa huomioon asiakaskysyntä pidemmällä aikavälillä ja tasata se jokaiselle päivälle. Tasaaminen suoritetaan Toyotalla määrittelemällä asiakaskysynnästä rakenteita tuotettavan volyymin ja tuotemixin osalta, ja rakentamalla tasoitettu tuotantosuunnitelma jokaiselle päivälle. Liker (2004) kutsuu tätä tasoitetuksi sekamallituotannoksi, koska samalla kun tuotetaan sekaisin eri tuotteita, tasataan asiakaskysyntä ennustettavaksi sekvenssiksi, joka levittää eri tuotemallit ja tasaa niiden volyymin tuotantosuunnitelmassa. Heijunka mahdollistaa myös tasaisen materiaali tarpeen ja JIT-järjestelmän käytön. Heijunkan avulla ylävirran prosessit ja toimittajat saavat tarvittavista materiaaleista tasaisia tilauksia. Näin ollen materiaalitoimitajien ei tarvitse säilyttää tuotteita suurissa lopputuotevarastoissa. Heijunka on yksi tapa suorittaa tuotannon tasaaminen ja erityisen käytetty Japanilaisessa autovalmistuksessa.

3. ANALYYSI KOHDEYRITYKSEN NYKYTILASTA

Kohdeyrityksen lähtötilanne kartoitettiin haastatteluilla, tutkimalla yrityksen toimintaan liittyvää aineistoa ja havainnoimalla tutkimusympäristöä säännöllisillä tuotanto vierailuilla. Isona apuna toimi tuotannon päivittäisjohtamisen palaveri, joka pidettiin arkipäivisin kello 12:30. Tämä tuotannon ”war room”-nimeä kantava palaveri keräsi kaikki tuotannon esimiehet yhteen ja tarjosi hyvän tilaisuuden kysyä mielipiteitä, sekä kommentteja palaverin aikana ja sen jälkeen. Tuotannon ”war room”-palaverin avulla allekirjoittanut sai paljon myös yleistä tietoa tutkimusympäristöstä.

3.1 Yritysesittely

Piikkio Works Oy on maailman johtava esivalmistettujen hyttimoduulien valmistaja. Yritys on perustettu vuonna 1982 Turun naapurikuntaan Piikkiöön. Piikkio Worksin toimialoihin lukeutuu nykyisin vain meriteollisuus. Aikaisempina vuosina yrityksellä on ollut asiakkaita myös offshore-teollisuudessa ja maapuolella. Piikkio Works on Turun laivarakennustelakan tytäryhtiö. Turun telakan nykyinen omistaja on saksalainen perheyritys Meyer Werft. Piikkio Worksin liikevaihto oli vuonna 2016 47,5 miljoonaa euroa. Omaa henkilökuntaa kohdeyrityksellä on 130 työntekijää ja lisäksi vuokratyövoimaa noin 120 henkilöä. (”Piikkio Works Oy | Cabin modules”, 2016)

Piikkiö Worksin toiminta on kohdannut viime aikoina monia muutoksia. Vuonna 2016 kohdeyrityksen oma paneelitehdas lopetettiin ja toiminta siirrettiin Liettuaan. Muutoksen takana on Meyer Werft, jonka tarkoituksena on yhtenäistää Saksan ja Suomen hytti-tehtaiden toimintaa, tuottamalla tulevaisuudessa molemmille tehtaille paneelit samasta paikasta. Tämän muutoksen myötä Piikkio Works pystyy keskittymään ydinosaamiseensa eli hyttien kokoonpanoon. Liettuan paneelitehdas tuotti ensimmäiset paneelit Piikkio Worksille tämän tutkimuksen aikana käynnissä olevaan projektiin. Paneelien tuottaminen myös Saksaan on tarkoitus aloittaa vuonna 2018. Tutkimuksen aikana Piikkiö Worksille ollaan rakentamassa uutta tehdasrakennusta uudelle kokoonpanolinjalle. Uusi linja on tarkoitus ottaa käyttöön 2017 loppuvuodesta. Tämän lisäksi koko Meyer Werft konsernissa ollaan ottamassa käyttöön yhteinen toiminnanohjausjärjestelmä. Uuden SAP-toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönotto oli tämän tutkimuksen aikana käynnissä ja sen oli tarkoitus valmistua vuoden 2017 loppuun mennessä. Yhteisen toiminnanohjausjärjestelmän avulla pyritään yhtenäistämään konsernin kaikkia osapuolia, sekä poistamaan eri osastojen välisiä rajapintoja.

3.2 Tuoteanalyysi

Piikkio Worksin tehtaalla kokoonpantavat hytit muodostuvat kylpyhuone-moduulista ja sen ympärille rakennettavasta hytistä. Hytit muodostuvat rungosta, paneeleista ja varustelusta. Paneelit toimitetaan tehtaalle Liettuassa sijaitsevalta osavalmistustehtaalta. Muut hyttien komponentit tulevat alihankkijoilta, kuten esimerkiksi kalusteet, erilaiset tukilistat ja sähkökomponentit. Hyttien rakenne ja sisustus vaihtelevat projektikohtaisesti. Hyttien ulkonäön määrittelee tilaajan arkkitehti yhdessä Piikkio Worksin suunnittelijoiden kanssa. Hyteissä ei ole lattiaa, vaan laivan kansi toimii hytin lattiana. Kylpyhuone-moduulissa on lattiaelementti, joka on havaittavissa kuvasta 11. Koska hyttimoduuliin ei asenneta lattiaa, asennetaan kokoonpanossa lattian rajaon tukiraudat, jotka kokoonpanon ja kuljetuksen aikana jäykistävät hytin rakennetta.

Erilaisten päähyttityyppien lukumäärä vaihtelee laivaprojektista riippuen. Tämän tutkimuksen aikana käynnissä olevassa laivaprojektissa päähyttityyppejä oli 9 erilaista. Päähyttityyppien sisällä on lisäksi erilaisia hyttimalleja. Tämä tutkimus käsittelee tuotannon tasapainottamisen näkökulmasta vain erilaisia päähyttityyppejä olettaen niiden sisällä eri hyttimallien aiheuttavan vain pientä vaihtelua työasemien vaiheajoissa.



Kuva 11. Valmis hytti sisältä ja valmiin hyttimoduulin nosto laivaan (Piikkio Works Oy, Company presentation, 2016)

Tutkimuksen aikana meneillään olevan laivaprojektin hyttityypit voidaan karkeimmalla tasolla jakaa matkustaja- ja miehistöhytteihin. Miehistöhytit ovat matkustajahytteihin nähden pienempiä ja yksinkertaisempia. Miehistöhyttejä on olemassa yhteensä viisi erilaista päähyttityyppiä EE1, EE2, EE2-S, 3.1 ja 3.2. Kaksi ensimmäistä ovat yhden hengen päällystöhyttejä. EE2-S eli Combi-hytti, on miehistölle tarkoitettu yhdistelmämoduuli, joka rakentuu kahdesta yhden makuuhuoneen hytistä. Kyseisen hyttimoduulin keskellä oleva yhteinen kylpyhuone yhdistää erilliset makuutilat. Tämän lisäksi miehistölle tehdään kahta erilaista kahden hengen hyttiä 3.1 ja 3.2. Matkustajahytit voidaan jakaa neljään erilaiseen päähyttityyppiin. Laivan sisälle tulevaa matkustajahyttiä kutsutaan nimellä Is-hytti (engl. Inside cabin). Is-hyttityypin lisäksi matkustajille tehdään myös parvekkeellisia ja ikkunallisia hyttejä. Matkustajille tehdään myös JS-hyttejä (engl. Junior Suite), jotka ovat paremmin varusteltu normaaleihin matkustajahytteihin

verrattuna. JS-hytti on työmäärältään huomattavasti suurempi muihin päähyttityyppeihin nähden.

Päähyttityyppien erilaiset hyttimallit eroavat toisistaan kätisyyden tai muiden lisäominaisuuksien puolesta. Hyttimallien rakenteelliset eroavaisuudet mahdollistavat hyttien sovittamisen laivaan määrätuille paikoille. Tuotanto Piikkio Worksilla perustuu pääosin edellä mainittujen yhdeksän päähyttityypin kokoonpanoon. Niiden lisäksi kohdeyritys valmistaa pienen määrän erikoishyttejä, kuten invalidihyttejä. Erikoishytit ovat työkuormaltaan suurempia päähyttityyppien kokoonpanoon nähden. Uudella linjalla ei tulla kokoonpanemaan erikois- ja JS-hyttejä. Edellä mainittujen hyttien kokoonpanoa varten tullaan jättämään osa vanhasta matkustajalinjasta vanhaan tuotantohalliin. Taulukkoon 7 on listattu eri hyttityyppien prosentiosuudet tutkimuksen aikana käynnissä olleen *Mein Schiff 1*-laivaprojektin kokonaishyttimäärästä.

Taulukko 7. Eri hyttien prosentti osuus hyttien kokonaismäärästä MSI-laivaprojektissa

Hyttityyppi	%-osuus
EE1 päällystö hytti	2,60 %
EE2 päällystö hytti	3,90 %
EE3.1 miehistö hytti	15,20 %
EE3.2 miehistö hytti	3,50 %
EE2-S (combi) miehistö hytti	5,80 %
B parvekkeellinen hytti	51,30 %
W ikkunallinen hytti	5,40 %
IS sisähytti	7,00 %
JS sviitti	3,10 %

3.3 Tilaustoimitusprosessi

Asiakkaan tilatessa laivan Meyerin Turun telakalta, aloitetaan projektin räätälöinti suunnittelijoiden ja tilaajan arkkitehtien kanssa. Laivaprojektin räätälöintiin vaikuttaa, onko kyseessä yksittäinen laiva vai sarjalaiva. Sarjatilauksen laivat voivat olla identtisiä keskenään. Tilaukset ovat usein sarjaprojekteja ja yhden laivan tilauksia pyritään jopa välttämään suunnittelusta aiheutuvien kustannusten vuoksi. Tilaajan arkkitehti tuo hahmotelmien avulla ilmi mitä tilaaja haluaa ja Piikkio Worksia edustava projektipäällikkö pyrkii viemään hahmotelmia oikeaan suuntaan. Tässä tapauksessa oikea suunta tarkoittaa kokoonpantavuuteen vaikuttavien tekijöiden huomioon ottamista suunnitelmissa. Hahmotelmien valmistuttua laivasta ja hyteistä, siirtyy hyttien yksityiskohtaisempi suunnittelu Piikkio Worksille.

Suunnittelu Piikkio Worksilla tapahtuu useassa eri vaiheessa ja vie noin 5 kuukautta. Suunnittelun jälkeen ensimmäisenä aloitetaan mallialueen rakentaminen, jossa jokaisesta laivaprojektin päähyttityypistä rakennetaan prototyyppi. Mallialueen tarkoituksena on

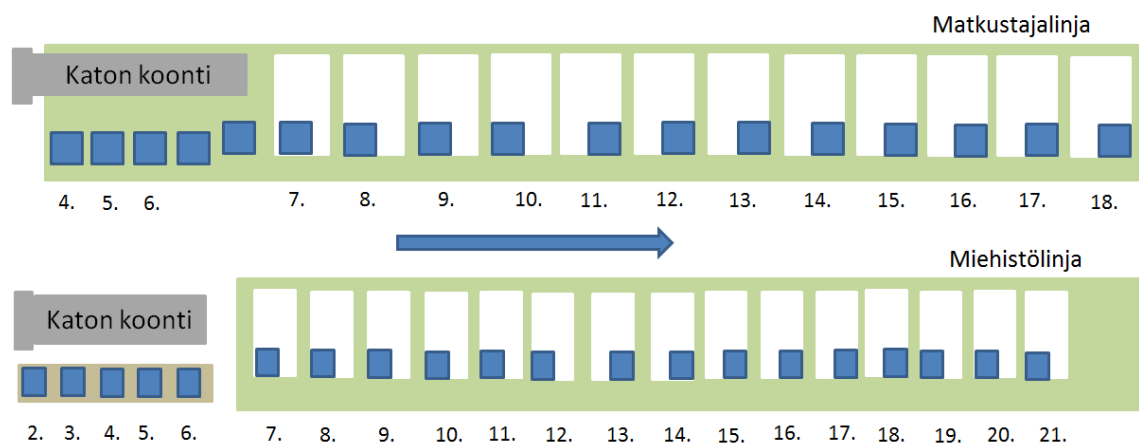
luoda tilaajille kuva mitä he ovat saamassa ja samalla hahmotella eri hyttimallien kokoonpanoa. Jos tilaajan arkkitehti haluaa jatkuvia muutoksia mallialueen prototyyppeihin, aiheutuu muutoksista kustannuksia ja ajan kulumista. Kun tilaaja hyväksyy mallialueen, voi hankinta aloittaa komponenttien ja muiden raaka-aineiden hankinnan.

Telakalla hyttien nostaminen laivaan suoritetaan alihankkijoiden toimesta. Telakka määrittelee alihankkijoille lohkoittaisen nostoaikataulun. Kyseinen aikataulu kertoo alihankkijoille millä viikoilla kyseisen lohkon nostot täytyy suorittaa. Tämän perusteella alihankkijat määrittelevät kyseisen lohkon hyteille nostojärjestyksen, joka lähetetään Piikkio Worksille. Tämän nostojärjestyksen perusteella tehdään Piikkio Worksilla tuotantoaikataulu. Tuotantoaikataulun pohjalta tehdään materiaalitarvelista, jonka perusteella materiaaleja tilataan toimittajilta.

Laivaprojekti kestää kokonaisuudessaan 2-3 vuotta. Hyttimoduulien tuotannon kokonaiskesto vaihtelee laivaprojektikohtaisesti ja riippuu tuotettavien hyttien kokonaismäärästä. Tämän tutkimuksen aikana käynnissä olleen *Mein Schiff 1*-projektin tuotannon suunniteltu kesto oli 5 kuukautta. Hyttimoduulien kokonaismäärä vaihtelee laivaprojektista riippuen muutamasta kymmenestä aina tuhansiin asti.

3.4 Nykyinen tuotantoprosessi

Hyttimoduuleja valmistetaan sarjatuotantona Piikkio Worksin kokoonpanotehtaalla. Nykyisessä kokoonpanossa hyttejä tuotetaan kahdelta linjalta. Toisella linjoista kokoonpannaan pääosin miehistöhyttejä ja toisella matkustajahyttejä. Tuotannon loppupuolella, kun miehistöhytit saadaan valmiiksi, aloitetaan miehistölinjalla myös matkustajahyttien kokoonpano. Miehistölinjalla on yhteensä 21 työasemaa ja matkustajalinjalla on työasemia 18. Molemmilla linjoilla hytti asetetaan rullakiskojen päälle ja hyttiä liikutetaan työntämällä työasemalta toiselle.



Kuva 12. Nykyisen kokoonpanotehtaan layout

Kuvassa 12 on esitelty Piikkio Worksin nykyisen kokoonpanotehtaan layout. Linja kulkee vasemmalta oikealle. Piikkio Worksilla linjat on myös numeroitu niin, että miehistölinjasta käytetään nimitystä linja 2 ja matkustajalinjasta linja 3. Hyttien kokoonpanojärjestys on pääosin samanlainen molemmilla linjoilla. Materiaalit tuodaan kokoonpanoon linjojen viereen joko keräily kärryillä tai materiaali lavoilla. Päälinja alkaa molemmilla kokoonpanolinjoilla työasemalta 7. Sitä ennen suoritetaan kylpyhuone-moduulin ja hytin katon kokoonpano.

Taulukko 8. *Miehistölinjan työasemat ja tehtävä kuvaukset*

Työasema	Tehtävä	Työasema	Tehtävä
0	Katon koonti	11	Kalustus 1
1	Katon koonti	12	Kalustus 2
2	WC pohjan esivalmistelu ja WC pystytys	13	Kalustus 3/ tarkastus
3	Silikoonaus	14	Sähkö 1
4	WC putkityöt	15	Sähkö 2
5	WC kalustus 1	16	Sähkö 3
6	WC kalustus 2	17	Sähkö 4
7	Hytin pystytys	18	Kuljetustuet & sprinkleri
8	Hytin varustelu	19	Tarkastus
9	Tarkastus	20	Imurointi loppusiivous
10	Silikoonaus	21	Pakkaus & viimeistely

Taulukko 8 havainnollistaa normaalia miehistölinjan työasemajakoa. Hytin kokoonpano alkaa kylpyhuoneen pystytyksestä. Katon koonti suoritetaan erillisellä työasemalla ennen päälinjaa josta se nostetaan pystytetyn hytin päälle. Katon koonti aloitetaan rinnakkain WC-linjan työvaiheiden kanssa. WC-linja ja päälinja yhdistyvät kiskoilla, joita pitkin kylpyhuone on helppo työntää päälinjan ensimmäiselle työasemalle, jossa suoritetaan hytin pystytys. Hytin pystytys tapahtuu kylpyhuone-moduulin ympärille. Pystytyksessä asennetaan alaputkikehikko, seinäpaneelit, tukielementtejä ja katto. Pystytyksen jälkeen hytti siirtyy hytin varusteluun, jossa asennetaan mm. erilaisia kulma- ja saumalistoja, sekä ruuvataan lisäruuveja hytin runkoon. Matkustaja ja miehistöhytin kylpyhuonemoduulien paneelien saumakohtat tiivistetään lisäämällä silikonia saumoihin. Hytin puolella silikonia lisätään sekä matkustaja että miehistö hyteissä katon rajaan ja osan kalusteista saumakohtiin. Hytin puolen silikoonaus tehdään pääosin esteettisistä syistä. Hytin kalustus työasemilla asennetaan hytin kaikki kalusteet. Kalusteiden määrä vaihtelee hyttityyppien välillä ja tyypillisiä kalusteita ovat esimerkiksi kaapit, hyllyt, pöydät, jääkaappi ja kassakaappi. Sähkötyöasemilla suoritetaan kaikki hytin sähkötyöt johon sisältyy valaisimien, pistorasioiden ja kaiuttimien asennuksen lisäksi paljon erilaista kytkentätyötä ja kaapeleiden vetoa. Linjan loppupäässä suoritetaan viimeisiä tarkastuksia, hytin siivous ja pakataan laivassa asennettavia osia hytin sisälle.

Kuten taulukosta 8 käy ilmi nykyisillä kokoonpanolinjoilla työasemat on ryhmitelty saman teeman mukaiseen järjestykseen. Esimerkiksi kalustus ja sähkötyöt suoritetaan peräkkäisillä työasemilla. Sähkötöiden suorittaminen on työmäärältään isoin vaihe kokoonpanossa. Tätä kuvastaa hyvin sähkötyöasemien suurempi lukumäärä muihin työasemiin nähden. Miehistölinjan ja matkustajalinjan vaiheistuksien runko on melko samanlainen. Isoimman eron aiheuttaa miehistöhytteihin tuleva suurempi kalusteiden määrä. Näin ollen miehistölinjalla on matkustajalinjaan nähden enemmän kalustus-työasemia.

Nykyisillä kokoonpanolinjoilla tuotetaan erä tiettyä hyttityyppiä, jonka jälkeen kokoonpantava hyttityyppi vaihtuu. Tuotantojärjestys seurailee telakan nostojärjestystä ja näin ollen hyttien eräkoot vaihtelevat isoista 100 hytin yhtäjaksoisista eristä pienempiin 5 hytin eriin. Tutkimuksen aikana käynnissä olevassa laivaprojektissa matkustajahyttejä oli kaksinkertainen määrä miehistöhytteihin verrattuna. Tästä johtuen tuotannon loppupuolella myös miehistölinja aloittaa kokoonpanemaan matkustajahyttejä, saatuaan ensin miehistöhytit valmiiksi.

Kaikkia hytteihin tulevia osia ei asenneta Piikkio Worksilla. Kuten aikaisemmin on mainittu, osa materiaaleista pakataan hytin sisälle ja asennetaan vasta laivassa. Herkät materiaalit tuodaan vasta laivassa hyttiin, kuten patjat, matot ja televisio. Meyerin Saksan hyttitehtaalla on saavutettu tilanne, jossa kaikki hytin irtaimisto, mukaan lukien matto, patjat, sohva ja televisio pakataan hytin sisälle. Vaikka kyseinen ratkaisu on kustannustehokas, on se tällä hetkellä mahdoton toteuttaa Piikkio Worksilla, koska hyttejä joudutaan varastoimaan ulos. Näin ollen sisälle pakatut patjat ja matot voivat kärsiä kosteusmuutosten aiheuttamasta rasituksesta ulkosäilytyksen aikana. Telakan laivarakennus tavasta johtuen, hytit voivat altistua kosteudelle vielä noston jälkeenkin. Saksassa hyteillä on sisävarasto ja laivan rakentamisen tapahtuessa sisätiloissa ei hytin irtaimistolla ole vaaraa vaurioitua kosteudesta toimitusketjun missään vaiheessa.

Kohdeyrityksen kokoonpanon on tarkoitus toimia molemmilla linjoilla tahdin mukaisesti. Miehistöhyteistä työläintä Combi-hyttiä saatiin tehtyä miehistölinjalla 6 tahdin vauhdilla. Tämä tarkoittaa sitä, että työpäivän aikana valmistu 6 kappaletta Combi-hyttejä. Tutkimuksen aikana käynnissä olevan projektin muita miehistölinjan ja matkustajalinjan päähyttityyppejä oli tarkoitus tuottaa tasaisella 12 tahdin vauhdilla. Kyseinen tavoite ei kuitenkaan toteutunut johtuen tuotannon aikana ilmenneistä ongelmista. Tuotannon alussa Lietuan paneelitehtaalla oli ongelmia tuottaa paneeleja sovituksessa aikataulussa ja tämä materiaali puute varjosti koko projektin loppua. Hyttien siirtäminen linjoilla uudelle tahdille kestää noin 3 minuuttia johtuen hyttien siirtämisestä aiheutuvasta viiveestä. Näin ollen työasemilla jokainen tahti ei ala samalla kellonlyömällä. Työntekijöiden määrä linjoilla vaihtelee kokoonpantavan hyttityypin mukaan. Combi-hytti vaatii 6 tahdin ylläpitämiseen 28 työntekijää ja matkustajahytin kokoonpanossa 12 tahdin ylläpitäminen vaatii noin 64 työntekijää.

Tutkimuksen aikana käynnissä olevan laivaprojektin kokoonpanossa käytettiin miehistölinjalla signaalijärjestelmää. Järjestelmä koostuu ohjauspaneeleista ja signaalivaloista, joita on aseteltu jokaiselle asemalla. Järjestelmä toimii ohjauspaneelien kautta johon työntekijät syöttävät tietoja. Työasemalla työntekijä aloittaa työn kirjoittamalla ohjauspaneeliin hytin tilanumeron ja painamalla ”työn aloitus”-painiketta. Samaan aikaan käynnistyy työaseman vaihe aika ja valkoinen valo syttyy työn aloituksen merkiksi signaalivalopuuhun. Ohjauspaneelin ylä laidassa käyvä tahtiaika on laskeva eli tahdin loppuessa näytöllä näkyy 0 minuuttia. Uusi tahtiaika alkaa heti vanhan ajan umpeuduttua. Näin ollen tahti voi olla jo käynnissä ennen kuin työntekijä kerkiää aloittamaan työ vaiheen. Saadessaan työt valmiiksi työntekijä painaa ohjauspaneelista ”työ valmis”-painiketta ja samalla signaalivalopuuhun syttyy vihreä valo. Jos tahdin aikana tapahtuu häiriö painaa työntekijä ohjauspaneelista häiriölle tarkoitettua painiketta ja samalla sininen valo alkaa vilkkua signaalivalopuussa. Apumiehen saapuessa paikalle suorittamaan tarvittavan häiriön poiston, painaa työntekijä paneelista ”häiriö työn alla”-painiketta jolloin sininen valo palaa ilman vilkkumista. Tämä on merkki siitä että häiriöön on vastattu ja sen poistaminen on työn alla. Keltainen hälytysvalo syttyy noin 7 minuuttia ennen tahdin loppumista. Keltaisen valon avulla työntekijät tietävät onko työasemalla kiire. Keltainen valo on myös tärkeä viestintä väline tuotannon esimiehille. Jos keltaisen valon hälyttäessä yhdelläkään työasemalla ei pala tai vilku sininen valo on linja todennäköisesti valmis tahdin vaihtoon. Jos linja pysäytetään, syttyy signaalipuuhun punainen valo jokaiselle työasemalle. Saman projektin aikana signaalivalot otettiin käyttöön myös matkustajalinjalla ilman ohjauspaneeleita.

Laivaprojektin tuotanto alkaa ensimmäisen nollasarjan kokoonpanolla. Samalla alkaa myös linjan ylösajon. Nollasarja on jokaisen hyttityypin ensimmäinen hytti. Nollasarjan avulla tutkitaan kyseisen hyttityypin kokoonpanoa ja ilmeneviin ongelmiin yritetään löytää ratkaisu ennen kyseisen hyttityypin varsinaisen tuotannon alkua. Nollasarjat antavat tietoa tarkemmasta työasemien miehitystarpeesta ja paljastavat mahdollisia esivalmistelu tarpeita. Esimerkiksi jos nollasarjan aikana havaitaan tietyn komponentin ruuvauksen olevan hankalaa, voidaan toimittajan kanssa yrittää sopia mahdollisista ruuvausta helpottavista esivalmisteluista, kuten eriporatuista reistä. Tavoitteena on suorittaa nollasarja noin 6 viikkoa ennen kyseisen hyttityypin aloitusta linjalla.

Nykyisessä tuotannossa linjojen ylösajo on kestänyt suhteellisen kauan. Jokaisen laivaprojektin hyttityypeillä on omanlaatuisia piirteitä, jotka vaikuttavat kokoonpanoprosessiin ja täten ylösajon keston. Ylösajon keston vaikuttaa myös se onko laiva yksittäinen vai sarjaan kuuluva. Sarjan ensimmäisessä laivassa hyttien kokoonpanon ylösajo kestää odotetusti pidempään kuin sitä seuraavien laivojen. Tämä johtuu siitä, että vasta ensimmäisen laivan aikana hyttien kokoonpanoon saadaan ruutini, jota voidaan hyödyntää sarjan seuraavissa laivoissa. Nykyisten linjojen tasapainotus suoritetaan karkealla tasolla työjohdon toimesta. Lopullinen tarkempi tasapainotus suoritetaan vasta linjojen ylösajon yhteydessä, kun havaitaan miten eri hyttien työmäärät todellisuudessa toteutu-

vat työasemilla. Kokoonpanolinjojen ylösajon alussa tuotanto aloitetaan rauhallisesti, jossa projektin hyttien kokoonpanoa tunnustellaan. Ylösajon aikana saatetaan suorittaa muutoksia eri hyttimallien vaiheistukseen ja työasemien miehitykseen. Ylösajon edetessä tuotannon vauhtia kasvatetaan pikkuhiljaa, kunnes lopulta saavutetaan tavoiteltu tahti.

Piikkio Works on kehittänyt materiaalien hallintaa JIT-periaatteiden mukaisesti. Rajallisen varastotilan vuoksi materiaalien hallintaa on paranneltu kotiinkutsutyökalun toimesta, jonka avulla pyritään materiaali toimituksiin toimittajilta vain tarpeen mukaan. Kohdeyrityksessä pyritään näin luomaan parempi virtaus, jossa materiaalia ei kerätä varastoihin vaan ne virtaavat suoraan toimittajilta kokoonpanoon. Kohdeyrityksen sisälogistiikan suurin ongelma on tiedonkulku. Tehtäessä muutoksia tuotantosuunnitelmaan täytyy logistiikan päivittää kotiinkutsut ja materiaalien keräilylistat muutoksen mukaisesti. Jos tuotantosuunnitelma muuttuu normaalia tiheämmin, kohtaa logistiikka hankaluuksia pysyvä muutoksissa mukana. Näin ollen projektin alun toimitus ongelmat paneelien osalta, sekoittivat logistiikan toimintaa.

Keräily toimittaa linjalle työasemien tarvitsemat materiaalit. Isoimmat komponentit kuten paneelit ja peilit saapuvat omissa räkeissään, joista kyseisiä osia on linjan työntekijöiden helppo ottaa. Pienemmät materiaalit tuodaan linjoille keräilykärryillä. Kärryissä voi olla useamman työaseman osat, joten kärry liikkuu tahdin mukana oikealle työasemalle työntekijöiden työntämänä. Keräily toimii kolme tahtia kokoonpanoa edellä. Tämä tarkoittaa sitä että yhden kärryn ollessa työasemalla, toinen kärry odottaa valmiina varastossa ja kolmannen kärryn materiaaleja ollaan keräilemässä. Näin yritetään varmistaa, että linjat eivät kohtaa materiaalipuutteita. Kärryt tuodaan keräilystä linjoille possujunan avulla, joka kuljettaa uuden materiaali erän koko linjan työasemille.

Kokoonpanossa ilmeneviä ongelmia hoidetaan nykytuotannossa apumiesten avulla tai jälkivarusteluna. Apumiehien tarkoitus on suorittaa korjauksia pitkin linjaa, ja näin ehkäistä linjan pysähdykset. Jos ongelman taustalla on esimerkiksi materiaali puute, joka ei estä hytin kokoonpanon jatkumista, voidaan hytti merkitä jälkivarusteluun. Jälkivarustelussa hytti päästetään linjan läpi ja korjaukset suoritetaan joko tehtaan pihalla, tai vasta jopa laivassa.

3.5 Toimintaympäristön haasteet

Kohdeyrityksen toimintaympäristössä on monia haastavia piirteitä, joista haastavin on toiminnan projektikohtaisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että uuden projektin alkaessa ei voida suoraan ottaa käyttöön edeltäneessä projektissa käytettyjä hyviä käytäntöjä. Uuden laivaprojektin hytit voivat olla pääpiirteittäin samanlaisia kuin edeltäneessä projektissa, mutta eroavat kuitenkin siinä määrin, että kokoonpanon toistettavuus ei ole mahdollista. Sarjalaivoissa tämä ei pidä paikkaansa, vaan sarjan ensimmäisen laivan aikana opitut käytännöt nopeuttavat sarjan seuraavien laivojen kokoonpanoa.

Kuten aikaisemmin on mainittu, toiminnan projektikohtaisuus näkyy kokoonpanon ylösajon hitaudessa. Laivan suunnittelussa mukana oleva asiakkaan arkkitehti ei ota päätöksissään huomioon hyttien kokoonpantavuutta. Esimerkiksi arkkitehti voi haluta hyttiin muotoja, jotka ovat haastavia hytin rakentamisen kannalta. Toisena esimerkkinä arkkitehti voi haluta kalusteeksi isokokoisen ja painavan vuodesohvan, joka aiheuttaa vaikeuksia hyttien kalustus-työasemalle. Näin ollen voi esimerkiksi aiheutua tilanne, jossa arkkitehdin haluama sänky on niin iso, että mahtuakseen sisään sänky pitää laittaa hytin sisälle jo ennen seinäpaneeleita. Projektipäällikkö toimii Piikkio Worksin neuvottelijana laivan tilaajan arkkitehdin kanssa. Sen yksi tärkeimmistä tehtävistä on myydä arkkitehdille sellainen ratkaisu, joka on myös kokoonpanon kannalta toimiva. Kuten luvussa 2.3 mainittiin kokoonpanon kehittäminen alkaa tuotteen suunnittelusta, jossa kaikissa tuotetta koskevissa päätöksissä kuuluisi ajatella tuotteen kokoonpantavuutta. Näin ollen Piikkio Worksin tilanteessa suunnittelussa joudutaan aika ajoin tekemään kompromisseja, jotka miellyttävät asiakasta ja ovat jossain määrin toteutettavissa kokoonpanolinjalla.

Projektikohtaisuus aiheuttaa linjoille vaihtelevan työmäärän. Edellisessä luvussa mainittiin kohdeyrityksen isoksi haasteeksi laivaprojektien projektikohtaisuus. Tämä aiheuttaa haasteita myös työasemien työmäärän kanssa. Työasemien työmäärät määräytyvät projektin asettamien vaatimusten mukaisesti. Jos esimerkiksi arkkitehti haluaa kalusteiksi vaikeamuotoisia ja painavia esineitä, voi kalustuksen suorittavien työasemien työmäärä kasvaa isommaksi, kuin mitä edellisessä projektissa. Näin ollen yksittäisen laivan tai sarjalaivan ensimmäisen projektin tilanteessa työasemien työmääriä ja linjan tasapainoa on vaikea miettiä tarkasti ennen tuotannon ylösajon aloitusta. Oikea realisoituva työmäärä havaitaan vasta, kun tuotantoa ylösajetaan ja linjan nopeutta vähitellen nostetaan.

Projektikohtaisuus vaikuttaa myös materiaalien toimittajiin. Tarvittava materiaali voi vaihdella projektista riippuen ja tästä syntyy tarve uusille toimittajille. Jos projektiin joudutaan ottamaan mukaan paljon uusia toimittajia, voi niiden hallinta muodostua haastavaksi. Varsinkin kohdeyrityksen tapauksessa, jossa matalat varastotasot perustuvat säännöllisiin materiaali toimituksiin, nousee toimittajien toimitusvarmuus isoon arvoon.

Toinen haastava piirre koskee telakan toimintaa. Telakan rajoitteista ja toiminta tavoista johtuen jatkuvan virtauksen luominen telakalle asti on haasteellista. Telakka ei ole kykeneväinen nostamaan hyttejä laivaan jatkuvalla tahdilla. Tästä johtuen Piikkio Worksilta lähtevät hytit eivät päädy heti laivaan vaan sijoitetaan kohdeyrityksen omaan pieneen varastoon ja vapaavarastoihin pitkin Turun rannikkoa. Telakalla hyttien nostaminen laivaan suoritetaan alihankkijoiden toimesta. Täten telakalla ei ole vastuuta nostoai-katauluista. Telakka määrittelee alihankkijoille heille kuuluvan lohkon aikataulun. Kyseinen aikataulu kertoo millä viikoilla kyseisen lohkon hyttien nostot täytyy suorittaa. Tämän perusteella alihankkijat määrittelevät kyseisen lohkon hyteille nostojärjestyksen, joka lähetetään Piikkio Worksille. Tämän nostojärjestyksen perusteella tehdään Piikkio

Worksin tuotantoaikataulu. Muutoksia syntyy, kun telakka kohtaa ongelmia lohkojen hyväksymisen kanssa ja joutuu muuttamaan nostojärjestystä lohkojen osalta. Lohkojen hyväksyminen on prosessi, joka on aiheuttanut useasti muutoksia toimintaan. Nostojärjestyksen muuttaminen lohkojen osalta muuttaa myös kohdeyrityksen tuotantoaikataulua.

3.6 Tuotannon ongelmakohdat

Nykyisen tuotannon ongelmat muodostuvat vastuualueiden hämäryydestä. Tämä näkyy esimerkiksi tuotannon dokumentaation puutteesta. Monien asioiden annettiin ”leijua ilmassa” sen sijaan, että niistä pidettäisiin dokumentaation avulla kirjaa ja päivitetäisiin muutoksien mukaisesti. Esimerkiksi nykytuotannosta ei ollut koko projektin alun aikana olemassa kirjallista paikkaansa pitävää vaiheistusta eli tietoa siitä mitä milläkin työasemalla tehdään. Vaiheistuksen raakaversio oli tehty osittain, mutta sitä ei ollut viimeistelty ja päivitetty muutoksien mukaisesti. Tämän lisäksi miehitys tiedoista ei ollut kirjallista selkeää dokumentaatiota, vaikkakin tutkimuksen aikana se tehtiin. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, on tuotantoa hankala suunnitella tarkasti ennen tuotannon ylösajoa. Tämä ei kuitenkaan poista suunnitelmien tarpeellisuutta. Alaluvussa 2.3 Lapinleimu et al. (1997) ja Malmberg et al. (1987) molemmat korostavat ennakkosuunnittelun tärkeyttä kokoonpanossa. Esimerkiksi kohdeyrityksessä karkeiden vaiheistuksien tekeminen tuotannosta on mahdollista tehdä ennen tuotannon aloitusta. Määritelty vaiheistus toimisi pohjana, joihin muutoksia on helppo päivittää. Dokumentaation puute hankaloitti myös allekirjoittanutta saamaan otetta tuotannosta. Tämän tutkimuksen aikana nykytuotannon vaiheistusta päiviteltiin allekirjoittaneen toimesta haastattelemalla työnjohtajia ja työntekijöitä, sekä suoritettuna työntutkimuksen avulla.

Dokumentaatio puutteista aiheutuvat ongelmat tulivat ilmi myös käytännössä. Koska selkeää dokumentaatiota toiminnasta ei ollut olemassa, erilaiset kohdeyrityksestä riippumattomat muutokset aiheuttivat monia ongelmia ja epäselvyyksiä tuotantoon. Tuotanto vaikutti osittain hallitulta kaaokselta, jota työnjohtajat pitävät hallinnassa kokemuksen tuomalla varmuudella.

Tutkimuksen aikana käynnissä olleen projektin aikana kokoonpanolinjat eivät toimineet tasapainoisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että osalla työasemista työkuorma oli isompi kuin toisilla työasemilla. Tähän on syynä tasapainotuksesta päävastuun pitävän tahon puuttuminen. Nykytuotannossa työnjohtajat suorittavat yhdessä linjojen tasapainotuksen omien havaintojensa perusteella. Näin toimien kokonaiskuva helposti hämärtyy ja johtaa puutteelliseen tasapainotukseen. Kyseinen tapa voisi toimia jos työnjohtajat sopisivat erikseen palaverieita, joissa vaiheistusta ja tasapainotusta käytäisiin läpi. Vaiheistuksen muodostaminen työpäivän muiden tehtävien lomassa, ei johda parhaaseen lopputulokseen. Pelkästään paikkansa pitävän dokumentaation olemassa olo tuotannon tilasta parantaisi tasapainotusta, koska näin jokainen pystyisi tutkimaan nykytilaa ja muutoksen aiheuttamia vaikutuksia.

Dokumentaation puute hidastaa myös uusien työntekijöiden kouluttamista. Jos työntekijälle ojennettaisiin lista hänen työasemallansa asennettavista osista, hän pystyisi tunnistamaan osat jo ennen kokoonpanotyön aloitusta. Näin työntekijät pääsisivät huomattavan paljon nopeammin sisälle työhön eivätkä sitouta liikaa muita työntekijöitä opastamisessa. Dokumentaation puute on vaikeuttanut myös apumiesten tehokasta hyödyntämistä. Vaikka apumies on linjan monitoimimies, ei hän ulkoa pysty muistamaan jokaisen aseman työtehtäviä. Nykytuotannossa on käynyt tilanteita, jossa apumies on saapunut työasemalle korvaamaan poissaolevan työntekijän, mutta kukaan ei ole ollut työasemalla ohjeistamassa häntä alkuun työssä. Apumies on kysynyt työnjohdolta listaa asennettavista osista, mutta sellaista ei ole ollut olemassa. Samanaikaisesti kyseisen työpisteen työnjohtaja ei ole ollut paikalla.

Nykytuotannossa työtä ei ole jaettu tasaisesti jokaiselle työasemalle. Tämän johdosta oli havaittavissa välillä lievää kateutta työntekijöiden keskuudessa. Tasapainotuksen tarkempi suorittaminen jäi projektin aikana suorittamatta vaikka lieviä parannuksia tehtiin. Tasapainotuksen puutteet nykytuotannon aikana johtuivat tuotannon vajanaisesta ennakkosuunnittelusta, sekä projektin aikana ilmenneiden muiden ongelmien viedessä työnjohtajien huomion ja ajan.

Vaikka jokaisen toimihenkilön kuuluu olla vastuussa omasta vastualueestaan, täytyy yhteisen johtamisen kulttuuria pitää yllä. Varsinkin aikana jolloin yritys kohtaa suuria muutoksia nousee yhteisen johtamisen kulttuuri suureen arvoon. Yhteinen johtaminen tarkoittaa tilannetta, jossa jokainen tuotannon ongelma on yhteinen ongelma, vaikka asian ratkaiseminen voidaan osoittaa yhdelle henkilölle. Yhteinen vastuu ongelmista lisää luottamusta ja luo vahvaa ”me-henkeä” kaikkeen tekemiseen. Yhteinen johtaminen koskee koko organisaatiota ylhäältä alas. Tämän tutkimuksen aikana informaatio kulki osittain huonosti työnjohdon, tuotannosuunnittelun ja suunnittelun välillä. Usein työnjohto sai keskenään selviytyä ongelmien kanssa ennen kenenkään ylemmän tahon tuleamista paikanpäälle kyselemään tilanteesta ja antamaan informaatiota projektin kokonaiskuvasta. Näin ollen tulevaisuudessa viikoittainen yhteinen palaveri kaikkien edellä mainittujen tahojen välillä on välttämätön yhteishengen säilymisen ja informaation kulun varmistamisen kannalta.

4. KOKOONPANOLINJAN VAIHEISTUS JA TASPAINOTUS

Uuden linjan tasapainotuksen suunnittelu eteni osittain hitaasti. Tutkimuksen etenemistä hidasti ongelman laajuus, joka sai allekirjoittaneen osittain keskittymään epäolennaiseen, sekä myös työn suorittamisen edellytyksien puuttuminen yrityksen puolesta. Nämä molemmat tekijät vaikuttavat työn rajauksen muuttumiseen tutkimuksen aikana.

Tutkimuksen alun suvanto vaiheen jälkeen allekirjoittanut pääsi tutkimuksessa eteenpäin, vaihtamalla tutkimuskysymystä. Alkuperäinen tutkimuskysymys ”Miten uudella kokoonpanolinjalla tapahtuva tuotanto tasapainotetaan?” vaihtui kysymykseen: ”Mitä uuden kokoonpanolinjan tasapainottaminen vaatii?”. Ilman tasapainotuksen edellytyksiä ei ole mahdollista suorittaa itse tasapainotustakaan. Tämän tutkimuksen suorittamiselle edellytyksiä oli nykytuotannon työtutkiminen, joka piti sisällään tuotannon vaiheistuksen, osakohtaisten asennusaikojen ja muiden tarvittavien työvaiheiden kestojen selvittämisen. Nykytuotannon vaiheistuksen selvityksen jälkeen työnkestoja tutkittiin työnai-
katutkimuksen avulla ja niiden perusteella suunniteltiin vaiheistus uudelle kokoonpanolinjalle, pyrkien jokaisen työaseman tasaiseen työmäärään.

4.1 Vanhojen työnaikatutkimus- ja vaiheaikadatojen analysointi

Rother & Harris (2001) mukaan uuden prosessin suunnittelu vanhan työnaikatutkimus datan perusteella on hyväksyttävää, koska uudesta prosessista ei vielä ole saatavilla tietoa. Heti uuden prosessin käynnistyttyä täytyy Rother & Harris (2001) mukaan sille suorittaa uusi työntutkimus, jotta oikea data saadaan lopulta kerättyä toiminnan pohjaksi. Tämän tutkimuksen alkuperäinen tarkoitus oli aloittaa uuden linjan tasapainotus analysoimalla nykytuotannon signaalijärjestelmästä saatavaa vaiheaikadataa, sekä sen avulla kerättyjä vanhojen projektien vaiheaikoja ja aikaisempina vuosina suoritettuja työnaikatutkimuksia. Vaiheaikadatan ja työnaikatutkimusten analysoinnin perusteella oli tavoitteena löytää tuotannon pullonkauloina toimivia työasemia. Tämän jälkeen pullonkaula työasemia olisi analysoitu tarkemmin, tavoitteena löytää keinoja parempaan tuotannon tasapainoon uuden kokoonpanolinjan käytössä.

Kohdeyrityksen edellisen projektin tuotannosta saatiin datapakettina signaalijärjestelmän keräämää tietoa työasemien vaiheajoista miehistölinjalta. Kyseisen data ajettiin Exceliin ja eri hyttityyppien vaiheajoista muodostettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Sama toimenpide oli tarkoitus suorittaa myös tutkimuksen aikana käynnissä olevan tuo-

tannon vaiheikadatalle miehistölinjalta. Tutkimuksen edetessä kävi selväksi, että vaiheikojen tarkastelu ei osoittautunut tarpeelliseksi kahdesta eri syystä. Ensimmäinen syy oli vaiheikadatan epäluotettavuus, joka ei antanut oikeaa kuvaa tuotannon tilasta työasemilla. Vanhojen projektien vaiheikadatan käsittelyssä kävi ilmi, että signaalijärjestelmää ei ollut käytetty kurinalaisesti, joka asetti tulokset kyseenalaisiksi. Lukuisilla tuotantovierailuilla kävi selväksi, että signaalijärjestelmää ei vielääkään käytetty riittävän kurinalaisesti. Virheitä järjestelmään aiheutti esimerkiksi tilanne, jossa saatuaan työt valmiiksi työntekijät eivät kuitanneet valmistumista myös signaalijärjestelmään. Kyseinen tieto kirjattiin ylös vasta tahdin loputtua. Tästä johtuen vaiheikadataan saattoi tulla 10-30min virheitä oikeaan vaiheikaan nähden. Näin ollen vaiheikadatan perusteella tapahtuva tuotannon analysointia osoittautui turhaksi. Toisena syynä oli tutkimuksen edetessä saatu uusi tieto uudesta linjasta. Uudelle linjalle oli suunniteltu melkein kaksinkertainen lukumäärä työasemia nykyisiin kokoonpanolinjoihin nähden, joten nykytuotannon vaiheajat eivät antaneet tarpeeksi informaatiota uuden linjan vaiheistuksen muodostamiseen.

Paikkansa pitävää dataa kohdeyrityksen tuotannon suorituskyvystä alettiin etsiä tutkimalla aikaisempina vuosina suoritettuja työnaikatutkimuksia. Kohdeyrityksen tuotantoon on suoritettu useita kellotuksia aikaisempien projektien aikana. Tavoitteena oli aikaisempia kellotuksia tutkimalla saada selville osakohtaisia asennusaikoja ja näin päästä käsiksi työasemien oikeaan vaiheikaan ja muodostaa vaiheistus uudelle linjalle. Selvityksen jälkeen tuli kuitenkin ilmi kyseisten kellotuksien hyödyttömyys. Kaikissa suoritetuissa kellotuksissa oli käytetty omia tutkimuspohjia ja merkintöjä, jotka hankaloittivat kyseisten työnaikatutkimusten tutkimista jälkeenpäin. Ilman työn suorittaneen kellottajan selvennöksiä ei tutkimuksista ollut saatavilla käyttökelpoista informaatiota. Näin ollen kävi selväksi, että työnaikatutkimus tulisi suorittaa uudestaan, jos uuden linjan vaiheistus halutaan määritellä.

4.2 Nykyisen tuotannon työntutkimus

Edellisessä alaluvussa mainittujen tutkimukseen vaikuttaneiden ongelmien vuoksi nykytuotannon työntutkimus asetettiin tämän diplomityön uudeksi tärkeimmäksi tavoitteeksi. Sen avulla kerätyn informaation avulla oli tarkoitus aloittaa uuden linjan vaiheistuksen suunnittelu. Työnaikatutkimuksena avulla on mahdollista hahmotella, uuden linjan vaiheistuksen suunnittelussa, eri päähytityyppien kokoonpanoa ja luoda käsitystä eri työasemien työkuormista. Suorittamalla kellotukset tämän tutkimuksen aikana saavutetaan paras tarkkuus työnaikatutkimuksen tuloksissa vastamaan uuden linjan ensimmäisen projektin tarpeita. Näin päästään samalla parhaimpaan tarkkuuteen vaiheistuksien suunnittelussa ja karkean tasapainotuksen muodostamisessa, pitäen samalla silmällä 18 minuutin tahtiajan toteutuminen.

Käytettävissä olevan ajan havaittiin olevan rajallinen kellotuksien suorittamiseen, tuotannon pian loppuessa miehistöhyttien osalta. Näin ollen työnaikatutkimukselle katsot-

tiin riittäväksi yhden hyväksyttävän ajan saamista jokaiselle asennettavalle osalle ja suoritettavalle työlle. Samalla huomioitiin, että työnaikatutkimus tulisi olemaan tarkkuudeltaan puutteellinen, mutta tästä huolimatta tarpeeksi suuntaa antava uuden linjan vaiheistuksen karkealle suunnittelulle. Rother & Harris (2001) maininnan mukaisesti kohdeyrityksessä päätettiin suorittaa uudella linjalla uudet kellotukset heti tuotannon alkaessa, oikeiden työmäärien ja tasapainon toteutumisen varmistamiseksi, sekä samalla aktiivisen tuotannon vakioinnin aloittamiseksi.

Työnaikatutkimuksen edellytykset eivät olleet kohdeyrityksessä parhaat mahdolliset. Kuten kappaleesta 3.6 käy ilmi, merkittävin puute oli työasemakohtaisten osalistojen virheellisyys. Tämän tapaisen tietokannan luominen on ensi arvoisen tärkeää yritettäessä hallita isoa kokonaisuutta ja ollut yrityksessä kauan puheen alla. Työasemakohtaisen osalistan muodostaminen oli ensimmäinen askel työnaikatutkimuksessa ja ehdoton edellytys kellotuksien suorittamiseksi. Näin ollen ennen työnaikatutkimusta oli tarpeen toteuttaa osalistojen päivittäminen paikkansapitäväksi miehistö- ja matkustajalinjan työasemien osalta. Osalistojen päivittämisessä olivat auttamassa tuotannon työnjohtajat ja työntekijät.

Kohdeyrityksen työn vakioinnin aste oli erittäin matala. Tästä johtuen työn sisällön hahmottaminen jokaisella työasemalla vei oman aikansa. Varsinkin työasemilla, joissa työskenteli kolme tai neljä työntekijää, saattoi työn seuraaminen muodostua haasteelliseksi. Monta työntekijää sisältävillä työasemilla, työhön saattoi kuulua vaiheita, joissa yksi työntekijä asensi tietyn ajan tiettyä osaa, lopetti työskentelyn auttaakseen toisen työntekijän asennustyössä ja palasi tämän jälkeen jatkamaan omaa asennustyötään. Tästä johtuen yhden ajan saaminen työaseman jokaiselta asennettavalta osalta, tai suoritetulta työltä, saattoi vaatia työaseman tarkastelua usean tahdin ajan.

Työnaikatutkimus aloitettiin miehistölinjalta ja kellotuksien pohjaksi sovittiin työasemakohtaiset osalistat. Osalistojen avulla työasemilta oli tarkoitus kerätä osakohtaisia asennusaikoja. Tutkimuksen aikana oli tarkoitus havainnoida ja merkitä ylös myös muu hytin vaatima työ johon ei liity asennusta. Esimerkkinä edellä mainitusta hytin vaatimasta muusta työstä on eri osien vaatima esivalmistelu tai esimerkiksi palomassan levitys. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kellotuksia pyydettiin suorittamaan kohdeyrityksen entinen eläkkeellä oleva työntekijä, joka on aikaisempina vuosina tehnyt työnaikatutkimuksia. Myöhemmin havaittiin kellotuksien suorittamisen vaativan arvioitua suuremman työmäärän ja tästä johtuen kellotusta jatkoi toinen kohdeyrityksen entinen eläkkeellä oleva työntekijä ja allekirjoittanut. Miehistölinjan työnaikatutkimusta ei saatu suoritettua jokaiselle päähyttityypille. Combi-hytin tuotanto oli päätynyt ennen työnaikatutkimuksen aloitusta. Työnaikatutkimukset saatiin kuitenkin suoritettua 3.1 ja EE1 hyttien osalta tyydyttävällä tasolla. Edellä mainittujen tutkimuksien avulla on mahdollista muodostaa karkeat vaiheistukset myös muiden miehistöhyttien kokoonpanoon.

Taulukko 9. EEl hytti-mallin työaseman 6 kellotuksien tulokset 20 % apuaikakertomella

Työpiste 6							
WC kalustus							
Materiaali ID	Materiaali kuvaus	Määrä	Yksikkö	Kokonais asennusaika	Joutuisuus aika	Standardiaika	Työnjohtajan kuittaus
1	Komponentti 1	1,00	kpl	1,9	1,9	2,28	
2	Komponentti 2	1,00	kpl	1,5	1,5	1,8	
3	Komponentti 3	1,00	kpl	0,7	0,7	0,84	
4	Komponentti 4	2,00	kpl	1,1	1,1	1,32	
5	Komponentti 5	1,00	kpl	0,9	0,9	1,08	
6	Komponentti 6	1,00	kpl	0,7	0,7	0,84	
7	Komponentti 7	2,00	kpl	2,8	2,8	3,36	
8	Komponentti 8	1,00	kpl	1,1	1,1	1,32	
9	Komponentti 9	1,00	par	5,3	5,3	6,36	
10	Komponentti 10	1,00	kpl	1,3	1,3	1,56	
11	Komponentti 11	1,00	kpl	0,5	0,5	0,6	
12	Komponentti 12	1,00	kpl	1,0	1	1,2	
KOKONAISAIKA				18,8		22,6	

Työnaikatutkimuksen tarkoituksena oli kerätä aikoja yhden työntekijän työmääränä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos tietyn osan asentaminen vaatii kahden työntekijän työpanoksen, kerrotaan aika kahdella. Työnaikatutkimuksessa saatiin jokaisesta osasta vähintään yhdet tulokset ja joissakin tapauksissa jopa kolme eri tulosta. Jos kelvollisia kellotuksia saatiin useampi kuin yksi, arvioitiin tuloksista keskiarvo kuvaamaan osan asennusaikaa. Tarpeelliseksi tarkkuudeksi kellotuksissa otettiin allekirjoittaneen ja toisen kellottajan oma kokemus havaitsemaan normaalityö. Joutuisuus kerroin otettiin käyttöön oman harkinnan mukaisesti. Tapauksissa, joissa kohteen joutuisuus laski alle 0,8 suositettiin kellotuksen suorittamista mieluiten myöhemmin uudestaan, kuin otettaessa aika mukaan tuloksiin 0,8 pienemmän joutuisuus kertoimen avulla. Näin yritettiin pyrkiä mahdollisimman paikkansa pitäviin kellotus tuloksiin. Kaikkiin osakohtaisiin aikoihin lisättiin 20 % apuaikakerroin kuten taulukon 9 työaseman 6 tuloksiin. Apuaikakertoimen avulla haluttiin ottaa huomioon ylimääräinen työ, joka usein saattoi jäädä kellotuksista pois. Ylimääräinen työ sisältää esimerkiksi osien hakemista ja tavaroiden siirtelyä töiden välissä, joka saattoi helposti kyseisen tutkimuksen puitteissa jäädä huomioimatta. Apuaikakerroin ottaa myös huomioon elpymisajan, joka täytyy jäädä jokaisella työasemalla.

Työnaikatutkimusta jatkettiin matkustajalinjalla miehistölinjan tuotannon päättyessä. Matkustajalinjan tutkiminen asetti allekirjoittaneelle erilaisia haasteita miehistölinjaan verrattuna. Miehistölinjalla työskenteli pääosin kohdeyrityksen omia työntekijöitä ja kyseisellä linjalla työskentely oli kohtalaisen organisoitua. Esimerkiksi tahdin mukaisesti toimiva kokoonpano saatiin toiminaan kiitettävällä tasolla miehistölinjalla. Matkustajalinjan tuotannosta vastasi pääosin alihankkija. Kyseisen alihankkijan työntekijät ovat olleet aikaisemmissa projekteissa palkattuna urakka palkkauksella. Tämä on tarkoittanut sitä, että tekemisen pohjaksi on sovittu tietty tuotantomäärä ja sitä vastaava palkka. Tämä kannusti työntekijöitä nopeuteen omassa tekemisessään, koska urakan viemä aika oli työntekijöistä kiinni. Tutkimuksen aikaisen projektin kohdalla oli sovittu

urakka työskentelyn lopettamisesta ja tahdin mukaisesta tuotannosta myös matkustajalinjalla. Kyseinen suunnitelma ei kuitenkaan käytännössä täysin toteutunut ja tuotanto toimi matkustajalinjalla osittain urakka luonteisesti ja toisinaan tahdin mukaisesti.

Kuten edellä on mainittu, matkustajalinjan työntekijöiden työskentely tavoista paistoi edellisten projektien urakka luonne. Työskentely oli erittäin yhteen hitsautunutta, jossa jokainen työntekijä osasi oman työnsä lomassa helpottaa kanssa työskentelevien työtä pienillä eleillä. Tahdin mukaisesti toimiva linja vaatii kärsivällisyyttä, jossa työtä tehdään tahdin mukaisesti. Matkustajalinjalla työntekijöiden kärsivällisyys ei riittänyt työskentelemään tahdin mukaan, vaan omien töiden valmistuttua tai niiden lomassa saatettiin siirtyä seuraavalle työasemalle auttamaan tai jatkamaan kyseisen työaseman töitä. Tämä ei toistunut jokaisella työasemalla, mutta vaikeutti työnaikatutkimuksen suorittamista. Matkustajalinjan tuotannon lopussa otettiin poikkeuksellisesti käyttöön urakkapalkkaus, aikataulujen kiinniottamiseksi. Tämän myötä alihankkijan työntekijöiden tuottavuus nousi aivan uudelle tasolle. Projektin lopussa matkustajalinjaa ajettiin kahdessa vuorossa, joissa toisella toimi alihankkijan työntekijät ja toisella kohdeyrityksen omat työntekijät. Omien työntekijöiden työskentely oli osittain erittäin hidas tempoista. Edellä mainittujen tekijöiden vuoksi työnaikatutkimus osoittautui matkustajalinjalle erittäin haastavaksi.

Edellä mainituista haasteista huolimatta työnaikatutkimus saatiin suoritettua myös matkustajalinjalle. Matkustajalinjalla tutkimus suoritettiin parvekkeelliselle hytille, jonka tuotantomäärä on noin puolet kaikista laivan hyteistä. Toisin kuin miehistölinjan työnaikatutkimuksessa matkustajalinjan kellotukset suoritti pääosin allekirjoittanut. Tämä auttoi saamaan paremman kokonaiskuvan linjan toiminnasta ja epäselvyyksiä muodostui huomattavasti vähemmän miehistölinjaan nähden. Parvekkeelliselle hytille suoritettut kellotukset antoivat tarpeeksi hyvän kuvan myös muiden matkustajahyttien kokoonpanosta uuden linjan vaiheistuksien karkeaa suunnittelua ajatellen.

Työnaikatutkimuksen lopussa järjestettiin palaveri, jossa allekirjoittanut kävi tutkimuksen tuloksia läpi työnjohdon kanssa. Palaverin tarkoituksena oli löytää mahdollisia virheitä kellotuksien tuloksissa ja mahdollisesti huomiotta jääneitä työn osia. Palaverin aikana työnaikatutkimuksen tuloksista ei löydetty merkityksellisiä virheitä ja tulokset hyväksyttiin vaiheistuksien muodostamisen pohjaksi.

4.3 Uuden kokoonpanolinjan toteutus

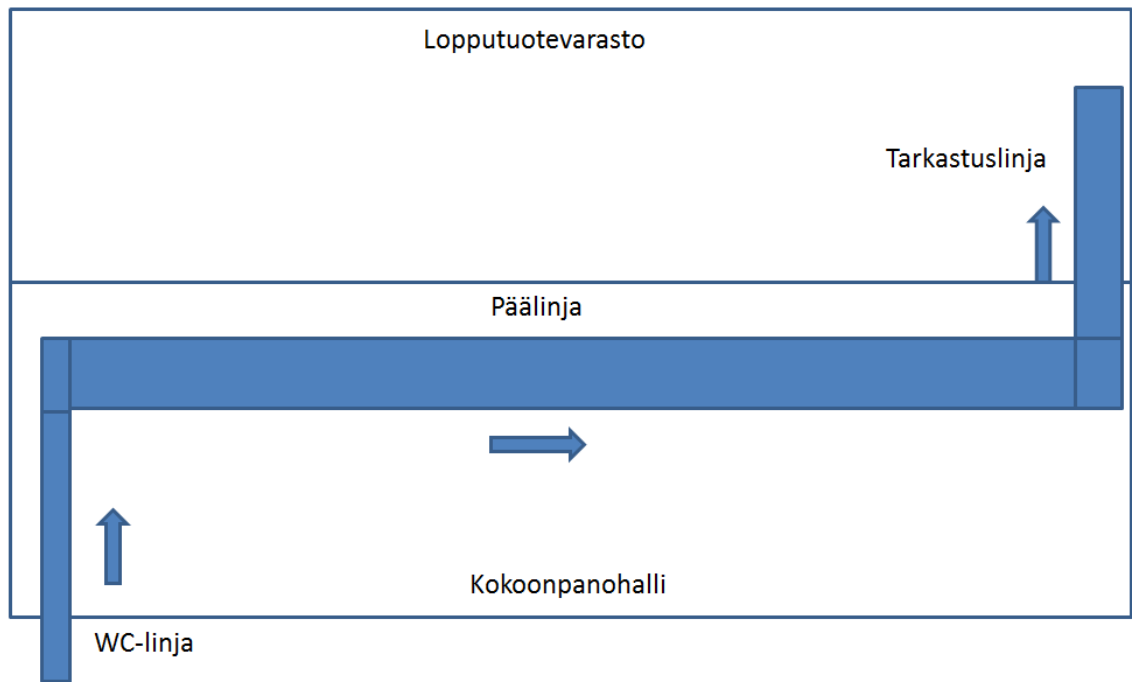
Piikkio Worksin uusi kokoonpanohalli on tarkoitus ottaa käyttöön loppuvuodesta 2017. Kyseinen rakennus pitää sisällään uuden kokoonpanolinjan jonka avulla kohdeyritys pyrkii vastaamaan tehokkaammin telakan kasvaneeseen kysyntään. Otettaessa uusi kokoonpanolinja käyttöön, muuttuu samalla koko tehtaan layout selkeämmäksi. Muutoksen myötä materiaalivarastolla ja kokoonpanohallilla on huomattavasti enemmän tilaa vanhaan verrattuna. Tämän lisäksi tehdasinvestoinnin myötä rakennetaan kohdeyrityk-

seen lopputuotevarasto 250 hytille. Vaikka lopputuotevarasto ei ole iso, on se kuitenkin edistysaskel aikaisemmasta, jossa hyttejä varastoitiin tehtaan pihalle ja vapaavarastoihin. Tulevaisuudessa tullaan edelleen jatkamaan vapaavarastojen käyttöä tarvittaessa.

Materiaalivarasto saa muutoksen myötä ison osan vanhasta tuotantohallista käyttöönsä, joka tulee helpottamaan materiaalien hallintaa ja keräilyä. Uudessa tehdasrakennuksessa on paljon tilaa kokoonpanolinjan ympärillä. Tämä mahdollistaa osan materiaalihyllyistä sijoittamisen linjan suoraan läheisyyteen. Näin ollen osa keräilyistä on mahdollista suorittaa linjan vieressä possujunan kuljettaessa materiaalivarastosta vain isoimmat tavarat. Suurentunut tila kokoonpanolinjan ympärillä mahdollistaa myös osan esivalmisteluista suorittamisen linjan vierellä kalanruotomallin mukaisesti.

Uusi kokoonpanolinja tulee koostumaan WC-, pääkokoonpano- ja tarkastuslinjasta. Koko linjalla työasemia tulee olemaan yhteensä 37 kappaletta. Kuvassa 13 on hahmotelma uuden kokoonpanolinjan rakenteesta. Kokoonpanon aloittaa WC-linja, johon kuuluu kuusi työasemaa. WC-linjalla saadaan kokoonpantua melkein valmis kylpyhuonemuoduuli. Ennen WC-linjaa on välivarasto, jossa on paikat 5-6 WC:n pohjaelementille. Välivarasto on oma linjansa, josta pohja siirtyy palo-oven läpi WC-linjalle. Välivaraston idea on, että työntekijä täyttää linjan WC:n pohjaelementeillä ja voi tämän jälkeen siirtyä suorittamaan muita tehtäviä. Työntekijällä on 5-6 tahtia aikaa muille tehtäville kunnes hän täyttää välivaraston uudestaan. WC-linjan jälkeen kylpyhuonemuoduuli siirtyy pääkokoonpanolinjalle. Pääkokoonpanolinjalla on työasemia yhteensä 27 kappaletta ja se on pituudeltaan 120 metriä pitkä. Näin ollen uusi linja tulee olemaan huomattavasti isompi kuin nykyiset miehistö- ja matkustajalinja. Päälinjan jälkeen valmis hyttimuoduuli siirtyy tarkastuslinjalle, jossa tehdään vesiputkiston painetestit, tarkistetaan hanojen toimivuus ja suoritetaan lopputarkastus.

Tarkastuslinjan lisäksi pääkokoonpanolinjalla tulee olemaan kaksi tarkastusasemaa. Niiden avulla on mahdollista havaita virheelliset hytit jo kokoonpanon aikana ja suorittaa tarvittavia korjauksia ennen hytin poistumista linjalta. Työasemien kasvanut lukumäärä vanhaan tuotantoon verrattuna, antaa mahdollisuuden työn pilkkomiseen pienempiin kokonaisuuksiin ja tuo erilaisia mahdollisuuksia vaiheistuksen suunnitteluun.



Kuva 13. Uuden kokoonpanolinjan rakenne

Uuden linjan tarkempi tasapainotus tullaan suorittamaan tuotannon testauksen aikana. Tämä tutkimuksen aikana suoritettu työnaikatutkimus mahdollisti hyvän karkean suunnitelman tekemisen, jota voidaan tarkentaa tuotannon ylösajon aikana.

4.4 Vaiheistuksien ja tasapainotuksen suunnittelu

Uuden linjan vaiheistukselle antoi reunaehdot työasemien annettu lukumäärä ja säädetty tahtiaika. Baudin (2002) mukaan tahtiajan mukaisesti liikkuvalla kokoonpanolinjalla kaikki työasemat näkevät tuotteen yhtä suuren ajan ja täten työn tasaaminen työasemien välillä perustuu tämän ajan mahdollisimman tehokkaaseen hyödyntämiseen. Thomopoulos, (1970) mukaan yleinen periaate sekamallilinjan tasapainotuksessa perustuu työkuorman tasaiseen jakamiseen jokaiselle työasemalle päivä/vuorokohtaisesti. Näin ollen uuden linjan vaiheistuksen suunnittelu alkoi työasemien täyttämisellä vaadittavalla työllä edellä mainittujen ohjeiden mukaisesti.

Uuden linjan vaiheistuksen ja tasapainotuksen rakenne:

- Operaatioiden sijoittaminen työasemille
 - Tahtiaika rajoite
 - Etusijarajoitteet
 - Rakenteelliset rajoitteet
- Vaiheistuksien tasapainotus (vertikaalinen tasapainotus)
 - Ylikuormitusten ja liiallisen joutoajan välttäminen
- Vaiheistuksien yhtenäistäminen (horisontaalinen tasapainotus)
 - Samankaltainen työ samoilla työasemilla

- Työasemien työmäärän yhtenäistäminen eri mallien välillä
- Työmenetelmä muutokset

Vaiheistuksien suunnittelu alkoi työasemien täyttämällä operaatioilla joille oli määritetty aika nykytuotannon työnaikatutkimuksessa. Työaseman kokonaistyömäärä muodostui operaatioiden summana. Operaatioiden sijoittamisessa työasemille otettiin huomioon 18 minuutin tahtiajan täyttyminen. Jakamalla muodostunut työaseman työmäärä tahtiajalla saatiin selville tarvittava henkilömäärä. Tässä tutkimuksessa uuden linjan vaiheistus tehtiin miehistöhyttien osalta EE1, 3.1, 3.2 ja EE2-S (combi) hyteille. Tarkkuudeltaan karkein vaiheistus tehtiin Combi-hyttille. Combi-hytin kokoonpanosta ei saatu työnaikatutkimus tietoa, vaan vaiheistus muodostettiin EE1 ja 3.1 hyttien kello-
tuksien sekä allekirjoittaneen ja työnjohdon tuntuman perusteella. Combi-hytin työmäärä on selvästi isompi kuin normaalin miehistöhyttin, joten uudet selvitetty työmäärät antoivat ymmärtää sen olevan työläin uudella linjalla valmistettava hytti. Täten tuotannon testauksen miehityksessä otettiin huomioon Combi-hytin suurempi miehitys tarve. Matkustajahyteistä vaiheistus tehtiin ikkunalliselle ja parvekkeelliselle hyttille. Edellä mainittujen hyttien vaiheistukset tehtiin ennen tuotannon testauksen aloitusta, koska hytit aloittaisivat tuotannon testauksen. Kohdeyrityksen kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta päätettiin IS- ja EE2-hytin vaiheistukset muodostaa testauksen aikana ennen niiden tuotannon aloitusta. Näin ensimmäisten hyttien testauksen aikana opittuja asioita voidaan hyödyntää kyseisiä vaiheistuksia muodostaessa.

Osien sijoittamisessa uuden linjan työasemille otettiin huomioon myös havaitut etusijajaoitteet osien asennuksessa. Esimerkiksi osan huonekaluista asennus vaatii jonkin toisen huonekalun olemista jo paikoillaan. Edellä mainitussa tilanteessa kyse voi olla huonekalujen toisilleen antamasta tuesta tai asennusta helpottavan sapluunan tukeutumisen ta edeltä asennettuun huonekaluun. Osien sijoittamisessa täytyi myös ottaa huomioon hyttin rakenteelliset ominaisuudet. Rakenteelliset ominaisuudet vaikuttivat varsinkin matkustajahytin asennuksiin. Matkustajahytissä kylpyhuoneella ei ole erillistä kattoa, joten kylpyhuone-moduulin seinien kantavuus oli otettava huomioon ennen hyttin rungon ja katon asennusta.

Työasemien tasapainotus mukailee alaluvussa 2.5 esitettyä SALBP-F mallia. Kyseisissä mallissa tahtiaika ja työasemien lukumäärä on annettu. Tavoitteena vaiheistuksen muodostamisessa on saada mahdollisimman tasainen työkuorma jokaiselle työasemalle. Toisin kuin alaluvun 2.6.1 esimerkissä työasemien tasapainoa ei tarkasteltu tässä tutkimuksessa prosentuaalisten kuormien avulla. Tähän vaikutti työnaikatutkimuksen karkeus. Näin ollen työasemien tasapainoa tutkittiin vain vaaditun pyöristämättömän työntekijämäärän avulla ja tutkijan oman kokemuksen perusteella. Työmääriä tasapainotettiin sijoittamalla asennus töitä niin, että jokaisen työaseman vaatima työntekijämäärä olisi mahdollisimman lähellä seuraavaa kokonaislukua kuitenkin ottamalla huomioon osan työasemista raskaampi työ. Esimerkiksi hyttin kalustus ja pystytys työasemilla työ vaatii työntekijöiltä osittain painavien osien nostelua. Uudella linjalla kyseiset työasemat ha-

luttiin muodostaa niin, että työntekijöille muodostuva elpymisaika on suhteutettuna työn aiheuttamaan kuormitukseen.

Nykytuotannossa samanaikaista työtä oli hyödynnetty, mutta ei tarvittavalla tehokkuudella. Samanaikainen työ tarkoittaa hytin eripuolilla tapahtuvaa työtä, jossa hyttiä rakennetaan sisältä ja ulkoa samanaikaisesti. Uuden linjan vaiheistuksessa haluttiin samanaikaista työtä hyödyntää mahdollisimman paljon. Samanaikainen työ lisää tuotantolinjan tehokkuutta, mutta sen suunnittelussa täytyy välttää työaseman ruuhkautuminen. Ruuhkautumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa työasemalla työskentelevät työntekijät saattavat asettua toistensa tielle häiriten työnkulkua. Samanaikaisen työn suunnittelussa täytyi ottaa huomioon myös tarvittavan materiaalin määrä. Toisin sanoen jos jollakin työasemalla samanaikainen työ aiheuttaa suuren materiaalitarpeen voi aiheutua tilanne jossa yhdelle työasemalla täytyy keräillä liikaa materiaalia. Liiallinen määrä materiaalia voi hankaloittaa osien hakemista ja yleistä liikkumista.

Nykyisillä tuotantolinjoilla sähkötyöt ovat aikaa vievin osa kokoonpanoa. Uudella linjalla sähkötöiden aiheuttamaa työkuormaa yritettiin aluksi purkaa levittämällä sähkötöitä pitkin linjaa. Esimerkiksi samanaikaisesti kalusteita asentavan työntekijän työskennellessä hytin sisällä ajateltiin sähkötyöntekijän pystyvän suorittamaan kaapeleiden kiinnitystä hytin katolla ja seinillä. Edellä mainittu osoittautui kuitenkin hankalaksi, koska katolla ja seinillä tapahtuvaan kaapeleiden kiinnitykseen sisältyy porausta. Poraus saa aikaan suuren metelin hytin sisällä ja aiheuttaa täten epämukavat työolosuhteet kalustajille. Näin ollen sähkötyöt päätettiin lopulta toteuttaa melko samalla tavalla kuin nykytuotannon aikana kuitenkin hyödyntämällä samanaikaista työtä mahdollisimman paljon. Esimerkiksi uudella linjalla otetaan käyttöön ratkaisu, jossa sähkökeskuksen kytkeminen aloitetaan jo toiseksi viimeisellä kalustusasemalla. Yksittäisen hytin isoin kytkentätyö kohdistuu juuri sähkökeskuksen kytkemiseen. Sähkökeskuksen avulla hytti liitetään laivan sähköverkkoon ja keskuksen kautta toimivat kaikki hytin sähkötoiminnot. Näin ollen edellä mainitun ratkaisun avulla sähkökeskus saadaan kytkettyä ja kaapelit aseteltua valmiiksi hytin katolle ennen muiden sähkötöiden aloitusta.

Muodostettujen vaiheistuksien yhtenäistämässä tähdättiin samankaltaisen työn tekemiseen samoilla työasemilla. Uuden linjan vaiheistuksen rakentamisessa ei haluttu pelkästään kopioida vanhaa linjaa uudelle. Näin ollen uudelle linjalle kehiteltiin uusia ratkaisuja, jotka toisivat eri hyttien kokoonpanon lähemmäksi toisiaan ja joiden avulla uuden linjan tehokkuutta saataisiin lisättyä vanhaan tuotantoon nähden. Suurin muutos työmenetelmissä koski väliaikaisen katon kokeilua matkustajahyttien kylpyhuonemo-duuleihin. Tämä muutos mahdollistaisi kylpyhuoneen silikoonauksen ja raskaamman varustelun jo WC-linjalla. Väliaikaisen katon poisto on tarkoitus suorittaa hytin pystytyksen jälkeen ennen hytin katon asennusta. Edellä mainitun ratkaisun myötä on mahdollista yhtenäistää WC-linjan työasemien työt, sekä miehistö- ja matkustajahyttien osalta.

Eri vaiheistuksien vaatima työasemien miehitys pyrittiin muokkaamaan mahdollisimman paljon toisiaan vastaavaksi. Tähän päästiin työmääriä muokkaamalla. Tilanteessa jossa tietyn mallin toimesta aiheutuu korkein miehitys jollakin työasemalla, lisättiin myös muissa vaiheistuksissa työtä kyseiselle työasemalle. Näin ainakin teoriassa miehitys eroja saatiin tyydyttävällä tasolla tasapainotettua. Edellä mainitussa tilanteessa työtä ei välttämättä voinut ottaa pois vain yhdeltä työasemalta, jotta kyseisen työaseman miehitys ei laskisi liian alhaiseksi, aiheuttaen jälleen epätasapainon mallien välisessä miehityksessä. Eri mallien vaatiman miehityksen tasaaminen työasemilla parantaa linjan tehokkuutta, koska epätasapainosta mahdollisesti aiheutuvaa joutoaikaa saadaan vähennettyä. Toisin sanoen jos jokaisen työaseman miehitys täytettäisiin vain kyseisen vaiheistuksen vaatimusten mukaan ilman tasapainotusta, saattaisi sekamallilinjan tapauksessa aiheutua ajoittaisia ylimiehitys tilanteita. Ylimiehitys tilanteita voidaan purkaa määrittelemällä työntekijöille työaseman vaihtoja täyttämään eroja eri mallien miehityksissä. Kyseinen ratkaisu vaatisi tarkat tiedot kaikkien tuotettavien hyttimallien työmääristä, jo toimivat vaiheistus suunnitelmat ja tarkkaan suunnitellut tuotantosekvenssit. Tämän opinnäytetyön aikana ei kuitenkaan ollut mahdollista muodostaa näin laajaa tutkimusta. Miehityksien tasaamiseen ei menty tässä tutkimuksessa tämän syvemmälle, koska luotujen vaiheistuksien katsottiin sisältävän harmaita alueita joiden käyttäytymisen ja kuormitus selviäisivät vasta testauksen aikana. Isoin harmaa alue koski sähköitä kokonaisuutena. Näin ollen vasta tuotannon testauksen katsottiin antavan eri hyttimallien vaativan oikean miehitystarpeen työasemilla. Tästä huolimatta ennakkosuunnittelun katsottiin tässäkin tapauksessa olevan tärkeä ja miehitys eroja tasapainotettiin mahdollisimman paljon.

Tämän alaluvun alussa esille tuodun vaiheistuksien suunnittelupohjan eri vaiheita täytyi pohtia samanaikaisesti. Näin ollen vaiheistuksien ensimmäisten versioiden muodostaminen kesti yllättävän kauan. Kyseisenä aikana vaiheistukset muuttuivat melkein joka päivä allekirjoittaneen toimesta. Vaiheistuksien muodostamisen isoin haaste oli ongelman monimutkaisuus. Vaiheistuksessa huomioon otettavien asioiden suuri määrä vaikeutti oikean suunnan löytämistä. Apua oikean suunnan löytämiseen antoivat työnjohto, jotka kertoivat rehellisen palautteen allekirjoittaneen ideoista ja toivat samalla esille omia näkemyksiään. Edellä mainittuja ohjenuoria noudattaen syntyivät vaiheistuksien ensimmäiset versiot.

Taulukko 10. Matkustajahytin vaiheistuksen työasemien 4 ja 5 sisältö 18 minuutin tahtiajalla

Työasema	Tahtiaika (min)	
Tahti 4 Silikooni, vesipuket ja IV	18,00	Asennusaika (min)
WC työ 1		18,0
WC komponentti 1		4,90
WC komponentti 2		1,10
WC komponentti 3		0,80
WC komponentti 4		0,60
WC komponentti 5		3,00
WC komponentti 6		4,80
Työmäärä yhteensä		33,2
Kuormitus (työmäärä/tahtiaika)		1,84
Henkilömäärä		2
Työasema	Tahtiaika (min)	
Tahti 5 Vesiputket	18,00	Asennusaika (min)
WC komponentti 7		1,60
WC komponentti 8		2,20
WC komponentti 9		3,00
WC komponentti 10		1,70
WC komponentti 11		1,50
WC komponentti 12		5,10
WC komponentti 13		1,80
Työmäärä yhteensä		16,9
Kuormitus (työmäärä/tahtiaika)		0,94
Henkilömäärä		1

Vaiheistuksien ensimmäisten versioiden muodostumisen jälkeen järjestettiin työnjohdon kanssa erilliset palaverit matkustaja ja miehistöhyttien vaiheistuksien läpikäyntiin. Käyttyjen keskustelujen pohjalta muodostuivat lopulliset vaiheistukset, jotka on tarkoitus ottaa käyttöön tuotannon testaukseen. Palavereissa keskusteltiin mahdollisista ongelmista ja muutoksista, joita tuotannon testaus saattaa tuoda ilmi. Samalla hyväksyttiin tilanne, että vasta testauksen aikana saadaan varmuus vaiheistuksien toimivuudesta.

Syntyneiden vaiheistuksien muodostamista varjosti epävarmuus kellotuksien paikkansapitävyydestä. Työnjohdon kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta päädyttiin vaiheistuksien määrittämisessä hyväksyä osan työasemista mahdollinen liian suuri työkuorma. Liian vaativaan työmäärään päätyminen kevyemmän sijasta vaikutti työntekijöiden historia ja mahdollinen muutosvastarinta. Tuotannon testauksessa vaiheistus tulee elämään ja työmääriä voidaan pienentää tarvittaessa sijoittamalla töitä uudestaan. Työaseman

työkuorman vähentäminen tulee olemaan huomattavasti helpompaa kuin sen lisääminen. Tutkimuksen aikana käynnissä olevan tuotannon aikana työntekijät ovat tottuneet tekemään töitä poikkeuksellisissa olosuhteissa, jonka johdosta joutoaikaa on jäänyt monelle työasemalle liikaa. Uudella linjalla samanlaiselta tilanteelta halutaan välttyä heti tuotannon alusta lähtien.

4.5 Tuotannon sekvensointi

Alun perin oli tarkoituksena kokoonpanna hyttejä uudella linjalla sekamallilinjan mukaisesti, jossa tuotanto sekvenssissä on eriyttämälle samanaikaisesti linjalla. Ennen uusien työmäärien selvityksen valmistumista, tiheästi hyttimallia vaihtavan sekvenssin suurimmaksi ongelmaksi ajateltiin ylimääräisten resurssien vapauttaminen linjalta. Tämä perustuu ajateltuun matkustajahyttien huomattavasti suurempaan työmäärään miehistöhytteihin verrattuna. Alkuperäisillä työmäärillä ero olisi ollut 120 hytin viikoittaisella tuotantomäärällä 39 työntekijää. Tästä ongelmasta huolimatta sekamallilinjan toimintaa uudella linjalla yritettiin hahmotella.

Edellä mainittuun ongelmaan yritettiin löytää ratkaisu hyödyntämällä keskiarvollaista tahtiaikaa. Tutkimuksen alussa sekamallilinjan toimivuutta pohdittiin seuraavanlaisella tuotanto sekvenssillä: 1. miehistö 2. miehistö 3. matkustaja – 1. miehistö 2. miehistö 3. matkustaja - jne. Edellä mainitun sekvenssin avulla ajateltiin olevan kykeneväisiä järkevästi vastaamaan hyttien nostoaikatauluihin ja samanaikaisesti tasaamaan työasemien työmääriä. Kyseisessä sekvenssissä oli ajatuksena hallita matkustajahytin suurempaa työmäärä tahdin ylityksillä. Tahdin ylityksien suunniteltiin tasaantuvan sitä seuranneiden pienemmän työmäärän omaavien hyttien toimesta. Näin ollen kolmen hytin sekvenssin keskiarvoinen työmäärä olisi jokaisella työasemalla alle tahtiajan. Työläimmän hytin tahtien ylitys johtuisi siitä, että linjan miehitys tulisi muodostamaan kyseisten hyttien vaatiman miehitysmäärien keskiarvon mukaan. Näin mahdollistuu myös pienemmän työmäärän hyttien tahdin alitus ja kiinniotto. Pian havaittiin, että kyseinen ratkaisu ei toimi käytännössä, kokoonpanolinjan jatkuvasta liikkeestä johtuen. Linjan jatkuva liike aiheuttaa tahdin ylimenevän hytin ”karkaamisen” linjalta. Karkaaminen tarkoittaa työläimmän hytin olemista aina enemmän myöhässä seuraavalta työasemalta.

Tutkimuksen edetessä kohdeyrityksessä ruvettiin harkitsemaan uutta tuotantosuunnitelmaa, jossa samoja hyttejä tuotettaisiin suurempi määrä kerralla. Kyseinen ratkaisu helpottaisi uuden linjan käyttöä ja ensimmäisen projektin läpivientiä. Eri hyttimallien kokoonpano erissä kasvattaisi lopputuotevarastoa, mutta vapaavarastojen käytettävyyden vuoksi se ei aiheuttaisi ongelmia. Vapaavarastojen käyttö ei ole yhtä kohdeyrityksen tavoitetilan kanssa, mutta uuden linjan ensimmäisen projektin läpiviemiseksi sen katsottiin olevan hyväksyttävää. Lopulta käytettävää tuotantosuunnitelmaa ei lyöty loppuun tämän tutkimuksen aikana.

Suoritetun työnaikatutkimuksen avulla saatu uusi tieto hyttien työmääristä vähensi sekamallilinjan käytöstä aiheutuvia ongelmia. Työnaikatutkimus lähensi miehistö- ja matkustajahyttien työmääriä melkein samaan ja karkeiden vaiheistuksien miehitys eroksi syntyi vain kolme työntekijää. Tuotannon suunnittelun kanssa käytyjen keskustelun tuloksena päädyttiin tuotannon testaus toteuttaa sekamallilinjalla. Testauksen aikana selviäisi projektin lopullinen tuotantosuunnitelma.

Uudella linjalla ei kokoonpanna kohdeyrityksen kaikkia hyttimalleja. Erikoishyttejä ja JS-hyttejä on seuraavaan projektiin tulossa yhteensä noin 120 kappaletta. Kyseiset hytit tullaan kokoonpanemaan toisella linjalla, joka rakennetaan vanhaan tuotantohalliin. Erikoishytit ja JS-hytit ovat työmäärältään huomattavasti isompia muihin hytteihin verrattuna. Täten niiden mukaan ottaminen uudella linjalle ei tullut kyseeseen työmäärän ja työnkulun suuresta poikkeavuudesta johtuen. Rother & Harris (2001) mukaan samalla liukuhinnalla liikkuvat tuotteet eivät saisi vaihdella työsisällön kestoltaan enemmän kuin 30 prosenttia. Isompi poikkeavuus voi johtaa ongelmiin tuotannon virtauksen luomisessa ja tuottavuudessa. Tulevaisuudessa lisätutkimusten myötä voi olla mahdollista kaikkien hyttien kokoonpaneminen yhdellä linjalla. Kohdeyrityksen tilanteessa pääasiallinen sekvensointi menetelmä tulee olemaan sekamallilinjasekvensointi, jossa määriteltä sekvenssi ottaa huomioon työasemien vaiheajat, työntekijöiden liikkeet ja työalueet.

4.6 Uuden kokoonpanolinjan tuotannon testaus

Uuden linjan tuotanto alkaa testauksella, joka aloitetaan loppuvuodesta 2017. Tuotannon testaus vaiheessa kokoonpannaan viiden viikon aikana noin 60 hyttiä. Tarkoituksena on mahdollistaa työnjohdon, kokoonpanon työntekijöiden, logistiikan ja tuotannon suunnittelun harjoittelu ja tuntuman saaminen. Testauksen aikana tuotanto pyörii 18 minuutin tahtiajalla puolet päivästä. Loput päivästä arvioidaan ja suoritetaan tarvittaessa muutoksia. Testauksessa joka toinen tahti on tyhjä, joten linjan miehityksen tarvitsee olla vain noin puolet normaalista miehityksestä. Testauksessa yhden aseman työntekijä tai työntekijät suorittavat kahden tahdin työt. Testauksessa työasemat tullaan miehittämään suurimman miehityksen mukaisesti. Toisin sanoen työaseman miehitys on muodostettujen vaiheistuksien suurimman tarpeen mukainen. Tämä tarkoittaa sitä, että työasemilla on aina vähintään tarvittava määrä työntekijöitä. Miehitys ratkaisun vuoksi muodostuu osalle työasemista tilanne, jossa työasemalla on osittain liikaa työntekijöitä vaadittavaan työmäärään nähden. Tämä tilanne kuitenkin katsottiin hyväksi vallitsevien epävarmuuksien johdosta.

Oikea tuotanto alkaa Tammikuussa 2018. Testaus antaa paljon arvokasta tietoa projektin tuotannon oikeaan aloitukseen. Sen aikana kokeillaan eri hyttien kokoonpanoa ja viimeistellään tämän tutkimuksen aikana syntyneet vaiheistukset. Testauksen aikana saadaan lopullinen lausunto uusien menetelmien toimivuudesta, kuten matkustajahytin kylpyhuonemoduulin väliaikaisen katon tuomasta hyödyistä. Samalla saadaan lopullinen

päätös projektin aikana tarvittavasta työntekijämäärästä. Testauksen aikana on tarkoitus luoda työohjeita ja määritellä työasemien kouluttajat. Näin halutaan varmistaa, että uuden linjan tuotanto saadaan tehokkaasti käyntiin. Tarkoituksena on, että uudella linjalla kaikki työntekijät oppivat työvastuunsa mahdollisimman nopeasti. Näin ollen koulutuksen täytyy tapahtua tehokkaasti.

4.6.1 Tuotannon käynnistämisen haasteet ihmisenäkökulmasta

Kohdeyrityksen tilanne on haasteellinen ottaen huomioon toimintaan aiheutuvan muutoksen laajuus. Uuden kokoonpanolinjan käyttöönotto on haasteellinen jo pelkästään linjan tarkoituksen mukaisen toiminnan ja kokoonpanolinjan vaiheistuksien toimivuuden kannalta. Tämän lisäksi, kun kohdeyrityksessä otetaan samanaikaisesti käyttöön uusi toiminnanohjausjärjestelmä, on itsestään selvää, että tuotannon ylösajon aikana tullaan kohtaamaan monia ongelmia. Vaikka monet tiedostaisivat ongelmien todennäköisen ilmaantumisen, voi niiden haitallinen vaikutus kasvaa, jos niiden käsittelyyn ei varauduta riittävästi.

Muutosta johtavien toimihenkilöiden kohdalla tulee tärkeäksi tekijäksi kärsivällisyys. Kommunikaatio ketju kulkee ylemmän johdon kautta työnjohdolle ja heiltä linjan työntekijöille. Ylemmän johdon on jaettava tarvittava määrä tietoa työnjohtajille jotta he kykenevät välittämään tietoa työntekijöille ja vastaamaan heidän kysymyksiin. Työntekijöiden kärsivällisyys syntyy riittävän kommunikoinnin myötä. Tieto siitä, miksi jokin ongelma on syntynyt ja kuinka ongelmaan ollaan puuttumassa, poistaa epätietoisuuden tunnetta työntekijöiden keskuudessa. Edellä mainittujen lisäksi tavoitetilan kommunikointi on tärkeää aika ajoin, jotta mahdollisten ongelmien johdosta oikea suunta ei unohtuisi. Muutosvastarinnan vähentämiseksi ja työntekijöiden luottamuksen säilyttämiseksi on välttämätöntä ottaa käyttöön säännölliset tiedotus tilaisuudet, joissa työntekijöille kerrotaan ylösajon tilanne ja mahdollisten ongelmien ratkaisujen eteneminen. Työntekijöiden mieleen saattaa myös syntyä monia parannusehdotuksia ylösajon etenemisen aikana. Työntekijöiden mielipiteiden kerääminen on tärkeää, koska lattiatasolla tapahtuvan kokoonpanotyön tuntevat parhaiten työn suorittavat työntekijät. Näin ollen työnjohtajien on tärkeää kerätä parannusehdotuksia työntekijöiltä ja arvioida ehdotukset asianmukaisesti. Vuorovaikutuksen ylläpitäminen ylemmän johdon, työnjohdon ja työntekijöiden välillä on erittäin tärkeää varsinkin suurien muutoksien aikana.

Työntekijöiden kohtaama uusi tuotannollinen toimintaympäristö, jossa jatkuvassa liikkeessä olevalle linjalla rakennetaan hyttejä 18 minuutin tahtiajan mukaan, saattaa aiheuttaa monelle ongelmia sopeutumisessa. Suurin muutos aiheutuu joutoajan poistumisesta. Aikaisemman projektin aikana suoritettu työnaikatutkimus osoitti osan työasemista sisältävän joutoaikaa. Tämän opinnäytetyön seurauksena syntyneiden vaiheistuksien tavoitteena oli työasemilla mahdollisesti ilmenevän joutoajan minimointi ja työn tasa-painottaminen työasemien välillä. Vaikka joutoajan minimointi on itsestään selvää tuo-

tannollisessa ympäristössä, saattaa sen poistuminen aiheuttaa negatiivista ilmapiiriä vanhaan tuotanto tapaan tottuneiden työntekijöiden keskuudessa.

5. TULOKSET

Tämän diplomityön avulla saavutetut tulokset todistivat nykytuotannon tarkemman tutkimuksen tärkeyden. Työnaikatutkimus auttoi tarkentamaan hyttien kokoonpanosta aiheutuvia oikeita asennusaikoja ja luomaan pohjan, jonka avulla uuden linjan karkeat vaiheistukset oli mahdollista muodostaa. Karkeasti tasapainotetuissa vaiheistuksissa matkustajahytin kokonaistyömäärä putosi noin 45 % aikaisemmin arvioidusta. Normaalin miehistöhytin kokonaistyömäärä putosi melkein 25 %, pois lukien Combi-hytti, jonka kokoonpanosta ei saatu riittävää informaatiota. Saadut tulokset tuovat ilmi kokoonpanon kehityspotentiaalin, vaikka työnaikatutkimuksen tarkkuudessa oli puutteita.

Nykytuotannon tutkimisen myötä syntynyt kokonaiskuva eri hyttien rakennusprosessista auttoi allekirjoittanutta uuden linjan suunnittelussa jakamaan työtä tehokkaammin pitkin linjaa. Työnaikatutkimus mahdollisti havaitsemaan nykytuotannossa ilmennyttä ylimääräistä joutoaikaa ja tasoittamaan eri työasemien työkuormia uudelle linjalle.

Vaikka työnaikatutkimus saatiin suoritettua tyydyttävällä tasolla, on sen pohjalta luotujen vaiheistuksien toimivuudessa vielä harmaita alueita. Uuden linjan tuotannon testaus tulee paljastamaan ennakkosuunnittelun toimivuuden uudessa ympäristössä. Vaiheistuksien karkeat tasapainotukset tullaan hienosäätämään testauksen ja koko seuraavan projektin aikana.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA UUDEN LINJAN JATKUVA PARANTAMINEN

Lean ajattelu nousee erittäin suureen arvoon linjamaisessa kokoonpanossa. Linjamainen kokoonpano on virheherkkä, eli virheen sattuessa tietyllä työasemalla, saattaa koko linjan tuotanto olla vaarassa pysähtyä. Otettaessa uusi kokoonpanolinja käyttöön on epätoiminnaköistä, että linja toimisi heti täydellisesti. Täten linjan kehitystyön on jatkuttava aktiivisena käyttöönoton jälkeenkin. Tärkeinä työkaluina uuden linjan käyttöönotossa ja tulevaisuuden kehitystyössä ovat vaiheistuksien tarkentamisen lisäksi jatkuvan parantamisen kulttuuri sekä ”5 kertaa miksi” - työkalu osaksi jokaisen ongelman selvitystä.

Tämän tutkimuksen aikana muodostetut karkeat vaiheistukset antavat otollisen pohjan jatkuvalla kehitystyölle. Nykytuotantoa vaivanneen epätasapainon johdosta, monien tuotantoa parantavien toimien aikaansaama tehokkuuden lisäys, esimerkiksi tehokkaampien työmenetelmien tai uusien esivalmistelujen myötä, olisi saattanut kokonaisvaikutukseltaan jäädä pieneksi. Uudella linjalla tasapainotuksen myötä pienienkin parannusten tuoma tehokkuuden kasvu näkyy ja saattaa luoda tarpeen uudelle tasapainotukselle. Näin ollen tuotannon aloituksesta lähtien on ensiarvoisen tärkeää etsiä aktiivisesti parempia käytäntöjä ja poistaa hukkaa kokoonpanoprosessista, jotta uuden linjan koko potentiaali saadaan hyödynnettyä.

Uuden linjan jatkuva kehitys on jaettu tässä tutkimuksessa kolmeen osaan:

- Tuotannon kehittäminen
- Suunnittelun ja tuotannon kommunikointi
- Logistiikan kehittäminen

Kohdeyrityksen tuotannollinen kehityspotentiaali on erittäin suuri. Tässä luvussa tuodaan esille mahdollisia parannusehdotuksia, joita on syytä tutkia ja arvioida ennen uuden linjan tuotannon aloitusta sekä sen aikana. Osaa parannusehdotuksista vietiin eteenpäin jo tämän opinnäyte työn aikana. Uuden linjan tuotannon aloittavaan projektiin on vaikea vaikuttaa. Tästä johtuen suurin osa parannusehdotuksista jää myöhempiä projekteja koskevaksi.

6.1 Tuotannon kehitys

Tutkimuksen aikana suoritetun työaikatutkimuksen, sekä tuotannon ylemmän johdon, työnjohdon ja työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta nousi esille useita

kehityskohteita, jotka lisääisivät tuotannon tehokkuutta. Tässä aliluvussa tuodaan esille, mitä kehityskohteita nousi esille ja kuinka osaa kehitysideoista vietiin eteenpäin.

6.1.1 Kokoonpantavuus ja työtapojen menetelmäkehitys

Kohdeyrityksen kokoonpanosta suurin osa työstä muodostuu kiinnittämisestä toisin sanoen ruuvien ruuvaamisesta. Paneelit ruuvataan alaputkiin ja tukilevyt, listat ja kalusteet ruuvataan kiinni paneeleihin tai toisiin komponentteihin. Näin ollen pienikin parannus ruuvauksen nopeuttamisessa parantaa merkittävästi koko kokoonpanolinjan tehokkuutta. Yhtenä ruuvausta parantavana ratkaisuna toimisi komponenteista löytyvät valmiit reiät. Ruuvauksessa ruuvi usein hakee porausta, joka välillä johtaa ruuvin lipeämiseen. Ruuvien lipeämisen toistuvuus on selkeästi havaittavissa kokoonpanoa harjoittelevilla työntekijöillä. Sama ongelma kuitenkin toistuu jossakin määrin myös kokeneimmilla työntekijöillä. Osassa komponenteista ruuvaus muodostuu hankalaksi komponentin kovuudesta johtuen. Näin ollen edellä mainitussa tilanteessa toimittajan puolesta valmiiksi poratut reiät lisäävät selvästi kokoonpanotyön tehokkuutta.

Tämän tutkimuksen aikana suunnittelun kanssa käydyn palaverin yhteydessä nousi yhdeksi keskustelun aiheeksi esivalmistellut reiät. Palaverin aikana saatiin sovittua useista komponenttimuutoksista, jotka koskivat valmiita reikiä. Tavoitteena oli saada kyseiset komponenttimuutokset valmiiksi jo uuden linjan tuotantoon. Komponentteja, joihin olisi mahdollista pyytää toimittajan puolesta valmiita reikiä, on useita. Hyttien kulmalistat, saumalistat monet tukilevyt ovat esimerkkejä komponenteista, joihin valmiit reiät voivat poistaa jopa kolmanneksen asennusajasta.

Toinen kehityskohde koskee parhaiden menetelmien ja niiden vakioinnin lisäämistä. Nykytuotannossa eri työntekijät suorittavat saman työn eri tavoilla. Osa työntekijöistä on löytänyt tehokkaimman tavan työn suorittamiseksi, mutta muut työntekijät eivät ole asiasta tietoisia. Nykytuotannossa edellä mainittu tilanne esiintyi esimerkiksi kylpyhuoneen pystytyksessä ja peilin asennuksessa. Kylpyhuoneen paneelien ruuvaus lattiaelementtiin on aikaa vievä työvaihe, koska ruuvit porautuvat huonosti kovaan lattiaelementtiin. Alihankkijan työntekijät ovat pyrkineet aktiivisesti tehostamaan työvaiheita jo edellisissä projekteissa urakan kannustamina. Edellä mainittua työvaihetta nopeuttaakseen he aluksi poraavat reiät läpi paneelista lattiaelementtiin. Poraajaa seuraa toinen työntekijä, joka ruuvaa paneelin kiinni. Kohdeyrityksen omat työntekijät eivät käyttäneet kyseistä menetelmää. Peilien asennuksessa kohdeyrityksen oma työntekijä levitti liiman peiliin 20 senttimetrin välein paksuina täplinä. Kyseinen ratkaisu pitää tiukasti peilin paikoillaan, mutta lähestyy jo ylikäsittelyn rajaa, joka on nimettyä alaluvussa 2.3 yhdeksi hukan lähteeksi. Näin ollen kokoonpanotyötä on tärkeää tutkia ja valvoa, jotta löydetään parhaimmat käytännöt jokaisella työasemalla. Parhaista käytännöistä täytyy tehdä normi, jotta kaikki suorittavat työn samalla tavalla, minimoiden vaihtelun kokoonpanossa.

6.1.2 Esivalmistelu mahdollisuudet

Tässä tutkimuksessa mahdollisia käyttökohteita esivalmisteluiden hyödyntämiseen etsittiin haastatteleamalla tuotannon työntekijöitä ja esimiehiä. Haastatteluista kävi ilmi, että esivalmisteita on hyödynnetty, mutta niiden määrää olisi vielä mahdollista kasvattaa. Esivalmisteita on tähän asti käytetty, sekä pienen ylimääräisen käsittelyn, että isompien kokonaisuuksien poistamiseen päälinjan työkuormasta. Pientä ylimääräistä käsittelyä on ennen aiheuttanut esimerkiksi piikkipellin piikkien taivuttaminen päälinjoilla. Nykyään päälinjojen kokoonpanoa nopeuttaa valmiiksi taivutellut piikkipellit. Isompien kokonaisuuksien poistaminen päälinjalta esivalmisteksi on haastava tehtävä. Esimerkiksi kohdeyrityksessä on aikaisemmin yritetty siirtää monista osista koostuvaa teknistä seinää esivalmisteksi. Myöhemmin linjan nopeutta päätettiin kasvattaa ja esivalmistetun teknisen seinän asennus kesti liian kauan tahtiaikaan nähden. Näin ollen kasvattaessa esivalmistelujen määrää täytyy muistaa sen tuoman hyödyn raja. Esivalmistelu voi mennä joissakin tilanteissa helposti yli, jos resurssit eivät riitä esivalmisteluiden nopeuttamiseen, eikä näin palvele päälinjaa tehostavana työkaluna.

Tehdaslaajennuksen tuoma suurempi tila linjan ympärillä antaa mahdollisuuden lisätä esivalmisteluiden käyttöä. Esivalmisteita voidaan suuremman tilan myötä sijoittaa linjan yhteyteen kalanruotomallisesti ja näin tehostaa päälinjan virtausta. Esivalmisteluiden avulla voidaan kasvattaa uuden linjan tehokkuutta antamalla linjan työntekijöille mahdollisuus keskittyä vain asennustyöhön. Tämä kappale esittelee esille nousseita esivalmistelu mahdollisuuksia Piikkio Worksin nykyisestä tuotannosta.

Hyttien katot tehdään nykyään molemmilla linjoilla esivalmisteen tavoin. Katot rakennetaan erillisellä työasemalla ja ne nostetaan pystytetyn hyttirungon päälle. Erillisellä linjalla katon esivalmistelu on mahdollista viedä askeleen pidemmälle. Kattoelementin valmistuksessa voitaisiin ennen nostoa asentaa myös osa katolle tulevista kaapeleista. Nykyään kaapeleiden vetoa suoritetaan sähköasemien yhteydessä, jossa työ suoritetaan tikkaiden tai valjaan varassa. Näin ollen osan työstä siirtäminen katon rakennuslinjalle, toisi asennustyön pöydälle, joka nopeuttaisi työtä huomattavasti. Kyseinen esivalmistelu mahdollisuus on kohdeyrityksessä tiedostettu ja sen eteenpäin viemiseksi seuraaviin laivasarjoihin ollaan tekemässä työtä.

Kalustuksessa aiheutuu tällä hetkellä materiaalien turhaa kuljettamista. Tämä johtuu materiaalien hankalasta sijainnista työasemaan nähden. Esimerkiksi matkustaja hytteihin tulevat peilit ja sängynpäätty aiheuttavat työntekijöille turhaa liikettä ja tavaran kantamista. Tätä ongelmaa ei ole miehistölinjalla, jossa peilit ja muut osat saadaan tuotua linjan suoraan läheisyyteen. Uudella linjalla materiaalien sijoittaminen linjan läheisyyteen on helpompaa johtuen kasvaneesta tilasta nykyisiin linjoihin nähden. Hytin kalustukseen liittyy useita esivalmistelu mahdollisuuksia. Kalusteet tulevat lavojen päällä, joihin toimittaja on asettanut tietyn määrän osia. Osat eivät välttämättä ole pinottuna kokoonpanojärjestyksen mukaisesti. Esimerkiksi miehistölinjalla ensimmäinen kalus-

tustyöasema joutuu purkamaan koko lavan ja siirtämään myös seuraavan työaseman osat. Osien pinoaminen lavoihin kokoonpanojärjestyksen mukaisesti jo toimittajan päässä, on nostettu esille ja asiaan on tulossa muutoksia. Uudella linjalla on syytä tutkia miten esivalmistelu voitaisiin siirtää pois linjalta ja voidaanko esivalmisteluun määrätä oma työntekijä tai työntekijöitä. Tämä tarkoittaisi keräilyn tuomien tavaroiden järjestyä niin, että kalustuksen muut työntekijät pääsevät niihin helposti käsiksi. Esivalmistelija poistaisi materiaaleista suoja ja muita pakkausmateriaaleja. Tämän lisäksi esivalmistelija voi aloittaa pienempien osien kiinnittämisen kalusteisiin, esimerkiksi miehistöhyttien kirjoituspöydän tuen liimaamisen.

Paneelitehtaan esivalmistelutasoa on mahdollista kasvattaa. Paneeleihin voisi olla mahdollista tehdä valmiiksi kaikki reiät, joiden läpi kaapeleita ja putkia vedetään. Samalla tavalla myös kaikki reiät, joita tullaan paneeleihin tekemään kalusteiden ja muiden osien kiinnityksessä, voitaisiin tehdä jo paneelitehtaalla. Joitakin esivalmisteluja on jo kuitenkin tehty paneelivalmistuksessa, kuten katon poistovenntiilin reikä. Muuten valmiita reikiä ei paneeleihin tällä hetkellä tehdä. Paneelityyppi tulee muuttumaan seuraavan projektin jälkeen ja lopullista päätöstä kyseisen paneelin valmiista reistä ei ole tehty. Paneelien esivalmistelu taso riippuu paljon paneelitehtaan kyvykkyydestä vastata muutoksiin. Uusi linja ei tule pidemmän päälle kestämaan porauksesta aiheutuvaa purua ja linjalle tippuvia ruuveja. Näin ollen tulevaisuudessa olisi syytä tehdä läheistä yhteistyötä paneelivalmistajan kanssa, jotta toimintaa saadaan kehitettyä haluttuun suuntaan.

Viimeistelyssä ja pakkauksessa huomattiin myös mahdollisia esivalmistelukohteita. Mustavesiputken asentaminen koostuu monien osien yhteen sovittamisesta, jotka voitaisiin suorittaa jo etukäteen. Näin ollen päälinjalle jäisi vain putkikokonaisuuden kiinnittäminen hyttiin. Pakkaus työasemalla kuluu aikaa osien suojarahkaamiseen kuljetuksen ajaksi. Laivassa asennettavien osien pakkaaminen olisi syytä siirtää pois päälinjalta, jopa toimittajalle asti, ja näin tehostaa linjan toimintaa. Tämän lisäksi erilaisten suojalistojen suojamuovien ja teippien poisto vie aikaa työntekijöiltä. Edellä mainitut toimenpiteet olisi syytä poistaa päälinjalta.

Esivalmistelujen avulla voidaan tarvittaessa pyrkiä tasaamaan työkuormia. Linjan tasapainoa voidaan parantaa lisäämällä työmäärältään pienemmän hytin työtä ja vastaavasti vähentämällä työmäärältään suuremman hytin työtä. Piikkio Worksilla sama ajatus voisi toimia poistamalla työmäärältään pienemmän hytin esivalmisteluja ja vastaavasti lisätä esivalmisteluja suurempitoisen hytin kokoonpanoon. Edellä mainitun menetelmän vaikutusta on havainnoitu kappaleen 2.6.1 kuvassa 9. Kyseinen ratkaisu on syytä ottaa harkintaan, kun uuden linjan työnaikatutkimus saadaan suoritettua ja oikeat realisoituneet työmäärät selvitettyä. Vaikka edellä mainittu menetelmä lähentäisi hyttityyppien työmääriä keskenään, voi ratkaisusta myös aiheutua toimintaan sekavuutta ja täten tarkka harkinta on perusteltua.

Tulevaisuudessa olisi syytä panostaa työntekijöiden omien kehitysehdotusten esille tuomiseen. Aloitejärjestelmän kehittäminen voisi toimia kannustavana keinona työntekijöiden ideoiden esille tuomisessa. Uuden linjan optimoinnin vauhdittamiseksi, olisi tuotannon alkaessa työnjohtajien hyödyllistä kävellä linjan työasemat läpi muutaman apumiehen kanssa ja näin saada heidän mielipiteitään kokoonpanosta ja mahdollisista kehityskohteista. Apumiehet osaavat myös ottaa kantaa yhdessä työasemien työntekijöiden kanssa työskentelytapojen kehittämiseen. Tulevaisuudessa olisi syytä miettiä, kuinka kehitysideoita viedään eteenpäin. On syytä rakentaa motivoiva menettely, joka takaa jokaisen aloitteen asianmukaisen raportoinnin ja käsittelyn.

6.1.3 Työntekijöiden koulutus

Uudella linjalla nousee tärkeään rooliin nopea reagointi mahdollisiin tuotannon ongelmiin, esimerkiksi työntekijöiden poissaoloihin. Apumiesten yhtenä tarkoituksena on korvata työntekijöiden poissaoloja. Ongelman aiheuttaa tilanne, jossa poissaoloja on samanaikaisesti paljon ja suuri määrä apumiehiä sitoutuu linjalle. Näin ollen linjalla apumiesten toimesta tapahtuva korjaustyö vähenee ja hyttien korjaus siirtyy jälkivarusteluun. Linjalla tapahtuva korjaustyö on tärkeää, koska jälkivarustelu lisää kustannuksia. Kohdeyrityksen nykytuotannossa monet ongelmat ovat usein sitouttaneet apumiehet linjalle pitkäksi aikaa. Apumiesten tarkoitus on toimia ylimääräisenä apuna ja uuden kokoonpanolinjan toiminnan varmistamiseksi täytyy apumiesten liiallista kuormitusta välttää.

Ensimmäisen projektin aikana on mahdollista kouluttaa työntekijöitä useammalle työasemalle. Jos työntekijöitä koulutetaan useammalle kuin yhdelle työasemalle, voitaisiin jokaisesta työntekijästä tehdä osaamisprofiilit, jotka kertoisivat jokaisen henkilön taidot. Osaamisprofiilien avulla on mahdollista paikkailla samanaikaisia poissaoloja ja välttää apumiesten pidempiaikainen sitouttaminen työasemille. Esimerkiksi jos apumiehen paikassa poissaoloa syntyy tarve korjaustyölle jollakin toisella työasemalla, voidaan poissaolo hetkellisesti korvata toisella työntekijällä. Tämä toisaalta tarkoittaisi työmäärän kasvua sillä työasemalla, josta apumiehen korvannut työntekijä on otettu. Näin ollen kyseinen ratkaisu voi hetkellisesti edesauttaa linjan toimintaa, mutta sen käytössä täytyy käyttää harkintaa. Toisin sanoen korvaava työntekijä on otettava työasemalta, joka kestää hetkellisen alimiehityksen.

6.1.4 Uuden linjan työntutkimus

Suoritettu työntutkimus nykyiselle tuotannolle oli tasoltaan erittäin karkea. Tutkimus oli tästä huolimatta tarpeellinen ja toimi pohjana uuden linjan vaiheistuksen suunnittelulle. Vaikka pienentynyt tahtiaika vaikeuttaa joutoajan piiloutumisen työasemille, on uuden linjan käynnistyttyä tärkeää suorittaa uusi suunnitelmallinen työntutkimus. Uuden tutkimuksen avulla saadaan varmistettua kaikkien uudella linjalla kokoonpantavien hytti-

mallien työmäärät, tarkennettua muodostettuja vaiheistuksia sekä arvioitua kokoonpanolinjan suorituskyykyä ja tunnistettua mahdollisia kehityskohteita.

Nykytuotannon työntutkimuksessa oli mukana rajoittavia tekijöitä, jotka vaikeuttivat sen suorittamista. Yksi tekijä oli nykytuotannon puutteellinen suunnittelu. Työasema-kohtaisten osalistojen puute lisäsi työntutkimuksen kestoa ja aiheutti epäselvyyksiä tuotannon hahmottamisessa. Uudella linjalla vaiheistuksia tullaan ylläpitämään ja päivittämään tuotannon suunnittelun toimesta. Näin ollen tuotannon suunnittelun ja työnjohdon välisen kommunikaation on oltava jokapäiväistä, jotta tarvittavia muutoksia osataan tehdä ajoissa. Toinen tekijä kohdistuu tutkimusolosuhteisiin. Tutkimuksen aikana tuotannolla oli kiire pysyä aikataulussa ja tämä vaikutti tuotannon käyttäytymiseen projektin loppupuolella. Esimerkiksi nykytuotannon lopussa jouduttiin ottamaan käyttöön urakkapalkkaus, joka vaikeutti työnaikatutkimuksen suorittamista. Edellä mainitun lisäksi projektin lähestyessä loppua syntyi kiire myös työntutkimuksen kanssa, joka esti työnaikatutkimuksen perinpohjaisen suorittamisen. Tämä vaikutti esimerkiksi siihen, että työntutkimusta ei aina voitu suorittaa standardiolosuhteissa. Näin ollen tutkimuksen kohteena ollut työntekijä oli välillä kokenut ja välillä kokemattomampi. Hyttituotannossa osalla työasemista työn luonne vaatii työntekijältä usean viikon harjoittelua, ennen kuin hänellä on riittävä osaaminen saman työskentelytehokkuuden saavuttamiseen, kuin kokeneimmilla työntekijöillä. Tulevaisuudessa ennen tutkimuksen aloitusta täytyy varmistaa, että työtä tekevät henkilöt ovat riittävän kokeneita. Uuden linjan työnaikatutkimuksessa on syytä sopia tutkimuksesta työntekijöiden kanssa hyvissä ajoin ja yhdessä luoda mahdollisimman standardit olosuhteet.

Työnaikatutkimusta oli nykytuotantoon suorittamassa kaksi eri henkilöä allekirjoittaneen lisäksi. Tämä aiheutti monia epäselvyyksiä, koska yhteistä säveltä tutkimuksen suorittamiseen oli osittain vaikea löytää. Jokaisella tutkijalla on oma näkemyksensä tutkimuksen suorittamisesta, jonka johdosta kahden eri tutkijan tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia. Uudella linjalla tämä on syytä ottaa huomioon ja määrätä vain yksi työntutkija.

Uuden linjan työnaikatutkimuksen aloituksella heti linjan alkaessa varmistetaan eri hyttimallien oikeiden työmäärien määritys mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tämä on tärkeää varsinkin, jos sekamallilinjainen tuotanto jatkuu läpi projektin. Erityisesti mielenkiinto kohdistuu miehistöhyttiin Combi. Combi-hytti tulee olemaan oletettavasti uuden linjan työläin ja sen oikean työmäärän nopea määrittäminen tulisi helpottamaan sekamallilinjain tuotantosekvenssin, sekä vaaditun oikean miehityksen suunnittelua.

Uuden perusteellisen työntutkimuksen avulla olisi mahdollista arvioida kuinka haastavaksi uusi tuotantotapa osoittautuu työntekijöille. On syytä punnita kuinka suuri elpymisaika antaa parhaan mahdollisen vasteen tuotannon tehokkuuden kannalta. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda tehokas, mutta samalla saavutettavissa oleva ja inhimillinen työtahti. Ensimmäisen projektin aikana edellä mainittuja tekijöitä on syytä seurata tar-

kasti, jotta saadaan luotua tuotannollinen pohjatyö myös tuleville projekteille. Vaikka seuraavat projektit aloittavat uuden laivasarjan, vallitsee tuotannossa pääosin samat lainalaisuudet työn kuormituksessa.

6.2 Suunnittelun ja tuotannon kommunikointi

Kuten alaluvussa 2.3 kerrotaan manuaalisen kokoonpanon kehittäminen alkaa kokoonpantavasta tuotteesta ja sen suunnittelusta kokoonpanoon soveltuvaksi. Näin ollen suunnittelun merkitys kokoonpanotyön kehittäjänä on suuri. Suunnittelusta, joka pyrkii edistämään tuotteen tuotettavuutta ja kokoonpanoa käytetään termiä DFMA (engl. Design For Manufacturing And Assembly). Kohdeyrityksen komponenteissa on nähtävissä puutteita kokoonpantavuuden huomioon ottamisessa. Puutteita on ollut myös suunnittelun ja tuotannon kommunikoinnissa, joka on tarkoittanut tilanteita, jossa tuotantoportaan palautteeseen ei ole saatu selkeää vastausta. Tulevaisuudessa olisi syytä panostaa varsinkin sarjalaivojen ensimmäiseen projektiin. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelu tekee parhaimpansa kokoonpantavuuden huomioon ottamisessa ennen ensimmäisen laivan tuotantoa ja testihyttien kokoonpanon jälkeen tuotanto raportoi kaikki epäkohdat, joita testihytteissä on käynyt ilmi. Tarpeellisella ennakkosuunnittelulla on suuri merkitys ensimmäisen laivan tuotannon onnistumiseen. Tulevaisuudessa täytyy välttää samojen virheiden toistumisen laivasta toiseen. Tarkoituksena olisi, että sarjalaiva-projektin jokaisen laivan kohdalla opitaan jotakin uutta, joka parantaa seuraavan laivan tuotantoa. Toisin sanoen sarjalaivojen jokainen yksittäinen laiva olisi toistaan parempi hyttien kokoonpanon kannalta.

Taulukossa 2 esille tuoduista DFMA ohjeista, kohdeyrityksen olisi syytä seurata useita ohjeita. Tärkeimpänä voisi mainita tarvittavien osien minimoimisen, sekä niiden liittämisen ja kiinnityksen suunnittelun tehokkuus huomioiden. Tämän lisäksi olisi syytä harkita modulaaristen rakenteiden hyödyntämistä, sekä kehittää osien suunnittelua käsiteltävyys ja asennus suunnat huomioiden. Modulaariset rakenteet tarkoittaisivat esivalmisteltuja osakokonaisuuksia, joita voitaisiin pyrkiä tilaamaan jo toimittajalta lähtien.

Kokoonpantavuus ja sen parantaminen koskee myös hankintaa. Näin ollen kommunikaatiota olisi syytä parantaa suunnittelun ja tuotannon lisäksi myös hankintaa edustavien henkilöiden suuntaan. Kohdeyrityksessä hytin kokonaiskustannus on tärkeä mittari. Hankinnalla on iso vaikutus hytin kokonaiskustannuksen muodostumiseen. Yleinen oletus oston toimien taustalla on halvin ja riittävän laadukas tuote. Toisinaan tämä saattaa viedä harhaan. Ostetun tuotteen kustannukset eivät muodostu pelkästään osan hinnasta, vaan myös sen asennuksesta. Halvin tuote saattaa olla hankala kokoonpanon kannalta verrattuna esimerkiksi hieman kalliimpaan tuotteeseen ja näin kyseisen tuotteen kokonaiskustannukset saattavat nousta korkeammaksi, kuin kalliimman tuotteen. Ostolla on myös vaikutus kuinka pitkälle osan valmistelu tehdään toimittajan puolesta. Hankinnan ja tuotannon välisen vuorovaikutuksen pitäisi olla aktiivista osien esikäsitteilyn osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että oston pitäisi olla yhteydessä tuotantoon tilaamistaan

osista ja kysyä mahdollisista esikäsittely tarpeista. Esivalmistelu nostaa osan hintaa, mutta se ei saisi olla automaattisesti perääntymisen taustalla, vaan kokonaisuhyötyä on syytä pohtia yhdessä tuotannon kanssa. Kohdeyrityksen tapauksessa edellä mainitut asiat eivät vaikuta pelkästään kokonaiskustannusten muodostumiseen vaan myös työtyytyväisyyteen. Nykytuotannossa on tullut esille työntekijöiden turhautuneisuus hankalasti asennettaviin osiin. On tullut ilmi mielipiteitä, joissa työntekijät tuntevat aliarvostusta huonosti suunniteltujen ja keskeneräisten osien johdosta. Kohdeyrityksen toimintaympäristössä, jossa suunnittelu joutuu ottamaan huomioon myös laivan tilaajan toiveet, on selvää, että kokoonpantavuudessa saatetaan joutua joustamaan. Tämä sama asia koskee myös ostoa, joka budjetin ylityksen pelossa voi helposti luopua esivalmistelusta, aiheutuvien lisäkustannusten vuoksi. On kuitenkin tärkeää kommunikoida tehtyjä päätöksiä työnjohdolle, jotta työntekijät saavat heti vastauksen mahdollisiin puutteisiin.

6.3 Logistiikka

Logistiikan toimimisen tärkeys nousi esille kohdeyrityksen nykytuotannossa. Nykytuotannon ongelmat alkoivat paneelien puutteellisista toimituksista osavalmistajalta. Ongelmat paneelien kanssa saivat aikaan jatkuvia muutoksia tuotantosuunnitelmaan, joiden mukana logistiikan täytyi pysyä. Logistiikalla oli vaikeuksia pysyä muutoksissa mukana ja tämä lisäsi materiaalipuutoksia linjoilla. Näin ollen logistiikan ongelmien voidaan sanoa aiheutuneen monen asian summana. Uusi toiminnanohjausjärjestelmä tuo paljon apua logistiikan hallintaan. SAP-järjestelmä helpottaa tiedonkulkua eri osastojen välillä, kuten tuotannonohjaus ja logistiikka. Näin ollen muutokset tuotantosuunnitelmissa päivittyy automaattisesti myös logistiikalle. Tulevaisuudessa materiaalikeräily tulee selkeytymään, koska hyttejä rakennetaan pääosin vain yhdeltä linjalta. Näin ollen keräilyn tarvitsee kuljettaa tavaroita vain yhden linjan ympärille. Erikoishyttilinjan materiaalikeräily ei tule aiheuttamaan suurta vaivaa logistiikalle, linjan tuotantovolyymin ollessa alhainen.

Tehdasinvestoinnin myötä materiaalivaraston paikka vaihtui kohdeyrityksessä. Varaston muuton yhteydessä suoritettiin inventaario, jossa jokainen varastossa oleva tavara laskettiin ja ylimääräinen materiaali poistettiin. Tulevaisuudessa on syytä toteuttaa kiertävää inventaariota, jotta varastosaldo on kokoajan tiedossa. Nykytuotannon aikana varastossa oli paljon harmaata materiaalia, jota oli kertynyt menneiden projektien aikana. Kyseisen materiaalin olemassa olosta ei ollut kirjanpitoa ja mahdollisesta tarpeellisuudesta ei ollut varmaa tietoa. Logistiikasta vastaavien toimihenkilöiden kanssa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että harmaan materiaalin kertymistä aiotaan välttää tulevaisuudessa.

Tulevaisuudessa on syytä panostaa toimittajiin. Tämä tarkoittaa tarkkojen suunnitelmien tekemistä toimitusten toteuttamisesta palvelemaan logistiikan ja näin myös kokoonpanon tarpeita. Toimitusten toteuttamisen suunnittelu pitää sisällään optimaalisten eräko-

kojen määrittelyyn. Eräkojen määrittelyyn on syytä tutkia mahdollisten avustavien laskuvälineiden käyttöä.

7. YHTEENVETO

Diplomityö tukee Meyer-konsernin vaatimusta hyttituotannon tehostamisesta. Meyer-Turun telakan kasvaneen tilauskannan johdosta kohdeyrityksen on oltava valmis vastaamaan telakan kasvaneeseen kysyntään. Tämän johdosta Piikkio Worksiin on investoitu uusi kokoonpanotehdas, jonka yhdellä tahdin mukaisesti liikkuvalla kokoonpanolinjalla, on tarkoitus tuottaa suurin osa kohdeyrityksen hyteistä. Diplomityön tavoitteeksi asetettiin uuden kokoonpanolinjan tasapainottaminen sekamallilinjan mahdollistamiseksi. Tasapainotuksen lähtökohdaksi otettiin alustavien vaiheistuksien määrittäminen eri hyttimalleille, jotta mahdollisia epätasapainoja voidaan hahmottaa. Vaiheistuksien muodostamiseksi uudelle linjalle täytyi kohdeyrityksen nykytuotantoa analysoida tarkemmin. Tutkimuksen alussa mahdollisia kokoonpanon pullonkauloja oli tarkoitus tutkia tuotannosta saatavan vaiheikadatan avulla. Vaiheikadataa oli myös saatavilla kohdeyrityksen vanhoista projekteista. Analysoinnin pohjana oli myös tarkoitus käyttää kohdeyrityksessä aikaisemmin suoritettuja työnaikatutkimuksia. Edellä mainittujen tietojen tarkempi tutkiminen kuitenkin osoitti niiden hyödyttömyyden tämän tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Näin ollen selkeytyi tarve nykytuotannon työntutkimukselle, joka piti sisällään vaiheistuksien selvityksen sekä työnaikatutkimuksen suorittamisen nykytuotannolle.

Tutkimuksen alun ongelmien vuoksi työntutkimusta ei päästy aloittamaan tutkimuksen aikana käynnissä olleen projektin tuotannon alusta lähtien. Näin ollen työntutkimuksessa jouduttiin tyytymään parvekkeellisen matkustajahytin ja kahden miehistöhytin tutkimiseen. Työnaikatutkimuksessa mitattiin aikoja yhden työntekijän työmäärinä. Toisin sanoen, jos jotakin osaa asensi kaksi työntekijää, kerrottiin asennusaika kahdella. Suoritettu työnaikatutkimus opetti allekirjoittaneelle paljon hyttien kokoonpanosta ja antoi eväitä uuden linjan vaiheistuksien muodostamiseen. Tutkimuksen aikana suoritettu toimintatutkimus piti sisällään epävirallisia haastatteluja ylemmän johdon, työnjohdon ja työntekijöiden kanssa. Toimintatutkimuksen aikana saatu informaatio tuotannosta ja kohdeyrityksen toimintaympäristöstä auttoi allekirjoittanutta ymmärtämään tutkimusympäristöä.

Suoritettuna työnaikatutkimuksen avulla oli mahdollista aloittaa uuden linjan vaiheistuksien muodostaminen. Vaiheistuksien muodostaminen alkoi työasemien täyttämällä työoperaatioilla. Rajoittavina tekijöinä toimivat komponenttien ja töiden etusijarajoitteet sekä 18 minuutin tahtiaikarajoite. Vanhasta poiketen uudella linjalla haluttiin hyödyntää samanaikaista työtä mahdollisimman paljon. Kellotuksien avulla oli mahdollista nähdä työasemien työmäärät ja tehtyjen muutoksien jälkeen havaita suoraan niiden vaikutus tasapainoon. Tasapainon toteutumista havainnoitiin työasemien vaatiman henkilömää-

rän avulla. Työaseman vaatima henkilömäärä voitiin laskea jakamalla työaseman työmäärä tahtiajalla. Keskimääräinen hytti muodostuu noin 170 komponentista ja näin ollen etusijarajoitteiden toteutuminen linjan tasapainon ohella antoi allekirjoittaneella haastetta.

Toimivien vaiheistuksien muodostaminen sekamallilinjan vaatimusten mukaisesti vaatii uusien työmenetelmien käyttöönottoa. Sekamallilinjalla eri hyttimallien vaiheistuksien täytyy olla yhtenäiset, jotta kokoonpano ei vaadi työntekijöiltä siirtymistä työasemalta toiselle. Eri hyttimallien vaatima työntekijämäärä osoittautui melko samanlaiseksi työnaikatutkimuksen tulosten perusteella. Näin ollen vaiheistuksissa onnistuttiin myös yhtenäistämään eri vaiheistuksien vaatimat työntekijämäärät eri työasemilla halutulla tasolla. Uutena työmenetelmänä kokeillaan matkustajahytin kylpyhuoneen kokoonpanossa väliaikaista kattoa, joka lähentää WC-linjan vaiheistuksia keskenään.

Työntutkimuksen aikana suoritettu työnaikatutkimus antoi uutta informaatiota tuotannon oikeasta tilasta. Kohdeyrityksessä ei ole moneen vuoteen suoritettu koko linjoja kattavaa työnaikatutkimusta. Työnaikatutkimuksen tulosten avulla muodostetuissa karkeasti tasapainotetuissa vaiheistuksissa matkustajahytin kokonaistyömäärä putosi noin 45 % ja tavallisen miehistöhytin 25 %.

Ennen uuden projektin varsinaista aloitusta suoritetaan tuotannon testaus, jossa eri hyttimallien kokoonpanoa testataan. Vasta testauksen aikana saadaan varmistettua vaiheistuksien toimivuus, oikeat miehitystarpeet ja suoritettua mahdollisia muutoksia. Uuden linjan ensimmäisen projektin alkaessa on tarkoitus aloittaa uusi työntutkimus, jotta eri hyttimallien oikeita työmääriä saadaan tarkennettua ja linjan tarkempi tasapainotus voidaan suorittaa.

Kuten Tekes (2001) mainitsee, kokoonpanon kehittämisen käynnistämisessä pääpaino kohdistuu useimmiten, teknisten ratkaisujen sijaan, tuoterakenteeseen ja organisatorisiin tekijöihin. Näin ollen kohdeyrityksen tulevaisuuden suunta tulee määräytymään tuotannon yhteistyön kehittämisen mukaan logistiikan, suunnittelun ja hankinnan kanssa. Tämä ei tietenkään tarkoita kokoonpanon teknisen kehitystyön lopettamista. Kokoonpanoa on kehitettävä jatkuvasti, esimerkiksi tehokkaampien työmenetelmien ja esivalmistelujen avulla. Kokoonpanon jatkuvaa kehitystä on tärkeää tukea organisaation jokaisella tasolla.

Tulevaisuudessa uudella linjalla tapahtuva kokoonpano tulee varmasti kehittymään suurin askelin. Uuden linjan ensimmäinen projekti tulee opettamaan paljon linjan käyttäytymisestä ja tuomaan esille sen toiminnan parantamiseen vaadittavia toimia. Tämä diplomityö on luonut karkeat vaiheistukset uuden linjan tuotantovolyymltaan isoimmille hyteille. Luotujen vaiheistuksien pohjalta on mahdollista aloittaa kokoonpano uudella linjalla. Uuden linjan tehokkaassa hyödyntämisessä on vielä paljon haasteita, joita voidaan linjan tuotannon aloituksen jälkeen tutkia.

LÄHTEET

Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J. & Suikki, M. (2011). Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. 48 p.

Baudin, M. (2002). Lean assembly: the nuts and bolts of making assembly operations flow. Productivity Press. 296 p.

Becker, C. & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, Vol. 168(3), pp. 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>

Becker, C. & Scholl, A. (2009). Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. *European Journal of Operational Research*, Vol. 199(2), pp. 359–374. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.11.051>

Bogue, R. (2012). Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. *Assembly Automation*, Vol. 32(2), pp. 112–118. <https://doi.org/10.1108/01445151211212262>

Boysen, N., Fliedner, M. & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 183(2), pp. 674–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.010>

Boysen, N., Fliedner, M. & Scholl, A. (2008). Assembly line balancing: Which model to use when? *International Journal of Production Economics*, Vol. 111(2), pp. 509–528. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.026>

Boysen, N., Fliedner, M. & Scholl, A. (2009). Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. *European Journal of Operational Research*, Vol. 192(2), pp. 349–373. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.09.013>

Bukchin, J. (1998). A comparative study of performance measures for throughput of a mixed model assembly line in a JIT environment. *International Journal of Production Research*, Vol. 36(10), pp. 2669–2685. <https://doi.org/10.1080/002075498192427>

Emde, S., Boysen, N. & Scholl, A. (2010). Balancing mixed-model assembly lines: a computational evaluation of objectives to smoothen workload. *International Journal of Production Research*, Vol. 48(11), pp. 3173–3191. <https://doi.org/10.1080/00207540902810577>

Geng, H. (2016). *Manufacturing engineering handbook* (Second Edition). McGraw-Hill Education.

Grzechca, W. (2011). Cycle Time in Assembly Line Balancing Problem. 2011 21st International Conference on Systems Engineering, Vol. 1, 171–174. <https://doi.org/10.1109/ICSEng.2011.38>

Hopp, W. J. & Spearman, M. L. (2000). *Factory physics: Foundations of manufacturing management* (2. edition). Singapore ; New York: Irwin McGraw-Hill. 698 p.

- Hu, S. J., Ko, J., Weyand, L., Elmaraghy, H. A., Lien, T. K., Koren, Y., ... Shpitalni, M. (2011). Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 60(2), pp. 715–733. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.05.004>
- Hu, S. J., Zhu, X., Wang, H. & Koren, Y. (2008). Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 57(1), pp. 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.138>
- Laperrière, L. & Reinhart, G. (Toim.). (2014). *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer Berlin Heidelberg. pp.50-60 <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7>
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. (1997). *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. Porvoo: WSOY. 398 p.
- Law, J. (2016). *A Dictionary of Accounting*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acref/9780198743514.001.0001>
- Liker, J. (2004). *The toyota way: 14 Management Principles from the World's great- est manufacturer*. McGraw-Hill. 330 p.
- Macduffie, J. P., Sethuraman, K. & Fisher, M. L. (1996). Product Variety and Manufacturing Performance: Evidence from the International Automotive Assembly Plant Study. *Source: Management Science*, Vol. 42(3), pp. 350–369.
- Malmberg, K. & Kauppinen, V. (1987). *Manuaalisen kokoonpanon tehostaminen. Metalliteollisuuden kustannus*. 36 p.
- Matanachai, S. A. I. & Yano, C. A. (2001). Balancing mixed-model assembly lines to reduce work overload. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, Vol. 33(1), pp. 29–42. <https://doi.org/10.1023/A:1007685606857>
- Merengo, C., Nava, F. & Pozzetti, A. (1999). Balancing and sequencing manual mixed-model assembly lines. *International Journal of Production Research*, Vol. 37(12), pp. 2835–2860. <https://doi.org/10.1080/002075499190545>
- Meyr, H. (2004). Supply chain planning in the German automotive industry. *OR Spectrum*, Vol. 26(4), pp. 447–470. <https://doi.org/10.1007/s00291-004-0168-4>
- Miltenburg, J. (1989). Level Schedules for Mixed-Model Assembly Lines in Just-in-Time Production Systems. *Management Science*, Vol. 35(2), pp. 192–207.
- Miltenburg, J. (2007). Level schedules for mixed-model JIT production lines: characteristics of the largest instances that can be solved optimally. *International Journal of Production Research*, Vol. 45(16), pp. 3555–3577. <https://doi.org/10.1080/00207540701223394>
- Nicosia, G., Pacciarelli, D. & Pacifici, A. (2002). Optimally balancing assembly lines with different workstations. *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 118(1–2), pp. 99–113. [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00259-1](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00259-1)

- Piikkio Works Oy, Company presentation. (2016). Rajoitettu saatavuus.
- Piikkio Works Oy | Cabin modules. (2016). Noudettu 27. lokakuuta 2017, osoitteesta <http://www.piikkioworks.fi/>
- Rekiek, B. & Delchambre, A. (2006). Assembly Line Design: The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms. *Assembly Automation* Vol. 26. 252 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rother, M. & Harris, R. (2001). *Creating continuous flow an action guide for managers, engineers and production associates*. Lean Enterprise Institute. 103 p.
- Scholl, A. & Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, Vol. 168(3), pp. 666–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.022>
- Shtub, A. & Dar-El, E. M. (1989). A methodology for the selection of assembly systems. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207548908942537>
- Sivasankaran, P. & Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 73(9–12), pp. 1665–1694. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5944-y>
- Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R. (2007). *Operations management (5th edition)*. Harlow: Pearson Education.
- Stephens, M. & Meyers, F. (2010). *No Manufacturing facilities design and material handling* (4th editio). New Jersey: Pearson Education. 486 p.
- Stevenson, W. (2014). *Operations management (12th edition)*. New York: McGraw Hill/Irwin. 904 p.
- Team, T. P. D. (1999). *OEE for operators: Overall Equipment Effectiveness*. Portland: Productivity Press. 63 p.
- Tekes. (2001). *Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998-2000*. Helsinki. 131 p.
- The Productivity Development Team. (1998). *Just-in-Time for operators*. Portland: Productivity Press. 72 p.
- Thomopoulos, N. T. (1970). Mixed Model Line Balancing with Smoothed Station Assignments. *Management Science*, Vol. 16(9), pp. 593–603. <https://doi.org/10.1287/mnsc.16.9.593>
- Wilson, L. (2015). *How to implement lean manufacturing (Second Edi)*. McGraw-Hill Education. 430 p.
- Wirtz, J. (2009). Make or buy? *Assembly*, Vol. 52(12), pp. 32–34.

LIITE A: MALLI TYÖNAIKATUTKIMUKSEN POHJASTA

Työpiste 7		Hytin pystytys						
Materiaali ID	Materiaali kuvaus	Määrä	Yksikkö	Kokonais asennusaika	Joutuisuus aika	Standardiaika	Työnjohtajan kuittaus	Huomioita
KOKONAISAIKA								
Työpiste 8		Hytin varustelu						
Materiaali ID	Materiaali kuvaus	Määrä	Yksikkö	Kokonais asennusaika	Joutuisuus aika	Standardiaika	Työnjohtajan kuittaus	Huomioita
KOKONAISAIKA								
Työpiste 9		Tyhjä tahti/tarkastus						
Materiaali ID	Materiaali kuvaus	Määrä	Yksikkö	Kokonais asennusaika	Joutuisuus aika	Standardiaika	Työnjohtajan kuittaus	Huomioita
KOKONAISAIKA								
Työpiste 10		Silikoonaus						
Materiaali ID	Materiaali kuvaus	Määrä	Yksikkö	Kokonais asennusaika	Joutuisuus aika	Standardiaika	Työnjohtajan kuittaus	Huomioita
KOKONAISAIKA								
Työpiste 11		Kalustus 1						
Materiaali ID	Materiaali kuvaus	Määrä	Yksikkö	Kokonais asennusaika	Joutuisuus aika	Standardiaika	Työnjohtajan kuittaus	Huomioita
KOKONAISAIKA								