

Jere Tiilikainen

TUOTANNONOHJAUS TEOLLISESSA PUU- RAKENTAMISESSA

Suurelementtituotannon virtauttaminen Lean-
menetelmillä

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastajat:
Professori Sami Pajunen
Professori Arto Saari
Joulukuu 2021

TIIVISTELMÄ

Jere Tiilikainen: Tuotannonohjaus teollisessa puurakentamisessa: Suurelementtituotannon virtauttaminen Lean-menetelmillä

Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2021

Puisia suurelementtijärjestelmiä käytetään toimitila-, liike- ja teollisuusrakennusten vesikattorakenteissa koko ajan enemmän. Tämä tutkimus tukee osaltaan kehityssuuntaa, jossa puuta käytetään myös kyseisten rakennustyyppien vesikattorakenteena entistä enemmän. Tämän tutkimuksen taustalla on puuelementtejä valmistavan yrityksen, LapWall Oy:n, tarve arvioida ja mitata omaa tuotantoprosessiaan. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää tuotantoprosessin pullonkaulat ja häiriöt sekä kehittää niihin ratkaisuvaihtoehdot käyttäen eri teollisuudenalojen virtauttamiskäytäntöjä.

Tutkimus koostuu teoriaosuudesta ja empiirisestä tarkasteluosuudesta. Teoriaosuudessa käsitellään Lean-tuotantofilosofian periaatteita ja DMAIC-prosessinparannustyökalua. Lisäksi teoriaosuudessa tarkastellaan tuotannon virtauttamiseen liittyviä tekijöitä ja käsitteitä teollisuuden prosessiluonteisessa, toistuvassa tuotannossa ja rakennusteollisuuden yksittäisessä projektituotannossa.

Empiirisessä osuudessa kuvataan tutkimuksen kohdeyritys, yrityksen toiminta sekä tuote yleisellä tasolla. Tutkimuskohteessa tuotetaan kattoelementtejä, joiden päätyypit ovat tavallinen kattoelementti, jota kutsutaan myös suorakaide-elementiksi sekä rakennuksen reunalle sijoitettava räystääselementti ja katon harjan kohdalle sijoitettava harjaelementti. Yritysesittelyä seuraa empiirisen viitekehyksen sisältämän DMAIC-menetelmän rakennetta mukaileva tuotannon virtauttamisprosessi. Tällöin tuotannon kehittäminen toteutetaan DMAIC-menetelmän mukaisessa järjestyksessä, jolloin ensimmäiseksi määritellään tuotantoprosessin virtauttaminen. Toisessa vaiheessa mitataan prosessi ennalta määrätyillä mittareilla. Mittareita ovat tällöin työvaiheen vaihe-aika sekä prosessin normaali läpäisy aika (SCT), todellinen läpäisy aika (ACT) sekä odotusaika ja tämän lisäksi havainnoidaan tuotannon häiriöitä. Seuraavaksi mittausvaiheessa tuotettu data analysoidaan ja tämän pohjalta tehdään johtopäätökset tuotantoprosessin pullonkauloista ja häiriöistä analysointivaiheessa. Tätä seuraa parannusvaihe, jossa kehitetään ratkaisuvaihtoehdot analysointivaiheessa löydettyihin ongelman juurisyihin.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että tuotantoprosessin pullonkaulat ovat kattoelementin alapohjavaihe kaikissa elementtityypeissä ja aluslevytysvaihe räystääselementin osalta. Kirjallisuustutkimusosuuden tuloksia sovellettiin tuotantoprosessin virtauttamisen keinoja kehittäessä, jolloin alapohjavaiheen pullonkaulan ratkaisuksi havaittiin henkilöstön parempi sijoittelu. Räystääselementin aluslevytysvaiheen ratkaisuksi löydettiin vesikattopalkiston eli tuuletuskoolauksen ja siihen liittyvien räystäärakenteiden esivalmistus ja modulointi.

Avainsanat: puurakentaminen, tuotantoprosessi, elementtirakentaminen, virtauttaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Jere Tiilikainen: Production management in industrial timber construction: Improving flow in wood element manufacturing

Master of Science Thesis

Tampere University

Masters' Degree Programme in Civil Engineering

December 2021

Wood elements are used more and more often in roof structures of facility, business and industrial buildings. This thesis contributes to the trend towards greater use of wood as a roof structure for these types of buildings. The background to this thesis is the need of LapWall Oy to evaluate and measure its own production system. The aim of the research is to find out the bottlenecks and disturbances in the manufacturing process and to develop solutions for them by using different industry flow practices.

The thesis consists of a theoretical part and an empirical part. The theoretical part deals with the principles of Lean philosophy and the DMAIC process improvement tool. In addition, the theoretical part examines the factors and concepts related to the flow of process-oriented manufacturing in industry and in individual project production in construction industry. The empirical part describes the company researched in thesis, the company's operations and the product in general. The object company of research produces roof elements, the main types of which are an ordinary roof element, also called a rectangular element, as well as eaves element to be placed on the edge of the building and a ridge element to be placed at the roof ridge.

The company presentation is followed by a production flow process that follows the structure of the DMAIC method contained in the empirical framework. In this case, the production development is carried out in the order according to the DMAIC method, in which case the flow of the production process is defined first. In the second stage, the process is measured with predetermined metrics. These are the phase time of the work phase and the standard cycle time (SCT) and the actual cycle (ACT) time of the process, as well as the waiting time of the process. The second stage was the temporal measurement of the manufacturing process. Third stage was the observation of manufacturing disturbance, on the basis of which a root cause analysis of manufacturing disruptions could be made. The data produced in the measurement phase is analyzed and on this basis, conclusions are drawn about the bottlenecks and disturbances in the manufacturing process in the analysis phase. This is followed by an improvement phase in which solutions are developed for the root causes of the problem found in the analysis phase.

In this research it was found that the bottlenecks are located in work phase where lower surface structures of all element types are assembled and in the work phase where eaves structures and roof panels of eaves element are assembled. The results of the literature research section were applied in the development of the means of flow in the production process, in which case a better placement of staff was found to be a solution to the bottleneck in the lower structures phase. The solution for the eaves element was found to be the prefabrication and modulation of the roof beam structure and eaves structures.

Keywords: timber construction, production system, modular construction, production flow

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin LapWall Oy:n toimeksiantona vuonna 2021. Haluan kiittää LapWall Oy:n henkilöstöä tutkimuksen mahdollistamisesta sekä kaikesta työhön liittyvästä avusta. Haluan kiittää myös professori Sami Pajusta diplomityöni ohjauksesta ja siihen liittyvistä neuvoista.

Työn valmistumisen myötä diplomi-insinöörin opintoni tulevat päätökseen. Haluan kiittää tyttöystävääni, perhettäni ja ystäviäni saamastani tuesta diplomityön ja opiskelujen aikana.

Tampereella, 16.12.2021

Jere Tiilikainen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta ja rajaus.....	1
1.2 Tutkimuksen tutkimuskysymykset ja tavoitteet	2
1.3 Tutkimusstrategia.....	3
1.4 Tutkimuksen rakenne	4
2. PROSESSIN KEHITTÄMINEN DMAIC-MENETELMÄLLÄ LEAN-KONTEKSTISSA	
6	
2.1 Lean -tuotantofilosofia.....	6
2.2 DMAIC-parannustyökalu	8
2.2.1 Parannusprojektin määrittely ja kuvaaminen	9
2.2.2 Prosessin nykytilan mittaaminen	10
2.2.3 Prosessin analysointi	13
2.2.4 Prosessin parantaminen	16
2.2.5 Parannetun prosessin ohjaus.....	16
3. TUOTANNON VIRTAUTTAMINEN ERI TEOLLISUUDENALOILLA	18
3.1 Teollinen tuotanto ja prosessiajattelu	18
3.1.1 Prosessin virtaus- ja resurssitehokkuus	18
3.1.2 Läpäisy aika tuotannon suorituskyky mittarina	23
3.1.3 Tuotteen modulointi	25
3.2 Yksittäinen projektituotanto rakennusteollisuudessa	26
4. TUTKIMUKSEN KOHDEYRITYS JA SEN TOIMINTA.....	30
4.1 Yritysesittely.....	30
4.2 Tuotekuvaus	30
4.3 Kattoelementtitoimituksen prosessikuvaus.....	31
5. PUUELEMENTTITUOTANNON	
TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUSAINEISTO.....	35
5.1 Käytetyt aineistonkeruun menetelmät	35
5.2 Tutkimusaineiston keräyksen toteutus.....	37
5.3 Kattoelementtien tuotantoprosessin kuvaus	38
5.3.1 Alapohja.....	40
5.3.2 Runko	45
5.3.3 Lämmöneristys	47
5.3.4 Vesikaton tuuletuskoolaus	49
5.3.5 Vesikaton aluslevytys.....	50
5.3.6 Vesikaton aluskermitys	52
5.3.7 Paketointi ja varastointi	53
5.4 Tuotantoprosessin ajallinen mittaus	56
5.4.1 Mittauksen toteutus- ja dokumentointitapa	56
5.4.2 Mittauksen tulokset	60
5.5 Tuotannon häiriötekijät.....	65
6. TUOTANTOPROSESSIN VIRTAUTTAMINEN.....	68
6.1 Tuotantoprosessin parannushankkeen määrittely	68
6.2 Tuotantoprosessin analysointi.....	69
6.3 Parannuskeinot tuotantoprosessin virtauttamiseksi	75
6.3.1 Henkilöstön sijoittelu alapohjavaiheen työpisteellä	76

6.3.2 Vesikattopalkiston ja räystäsrakenteiden modulointi	77
7. YHTEENVETO.....	81
7.1 Tutkimuksen tulokset ja tutkimuskysymyksiin vastaaminen.....	81
7.2 Tutkimuksen arviointi	82
7.3 Ehdotukset jatkotutkimusten kohteiksi.....	85
LÄHTEET	87
LIITE A: SUORAKAIDE-ELEMENTIN ELEMENTTIPIIRUSTUKSET	
LIITE B: RÄYSTÄSELEMENTIN ELEMENTTIPIIRUSTUKSET	
LIITE C: HARJAELEMENTIN ELEMENTTIPIIRUSTUKSET	
LIITE D: RÄYSTÄSELEMENTIN TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILAN KUVAUS	
LIITE E: TUOTANNON HÄIRIÖTEKIJÖIDEN JUURISYYANALYYSI	
LIITE F: RÄYSTÄSELEMENTIN TUOTANTOPROSESSIN TAVOITETILAN KUVAUS	

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tutkimuksen teoreettinen viitekehys ja sen liittyminen empiiriseen osaan.....</i>	3
Kuva 2.	<i>Tutkimuksen rakenne.....</i>	5
Kuva 3.	<i>Parannusprosessin vaiheet DMAIC-syklinä (muokattu Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 14).....</i>	8
Kuva 4.	<i>Prosessikuvausten yleisimmät merkintätavat (mukaillen Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 11).....</i>	11
Kuva 5.	<i>Esimerkki uimarata- kaaviotyypin prosessin tai osaprosessin kuvauksesta (mukaillen Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 12).....</i>	12
Kuva 6.	<i>Esimerkki kalanruotokaaviosta (syötettävien muuttujien vaikutus akselin halkaisijan virheeseen) (muokattu Brussee 2012).....</i>	14
Kuva 7.	<i>Läpäisyajan riippuvuus resurssitehokkuudesta (käyttöaste) (muokattu Modig, Åhlström et al. 2013, s. 42).....</i>	21
Kuva 8.	<i>Tuotantojärjestelmän vaihtelevuuteen liittyvien ajureiden yhteys todelliseen läpäisy aikaan ACT (muokattu Karrer 2012, s. 50).....</i>	24
Kuva 9.	<i>Tidharin kuvailemat rakentamisen edellytykset (muokattu Sacks, Korb et al. 2018, s. 223).....</i>	28
Kuva 10.	<i>Normaalikokoisen elementtitoimituksen prosessikuvaus ja aikaikkuna.....</i>	31
Kuva 11.	<i>Hankeen suunnittelun osapuolet.....</i>	33
Kuva 12.	<i>Aineistonkeruutavat strukturoituneisuusasteen ja tutkittavan aseman mukaan (mukaillen Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 194).....</i>	35
Kuva 13.	<i>Elementin tuotantoprosessin karkea kuvaus.....</i>	38
Kuva 14.	<i>Alapohjamoduulin runkorakenne näytettynä liitteen A rakenneosanumeroinnin mukaan.....</i>	40
Kuva 15.	<i>Kipsilevyjen asennus ja levyn sahaus läpiviennin kohdalla.....</i>	42
Kuva 16.	<i>Alapohjamoduulin nostaminen kokoonpanopöydältä.....</i>	44
Kuva 17.	<i>Moduulit yhdistettynä peräkkäin koko elementin alapohjaksi ja koolausvälien lämmöneristäminen.....</i>	46
Kuva 18.	<i>Elementin päädyn levytys runkovaiheen lopussa.....</i>	47
Kuva 19.	<i>Elementin lämmöneriste kokonaan asennettuna.....</i>	48
Kuva 20.	<i>Elementin vesikaton palkisto, palokatko levytys ja reunatiiviste.....</i>	50
Kuva 21.	<i>Levytysvaiheen sisältämä räystäsrakenteiden toteutus näytettynä liitteen B rakenneosanumeroinnin mukaan.....</i>	51
Kuva 22.	<i>Kattoelementti valmiina.....</i>	53
Kuva 23.	<i>Elementtikuorman paketointi.....</i>	54
Kuva 24.	<i>Elementtikuorman paketoinnin viimeistely ja siirto varastoon.....</i>	56
Kuva 25.	<i>Työvaiheen ajallisen mittauksen taulukkonäkymä Excelissä.....</i>	58
Kuva 26.	<i>Tuotantoprosessin parannushankkeen määrittely.....</i>	69
Kuva 27.	<i>Työvaiheiden vaiheajojen osuudet tuotannon normaalista läpäisyajasta SCT elementtityypeittäin.....</i>	70
Kuva 28.	<i>Tuotannon normaali läpäisy aika SCT ja hukka-aika elementtityypeittäin näytettynä suhteessa todelliseen läpäisy aikaan ACT.....</i>	71
Kuva 29.	<i>Alapohjavaiheen vaiheaika eri työvaiheissa.....</i>	74

Kuva 30.	<i>Yhteenveto kirjallisuustutkimuksen tuloksista.....</i>	<i>76</i>
Kuva 31.	<i>Rakennuksen kulman kohdalle sijoitettavan räystääselementin vesikaton vesikattopalkisto ja räystääs esivalmisteisena moduulina toteutettuna.....</i>	<i>78</i>
Kuva 32.	<i>Palkistomoduliin liitettävät räystääsosat esivalmistusvaiheessa</i>	<i>79</i>

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	<i>Hukan luokittelu tuotannossa (mukaillen: 27</i>	27
	<i>Alarcon 1997; Koskela 1992; Koskela 2004, Emuze & Saurin 2016, s. 9 mukaan) 27</i>	27
Taulukko 2.	<i>Elementtien rakenteiden toteutuksen jakautuminen eri työvaiheille 39</i>	39
Taulukko 3.	<i>Alapohjavaiheen ajallinen mittaus 60</i>	60
Taulukko 4.	<i>Runkovaiheen ajallinen mittaus 61</i>	61
Taulukko 5.	<i>Lämmöneristysvaiheen ajallinen mittaus 61</i>	61
Taulukko 6.	<i>Vesikaton tuuletuskoolausvaiheen ajallinen mittaus 62</i>	62
Taulukko 7.	<i>Vesikatteen aluslevytyksen ajallinen mittaus 62</i>	62
Taulukko 8.	<i>Vesikaton aluskermityksen ajallinen mittaus 63</i>	63
Taulukko 9.	<i>Paketoinnin ja varastoinnin ajallinen mittaus 64</i>	64
Taulukko 10.	<i>Läpäisyajan ACT mittaus 65</i>	65

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ACT	Actual Cycle Time, todellinen läpäisy aika
CTQ	Critical To Quality, analyysi kriittisistä laatutekijöistä
h:min	hours:minutes, tunnit ja minuutit
LSS	Lean Six Sigma -parannusmenetelmät
LT	Lead Time, läpäisy aika
NVA	Non-Value-Adding, arvoa tuottamaton toiminta
SCT	Standard Cycle Time, normaali läpäisy aika
TPS	Toyota Production System, Toyotan tuotantojärjestelmä
VA	Value Adding, arvoa tuottava toiminta
VAR	Value Adding Ratio, arvonlisäyssuhde
VSM	Value Stream Mapping, arvovirtakuvaus
b	Mitattavalle aikavälille sijoittuvien taukojen kokonaispituus
k	Vaiheaikahavainnon x ja vaiheaikahavaintojen keskiarvon \bar{x} välinen suhde
n	Aikahavaintojen eli otosten määrä
t_a	Aikavälin mittauksen alkamishetki
t_l	Aikavälin mittauksen lopetushetki
$t_{p,a}$	Elementtikuorman alaosan paketoinnin kuluttama aika
t_{tot}	Aikalaskennassa käytetty merkintä todelliselle läpäisy ajalle ACT
t_w	Tuotantoprosessin sisältämä odotusaika
x	Yksittäinen mitattu vaiheaikahavainto
\bar{x}	Mitattujen vaiheaikahavaintojen keskiarvo
\bar{x}_A	Alapohjan valmistuksen keskimääräinen vaiheaika
\bar{x}_M	Alapohjamoduulin valmistuksen keskimääräinen vaiheaika

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja rajaus

Tämän diplomityön käsittämän tutkimuksen taustalla on puuelementtejä valmistavan yrityksen tarve arvioida ja mitata omaa tuotantojärjestelmäänsä sekä selvittää tuotantoprosessin pullonkaulat sekä tuotannossa esiintyvät häiriöt. Tämän lisäksi löydettyihin pullonkauloihin ja häiriöihin pyritään löytämään sopivat ratkaisut tuotannon tehostamiseksi, toisin sanoen tuotantoprosessia virtaviivaistetaan eli *virtautetaan*. Tässä tapauksessa toimeksianto tutkimustyöstä on annettu diplomityön muodossa, jolloin diplomityöntekijä toimii tuotantojärjestelmän ulkoisena tutkijana ja arvioijana.

Rakennusalan prosessien virtauttamista hanketasolla ovat tutkineet Suomessa aiemmin Keskiniva et al. (2018) tutkimuksessaan Virtauttamisen toteutuksen periaatteet ja soveltamismahdollisuudet rakennushankkeissa. Kyseinen tutkimusraportti on tehty osana RAIN (Rakentamisen integraatiokyvykkyys) -hanketta. Tutkimuksessa tarkasteltiin virtauttamisen eri keinoja talonrakentamisessa, suunnitteluprosesseissa sekä korjaus- ja infrahankkeissa. Tutkimuksessa nousi esille, ettei virtauttamisen keinoja ole vielä sovellettu Suomessa kokeiluhankkeiden ulkopuolella. Tällaisia keinoja ovat esimerkiksi tahti-aikatuotanto, Last Planner, prosessien parempi hallinta ja yhteistoiminta. Rakentamisen virtauttamisen tärkein tekijä on tarkempi ja toteuttamiskelpoisempi suunnittelu, jonka kautta hankkeita päästään hallitsemaan paremmin. (Keskiniva, Junnonen et al. 2018, s. 51.)

Teollisen tuotannon aloilla on tehty aikaisemmin paljon tutkimustyötä tuotannon virtauttamisesta, jolloin keinoja on lähdetty etsimään esimerkiksi layout-suunnittelun ja soluvalmistuksen kautta. Rakennustuoteteollisuudessa vastaavia tutkimuksia on tehty etenkin betonielementtien valmistuksen osalta. Teollisesti valmistettavien puuelementtien valmistukseen liittyvää tuotannon tutkimusta on tehty aikaisemmin varsin vähän. Puuelementtien valmistaminen on teollista tuotantoa, jonka toimitusketju liittyy rakentamiseen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on löytää elementtien valmistusprosessista pullonkaulat ja häiriöt käyttäen yleistä tuotantojärjestelmäkirjallisuutta sekä poistaa ne keinoilla, joihin sovelletaan virtauttamisteoriaa sekä prosessiluentaista tuotannosta, että projektiluonteisesta rakennustuotannosta.

Tutkimus on rajattu koskemaan vain tuotantoprosessia eikä esimerkiksi sitä edeltäviä tai seuraavia prosesseja toimitusketjussa. Tuotantoa on pyritty arvioimaan muutaman mittarin perusteella, jotka tässä tapauksessa ovat tuotannon läpäisy aika, työvaiheen vaihe-aika sekä odotus- eli hukka-aika.

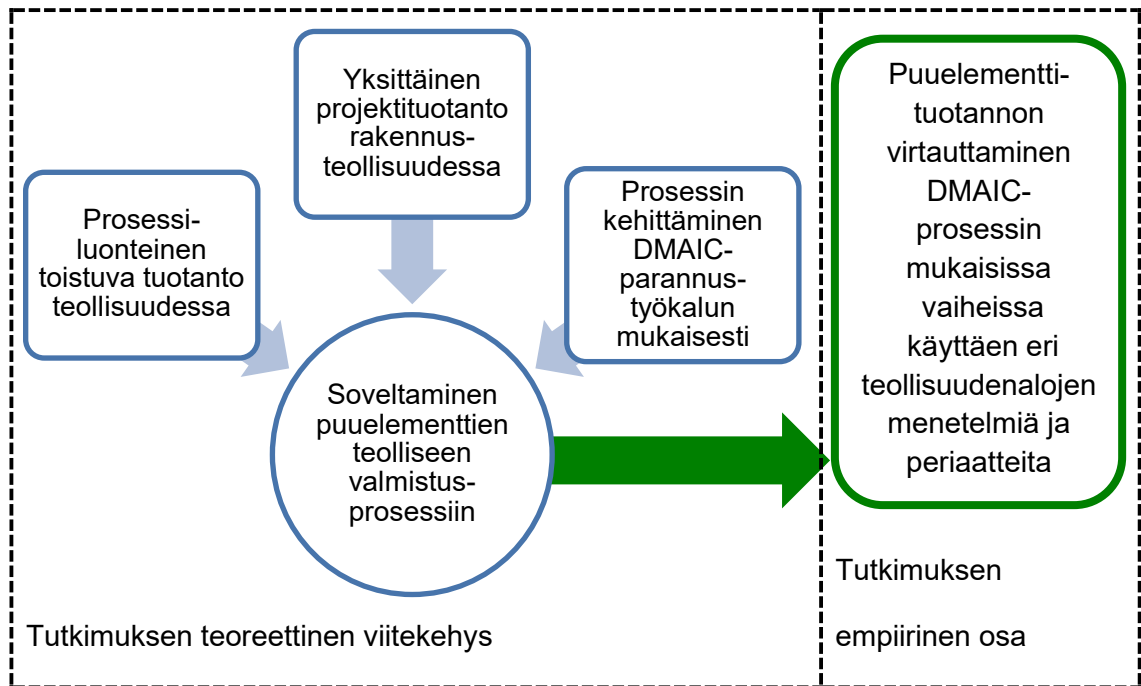
1.2 Tutkimuksen tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Tämän tutkimuksen yleisenä tarkoituksena on kartoittaa, mitkä ovat tuotannon ja rakentamisen laadun kannalta kriittisimpiä tekijöitä puuelementtien valmistuksen kaltaisessa toiminnassa. Tätä voidaan ymmärtää paremmin tarkastelemalla yksittäistä tapausta, jossa kartoitetaan kohdeyrityksen ja tutkimuksen toimeksiantajan LapWall Oy:n tuotantoprosessin pullonkaulat ja häiriöt ja kehittämään prosessia näiden poistamisen kautta. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä ovat tuotannon ongelmakohdat tehokkuuden kannalta, ja mitä eri häiriöitä tuotantoprosessissa on?
2. Mitkä ovat keinot tuotannon häiriöiden poistamiseksi sekä sen tehokkuuden parantamiseksi?

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys ja sen muodostavat teoriakokonaisuudet ovat esillä kuvassa 1. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys eli luvuissa 2–3 käsiteltävä kirjallisuustutkimus koostuu yhteensä kolmesta eri teoriakokonaisuudesta. Ensimmäisessä teoriaosuudessa käsitellään prosessin kehittämistä Lean Six Sigma- filosofiasta peräisin olevan DMAIC-parannusmenetelmän mukaisesti. Kaksi seuraavaa teoriakokonaisuutta liittyvät tuotannon virtauttamiseen liittyviin käsitteisiin ja menetelmiin. Näistä ensimmäisessä pyritään löytämään tuotannon virtauttamisen menetelmiä teollisuuden prosessiluonteisesta tuotannosta sekä Lean-filosofiaan liittyvästä kirjallisuudesta. Toisessa teoriakokonaisuudessa pyritään löytämään tuotannon virtauttamisen menetelmiä rakennusteollisuuden yksittäisestä projektituotannosta.

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena on kerätä virtauttamiskäytäntöjä teollisuudenaloilta, joissa tuotanto on prosessiluonteista sekä toistuvaa ja yhdistää niihin vastaavia käytäntöjä rakennusteollisuudesta, jossa tuotanto on yksittäistä ja projektiluonteista. Tällä tavoin saatua eri virtauttamisteorioiden yhdistelmää pyritään soveltamaan tutkimuksen empiirisessä osassa kohdeorganisaation toimintaan ja saavuttaa tuotannon virtauttaminen, mikä on tutkimuksen toinen tavoite. Tutkimuksen kolmantena tavoitteena on löytää mahdollisimman kattavat vastaukset tutkimuksen tutkimuskysymyksiin.



Kuva 1. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys ja sen liittyminen empiiriseen osaan

1.3 Tutkimusstrategia

Tutkimusstrategia pitää sisällään tutkimuksen menetelmälliset ratkaisut, ja se eroaa käsitteenä tutkimusmetodista. Tällöin valittavan strategian kannattaa olla sellainen, joka tukee tutkimuksen tarkoitusta tai tehtävää. Tapaustutkimus (eng. case study) on yksi tutkimusstrategian tyypeistä, jossa yksittäisestä tapauksesta tai pienestä joukosta yksittäisiä tapauksia kerätään intensiivistä ja yksityiskohtaista tietoa. Tällöin tutkimuksen kohteena on jokin yksittäinen tapaus, jota tutkitaan yhteydessä sen luonnolliseen ympäristöön ja tilanteisiin. Tapaustutkimuksessa aineistoa kerätään useita metodeja käyttäen, kuten esimerkiksi havainnoimalla tai dokumentteja tutkien. Strategian tavoitteena on usein erilaisten ilmiöiden kuvailu. Tapaustutkimuksessa kiinnostuksen kohteena ovat yleensä tutkimusympäristön prosessit. (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 132–137.)

Tapaustutkimuksen sisältämät tiedonkeruu- ja analysointitavat vaihtelevat usein, eikä sitä siten voida pitää pelkästään aineistonkeruun metodina. Tällöin kyseisen strategian valitseminen ei rajoita käytettävien menetelmien käyttämistä. Tapaustutkimuksen tuloksella pyritään selittämään tutkittua ilmiötä, mutta tällöin ei tavoitteena ole tuottaa yleistettävää tietoa. Tapaustutkimus valitaan usein tutkimusstrategiaksi, kun pyritään tutkimaan kohdetta syvällisesti sekä sen ympäristössä olevia olosuhteita. Huolimatta siitä, että tapaustutkimuksen kohde on yksittäinen tapaus, kannattaa tutkimuksen tuloksia ar-

vioitaessa pohtia niiden yhteyttä laajempaan kokonaisuuteen. Tällöin kannattaa esimerkiksi pohtia, kuinka hyvin tuloksia voidaan soveltaa muussa toiminnassa. Aineiston hyvä esittäminen ja analysointi vahvistaa tutkimustulosten merkitystä ja oikeellisuutta. (Puusniekka & Saaranen-Kauppinen 2006.) Tämän tutkimuksen strategia on tapaustutkimus, jossa kerätään aineistoa puuelementtejä valmistavan tehtaan tuotannosta.

Kvantitatiiviselle tutkimukselle on ominaista koejärjestelyn tai aineiston keräyksen suunnittelu siten, että aineisto sopii numeeriseen mittaamiseen (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 140). Tämän tutkimuksen luonteessa on sekä kvalitatiivisen että kvantitatiivisen tutkimuksen piirteitä. Tutkimus on suurimmaksi osaksi kvalitatiivinen, mutta osa tutkimusaineistosta ja sen analysoimisesta (alaluvut 5.4 ja 6.2) on kvantitatiivista tutkimusta. Luvun 2 ja 3 teoriaosuuden tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta. Luvun 5–6 tapaustutkimuksen aineistonkeruun menetelmät on määritelty alaluvussa 5.1.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne koostuu neljästä osasta ja seitsemästä luvusta. Tutkimuksen rakenne on esitetty kuvassa 2. Tutkimuksen osat ovat johdanto, kirjallisuustutkimus, empiirinen tarkastelu ja yhteenveto. Johdanto sisältää luvun 1, kirjallisuustutkimus luvut 2–3 ja empiirinen tarkastelu luvut 5–6. Yhteenveto on työn luvussa 7.

Tutkimuksen luvussa 1 esitellään tutkimuksen tausta ja rajaus. Lisäksi luvussa esitellään tutkimuksen tärkeimmät tavoitteet sekä tutkimuskysymykset, joihin tutkimus pyrkii vastaamaan. Luvussa esitellään myös tutkimuksessa käytetty tutkimusstrategia ja viimeisenä luvussa käsitellään karkeasti tutkimuksen rakenne. Luku 2 tarkastelee prosessin kehittämistä DMAIC-menetelmän mukaisesti sekä Lean-tuotantofilosofian periaatteita. Luvussa 3 tarkastellaan tuotannon virtauttamisen käytäntöjä eri teollisuuden aloilla. Luku 4 esittelee tutkimuksen kohdeyrityksen ja sen toimintaa sekä luvussa 5 tuodaan esille tapaustutkimuksessa käytetyt aineistonkeruun menetelmät ja tutkimusaineisto. Luvussa 6 tarkastellaan tuotannon virtauttamista DMAIC-parannusmenetelmän mukaisissa vaiheissa. Luku 7 käsittelee tutkimuksen yhteenvetoa eli tutkimuksen keskeisiä tuloksia ja vastaa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Lopuksi arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta ja jatkotutkimusehdotuksia.

<p>1. Johdanto</p> <p>Luvussa esitellään tutkimuksen tausta, rajaus, tavoitteet, tutkimuskysymykset, tutkimusstrategia ja rakenne.</p>		
<p>Kirjallisuustutkimus</p>		
<p>2. Prosessin kehittäminen DMAIC-menetelmällä Lean-kontekstissa</p> <p>Luvussa esitellään Lean-tuotantofilosofian periaatteita ja DMAIC-prosessinparannustyökalu.</p>	<p>3. Tuotannon virtauttaminen eri teollisuuden aloilla</p> <p>Luvussa esitellään tuotannon virtauttamiseen liittyviä tekijöitä ja käsitteitä prosessiluonteisessa, toistuvassa tuotannossa ja rakennusteollisuuden projektituotannossa.</p>	
<p>Empiirinen tarkastelu</p>		
<p>4. Tutkimuksen kohdeyritys ja sen toiminta</p> <p>Luvussa esitellään kohdeyritys, jonka toimeksiantona tutkimus tehdään ja jonka toimintaan tutkimuksen sisältö liittyy.</p>	<p>5. Puuelementtituotannon tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto</p> <p>Luvussa esitellään tutkimuksessa käytetyt aineistonkeruun menetelmät, tutkimuksen tyyppi ja kerätty tutkimusaineisto. Lisäksi luvussa esitellään aineiston keräys-, analysointi- ja dokumentointitavat.</p>	<p>6. Tuotantoprosessin virtauttaminen</p> <p>Luvussa käsitellään puuelementtien tuotantoprosessin virtauttaminen DMAIC-parannusmenetelmän mukaisissa vaiheissa.</p>
<p>7. Yhteenveto</p> <p>Luvussa käsitellään tutkimuksen tulokset sekä vastataan niiden perusteella tutkimuskysymyksiin. Tämän lisäksi luvussa arvioidaan suoritettujen tutkimusten luotettavuus ja esitellään ehdotukset jatkotutkimusten kohteiksi.</p>		

Kuva 2. Tutkimuksen rakenne

2. PROSESSIN KEHITTÄMINEN DMAIC-MENETELMÄLLÄ LEAN-KONTEKSTISSA

Tässä luvussa käsitellään Lean-tuotantofilosofian periaatteita sekä sen sisältämää DMAIC-prosessinparannustyökalua. Kyseinen parannustyökalu toimii tutkimuksen empiirisen tarkasteluvaiheen rakenteena, jolloin prosessin kehittäminen eli tuotannon virtauttaminen toteutetaan sen määrittämässä vaiheissa.

2.1 Lean -tuotantofilosofia

Lean on tuotantofilosofia, jossa pyritään poistamaan kaikki sellainen toiminta, joka ei tuota lisäarvoa toiminnan kohteena olevaan arvovirtaan. Lean- tuotannon alkuperänä pidetään autonvalmistaja Toyotan tuotantojärjestelmää (eng. Toyota Production System, TPS). Sen pääperiaatteina olivat hukan vähentäminen ja lisäarvon luominen, joita nykyinen lean-tuotanto soveltaa ja kehittää edelleen. (Bellgran, Säfsten 2010, s. 29.) Toisen maailmansodan jälkeen Toyotan johto halusi kehittää tuotantoaan tehokkaammaksi. Tämä oli kuitenkin vaikeaa taloudellisten syiden sekä vieraisiin työjärjestelyihin siirtymisen vuoksi. Taiichi Ohno rakensi uuden tuotantojärjestelmän keskittyen kolmeen perussääntöön, joita olivat vain välttämättömän toiminnan ylläpitäminen, lisäarvoa tuottamattoman toiminnan poistaminen ja toiminnan pysähtyminen ongelmatilanteissa. Toyotan tuotantojärjestelmästä kehittyi siten järjestelmä, jossa autoja valmistettiin aikaisempaa nopeammin ja pienemmillä kustannuksilla. (Charron, Harrington et al. 2014, s. 49; Stevenson s. 609.)

Vuonna 1987 MIT:n tutkijana työskennellyt John Krafcik kuvaili TPS- järjestelmää siten, että siinä tarvittiin aikaisempaa vähemmän ihmisten panoksia tuotteiden ja palveluiden suunnittelussa ja tuotteisiin ilmestyi entistä vähemmän vikoja. TPS käytti Krafcik:in mukaan myös vähemmän tavarantoimittajia ja siinä siirryttiin konseptista käynnistykseen, tilauksesta toimitukseen ja ongelman korjaamiseen lyhyemmässä ajassa ja pienemmillä ihmisten panoksilla. Lisäksi varastointia tarvittiin vähemmän jokaisessa prosessin vaiheessa ja henkilövahinkoja tapahtui vähemmän. Nimitys *Lean* on lähtöisin Krafcikin silloisesta kommentista: "It needs less of everything so let's call it Lean". (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 6–7.)

Toyotan käyttämä lähestymistapa Leaniin ja siihen liittyvät viisi käsitettä ovat olleet esimerkkinä monen muun tuotantojärjestelmän toteutuksessa. Lean-filosofiassa hukalla (jap. muda) tarkoitetaan kaikkea lisäarvoa tuottamatonta toimintaa (eng. no value added,

NVA) tai toimintaa, joka häiritsee arvoa tuottavaa toimintaa. Muda jakautuu seitsemään hukun lajiin, joita ovat *ylituotanto*, *odottaminen*, *tarpeeton käsittely*, *varastointi*, *kuljetaminen*, *tarpeeton liikkuminen ja vialliset tuotteet*. Lean-filosofiassa pyritään kaikkien hukkalajien poistamiseen toiminnasta. Hukan eri muotojen poistamista varten on olemassa Toyotan käyttämät neljä menetelmää. Ensimmäisenä menetelmänä on manuaalinen tuotannonajoitusjärjestelmä, (jap. Kanban), joka auttaa ymmärtämään osien ja materiaalien toimitustarpeen ajan ja sijainnin suhteen. Toisena menetelmänä on työkuormituksen tasoitus (jap. Heijunka), jossa tuotantovolyymit ja vaihtelu pyritään tasoittamaan. Kolmas menetelmä on järjestelmän jatkuva parantaminen (jap. Kaizen). Neljäs periaate on pysähtyminen havaittaessa virheitä, mikä tunnetaan Lean-käsitteenä autonomaatio (jap. Jidoka) (Ohno 1988, s. 19–22; Stevenson 2018, s. 610–611.) Hukalla tarkoitetaan kaikkea sellaista toimintaa, josta asiakkaan ei oleteta haluavan maksaa. Tämän vastakohta on ulkoiselle asiakkaalle arvoa tuottava toiminta (eng. value added, VA). (Charron, Harrington et al. 2014, s. 236.)

Six Sigma on useiden tekniikoiden ja työkalujen muodostama tuotannonhallinnan menetelmä, jossa pyritään parantamaan tuotteen tai palvelun laatua tunnistamalla ja poistamalla prosessin virheitä sekä niiden syitä ja minimoimalla prosessien vaihtelevuutta (Brue 2015). Menetelmässä käytetään laatutyökaluja kokeellisen suunnittelun ja tilastollisen analyysin kanssa ongelmien tutkimiseen ja ratkaisemiseen sekä lisäksi prosessien optimointiin. Näillä keinoilla voidaan parantaa laatua ja laskea kustannuksia. (Sower 2011, s. 119.)

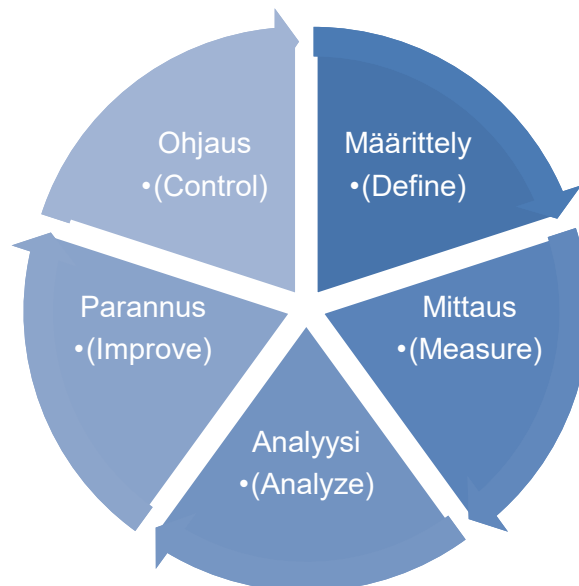
Menetelmä syntyi 1980-luvulla Yhdysvalloissa, kun Motorolan silloinen toimitusjohtaja Bob Calvin asetti yhtiön tavoitteeksi parantaa toimintaansa viidessä vuodessa keskittymällä maailmanlaajuiseen kilpailukykyyn, osallistavaan johtamiseen, laadunparantamiseen ja koulutukseen. Yhtiön silloinen laatuinsinööri Bill Smith keksi parannusmittaristolle nimen Six Sigma. Yhtiön kaikki työntekijät kävivät läpi menetelmää koskevan koulutuksen ja Six Sigmaa sovellettiin siitä lähtien kaikissa Motorolan liiketoiminnan prosesseissa. 1990-luvulla General Electricin kokeiluhankkeen myötä menetelmä tuli tunnetuksi laajemmin tuotantopohjaisissa yrityksissä. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 8–9.) Lean- tuotantofilosofia ei yksinään tarkastele prosessien puutteita tilastollisen datan avulla. Six Sigma- menetelmistä puuttuu keinoja nopeuden parantamiseksi, kustannusten vähentämiseksi ja säästöjen saavuttamiseksi. Kun Lean- filosofia ja Six Sigma- menetelmät yhdistetään samaksi prosessiksi, saadaan vähennettyä molempien kyseisiä puutteita. (Jones 2014, s. 79–80.) Lean Six Sigma- prosessissa (LSS) yhdistetään Six

Sigman prosessien vaihtelun vähentämisen ja virheiden poistamiseen sekä Leanin välttämättömien kustannusten ja arvoa tuottamattomien vaiheiden tunnistamiseen ja läpimenoajan vähentämiseen tarkoitettuja menetelmiä (Sower 2011, s.119).

Lähtökohdiltaan samanlaiset tuotteet eivät ole koskaan täysin samanlaisia, vaikka ne pyritäisiin tekemään samanlaisiksi. Tätä sanotaan tuotteen tai prosessin *vaihteluksi*. Esimerkiksi kaksi saman mallin ja vuosimallin ajoneuvoa eivät täysin samanlaisia. Kun tuotteiden lopullisten ominaisuuksien välillä esiintyy vaihtelua, asiakkaat eivät koe tuotteen suorituskyvyn olevan keskimääräisellä tai tavallisella tasolla vaan osa asiakkaista kokee tuotteen suorituskyvyn tavallista tasoa huonompana ja jotkut parempana. Tuotteen tai prosessin vaihtelun vähentämisellä voidaan saada suuremmaksi sitä osuutta asiakkaista, jotka kokevat tuotteen tai palvelun laadun korkeana. Lean Six Sigma auttaa vähentämään tuotteen tai palvelun vaihtelua. (Zhan & Ding 2016, s. 51.)

2.2 DMAIC-parannustyökalu

Lean Six Sigma- prosessin vaiheet ovat määrittely (eng. Define), mittaus (eng. Measure), analyysi (eng. Analyze), parannus (eng. Improve) ja ohjaus (eng. Control), jotka ovat esitettynä yhtenäisenä sykliprosessina kuvassa 3. Vaiheille käytetään myös yhteisnimitystä DMAIC. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 13.)



Kuva 3. Parannusprosessin vaiheet DMAIC-syklinä (muokattu Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 14)

Lean Six Sigmaa pidetään yleensä ongelmanratkaisutyökaluna, mutta on tärkeämpää pitää sitä parannusprosessina (Zhan & Ding 2016, s. 55). DMAIC-parannusprosessin lähtökohtana on määrittellä parannushankkeen kohteena oleva ongelma sekä tavoitteet, johon parannuksessa pyritään (määrittely). Tämän jälkeen toiminnan nykytilaa mittaamaan kehitetään mittareita (mittaus), jotka tuottavat dataa prosessin nykyisestä toiminnasta ja toimivuudesta. Tuotetun datan perusteella selvitetään toiminnan nykytilan juurisyyt sekä tunnistetaan keinot, joilla parannushankkeen tavoitteisiin päästään (analyysi). Datat perusteella päätetään, millä parannusvaihtoehdoilla toimintaa lähdetään parantamaan ja millaiseksi uusi järjestelmä tulee (parannus). Viimeinen vaihe on parannetun prosessin ohjaus, jossa uusi järjestelmä vakinaistetaan uudeksi prosessiksi. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 13–15; Sower 2011, s.194–195.)

2.2.1 Parannusprojektin määrittely ja kuvaaminen

Määrittelyvaiheessa pyritään määrittämään parannusprojektin laajuus ja keräämään taustatietoja parannettavan prosessin nykytilasta, johon parannusprojekti kohdistuu. Vaiheen alussa tehdään projektikaavio parannusprojektista, johon merkitään sen oleelliset tiedot, kuten esimerkiksi sen kohteena olevan ongelman kuvaus, projektin laajuus, suorituskyvyn parantamisen arvioinnissa käytetyt suorituskykymittarit sekä projektin potentiaaliset riskit. (Zhan & Ding 2016, s. 57.)

Joissakin tapauksissa on tärkeää kuvata yksityiskohtaisesti toiminnan kannalta kriittisten prosessien osat. Prosessin yksityiskohtaisessa kuvauksessa erotellaan mittaus- ja ohjeistuskelpoiset tehtävät, tehtävien keskinäinen riippuvuus materiaali- ja tietovirtoineen, roolit sekä tehtävien suorittamisen vastuut. Joskus myös tehtävien tarvitsema välineiden ja tiedon kuvaus voidaan toteuttaa. Toisinaan kuvattava prosessi voi sisältää epävarmuutta ja sen täysin samanlainen toteuttaminen peräkkäin ei ole välttämätöntä. Tällöin prosessia ei kannata kuvata kovin yksityiskohtaisesti. Tämänkaltaisen tilanteen on tärkeää erottaa yksityiskohtaisen kuvauksen tilanteesta, jossa yksityiskohtainen kuvaus on pakko tehdä toteuttavien osapuolten yhdenmukaisen tiedon vuoksi prosessin ollessa sellainen, että se täytyy toteuttaa aina samalla tavalla. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 10–11.) Kerätyt tiedot parannusprojektin kohteena olevan toiminnan asiakkaiden tarpeista analysoidaan ja tämän pohjalta tehdään analyysi kriittisistä laatutekijöistä (eng. critical to quality, CTQ). CTQ-analyysi johdattaa korkeatasoiseen ymmärrykseen siitä, mikä on kriittistä parannusprojektin onnistumiselle. (Zhan & Ding 2016, s. 57.)

CTQ- analyysi, joka tunnetaan myös CTQ- puuna, perustuu asiakkaan syvällisempään tutkiskeluun ja asiakastarpeen tuntemukseen ja se auttaa paremmin määrittämään asiakastarpeesta johtuvat, omaa toimintaa koskevat muutostoimenpiteet. Analyysin lähtökohtana on tiivistää asiakkaan tarpeet yhdeksi kokonaiseksi tarpeeksi. Asiakkaan tarve on usein jollakin tapaa yleinen, mutta asiakastarpeen subjektiivisuuden takia sen määrittäminen omaa toimintaa mahdollisimman hyvin ohjaavaksi käsitteeksi on kuitenkin vaikeaa. Analyysi koostuu yleensä kahdesta tai kolmesta tasosta, jossa *tarve* on lähtötasona. Asiakastarpeen tason jälkeen on *ajurit*- taso, jossa asiakastarve johdetaan oman toimintaan liittyen helpommin määriteltäviksi käsitteiksi, ajureiksi. Seuraava eli CTQ-taso sisältää kriittiset laatutekijät, jotka on edelleen kehitetty ajureista. Kriittiset laatutekijät kuvaavat ajureita tarkemmin tarpeesta muodostuvia oman toiminnan muutostoimenpiteitä. (Zhan & Ding 2016, s. 75–76.)



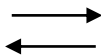






2.2.2 Prosessin nykytilan mittaaminen

Mittaus-vaiheen alussa kuvataan parannettavan prosessin nykytila (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 35). Tarkasteltava prosessin sisältö ja sen tehtävä vaikuttaa mallinnustavan valintaan. Prosessin kuvaaminen tarkoittaa lisäarvon luomisen kannalta oleellisten tehtävien sekä informaatio- ja materiaalivirtojen tunnistamista ja kuvaamista. Prosessin ensimmäiset tunnistettavat osat ovat alku ja loppu sekä syötteet ja tuotokset. Prosessin rajausta voidaan toteuttaa myös yleisellä tasolla syötteiden ja tuotosten tason lisäksi, jolloin hahmotetaan prosessin rajapinnat, lisäarvo ja resurssit. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 9.)

Prosessin nykytilannetta kuvattaessa sopiva etenemistapa on seurata arvoa lisääviä tehtäviä sekä materiaali- ja informaatiovirtoja niiden nykyisen toteutumisen mukaisella tavalla. Prosessin tavoitetilannetta kuvattaessa on suotuisampaa edetä lopusta alkuun. Prosessin karkeassa kuvauksessa prosessia kuvataan ydinprosessin karkean kuvauksen tasolla ja ydinprosessin sisällön kuvauksen tasolla. Ydinprosessin karkean kuvauksen tasolla tunnistetaan prosessin vaiheet eli lisäarvoa tuottavat tehtävät. Ydinprosessin sisällön kuvauksen tasolla prosessia käsitellään tarkemmin, jolloin tunnistetaan keskeiset päätökset sekä eri vaiheiden syötteet ja tuotokset. Toisella tasolla kuvataan karkeasti lisäksi vaiheiden päätösten sisältö ja tunnistetaan prosessin rajapinnat, resurssit ja erilaiset tuet. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 10)

Prosessin yksityiskohtaiseen kuvaukseen on olemassa monia eri tapoja eikä siihen ole olemassa yksittäistä standardisoitua kuvaustapaa. Yleisiä yksityiskohtaisen kuvausta-

son tapoja ovat vuokaavio, tehtävämatriisi, *uimaratakaavio sekä tekstimuotoinen ohjeistaminen*. Uimaratakaavion ja vuokaavion yleisimmät merkintätavat ovat kuvassa 4. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 11.)

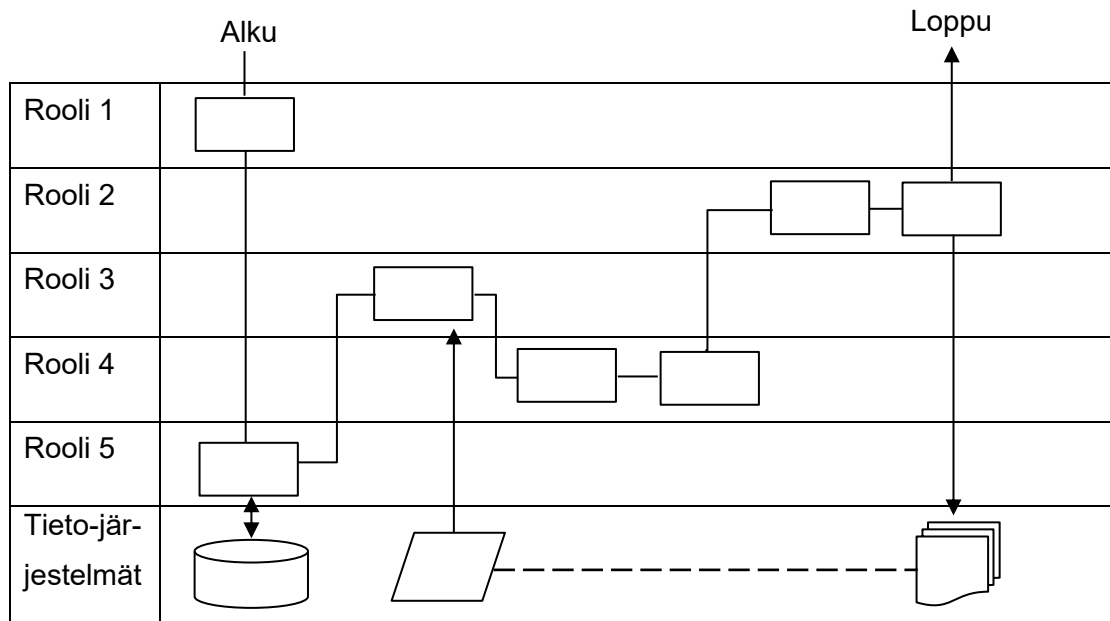
Merkintä	Merkitys
	Aloitus tai lopetus
	Tehtävä tai prosessi
	Materiaali- tai tietovirta (merkintä eri värein ja viivatyypein myös mahdollinen)
	Päätös
	Dokumentti
	Tietojärjestelmä/varasto
	Varasto
	Data
	Viive, odotus

Kuva 4. *Prosessikuvausten yleisimmät merkintätavat (mukaillen Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 11)*

Uimaratakaavion nimityksen alkuperä tulee vaakasuuntaisista linjoista, jotka jakavat kaavion vaakasuuntaisiksi uimarataa muistuttaviksi kaistaleiksi (kuva 5). Englanninkielisiä nimityksiä kaaviotyypille ovat swimlane map ja deployment flow chart. Jokainen uimarata käsittää yhden henkilön tai joukon vastuualueen. Tämä kaaviotyyppi korostaa vastuualueiden rajapintoja ylittäviä materiaali- ja tietovirtoja, joka on tärkeää vastuualueiden rajoissa usein piilevien ongelmien takia. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Lean-ajattelussa paljon käytettyä arvovirtakarttaa (eng. value stream mapping, VSM). Organisaation valmiiksi käyttämään prosessien kuvaustapaa kannattaa käyttää, mikäli sellainen on olemassa. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 36–37.; Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 10–11.)

Erilaisiin suhdekaavioihin verrattuna uimaratakaavio pyrkii selventämään, missä ovat työnkulun alku- ja loppupiste. Kaaviotyyppi pyrkii osoittamaan ne aktiviteetit eli toimet, jotka tuottavat pääosan työnkulun tuotoksesta ja tämän lisäksi se kuvaa näiden toimien järjestyksen. Kaavio näyttää jokaisen aktiviteetin syötteen ja tuotoksen sekä ilmentää

selväpiirteisen arvonmuodostumismuutoksen näiden välillä. Lisäksi kaaviotyypin näyttää työnkulun laukaisevan tekijän sekä sen lopettavan, laskennallisen lopputuloksen. (Damelio 2011, s.73, 88.) Martinsuon ja Blomqvistin (2010) esimerkkikaavio uimaratakaaviosta on kuvassa 5.



Kuva 5. Esimerkki uimarata-kaaviotyypin prosessin tai osaprosessin kuvauksesta (mukaillen Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 12)

Nykytilan kuvauksessa olevien tehtävien ja tuotosten toteutustavan kriittinen tarkastelu on tärkeää ja prosessin nykytilanteen kuvaus voi olla vaikea ja epämääräinen. Tämä toimii lähtökohtana prosessin kehittämisen keinoille, jonka takia on tärkeää pitää tavoitetilan ja nykytilanteen kuvaukset erillään kuvauksessa. Tavoitetilanteen kuvauksen on oltava yksinkertainen ja toteuttamiskelpoinen eikä siinä saisi olla ylimääräisiä, asiakkaan arvoa lisäämättömiä tehtäviä, resursseja tai järjestelmiä. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 13.)

Nykytilan mittaamiseksi joudutaan keräämään dataa, jonka perusteella toiminnan nykytilaa arvioidaan myöhemmin analyysivaiheessa. Tätä varten laaditaan tarvittaessa mitausjärjestelmäanalyysi. Lean-ajattelun keskeisiä mittareita ovat tuottavuus, laatu, läpäisy aika, keskeneräinen tuotanto sekä mitattavat hukat eri lajit. Mittaamisen tarkoituksena ei ole kohdistaa tarkkailua henkilökohtaisesti työntekijöihin vaan ongelmakohtien

nopea havaitseminen. Mittauksen tavoitteet ovat parannusprojektin selkeiden tavoitteiden asettaminen, poikkeamien ja ongelmien nopea havainnointi, sekä kehitystoimenpiteiden vaikutusten seuranta. (Kouri 2010, s. 28–29.)

Läpäisy aika (eng. lead time, LT) käsittää sen aikavälin pituuden, jonka toimintaketju vaatii. Kokonaisläpäisy aika tarkoittaa tilauksen ja toimitukseen saattamisen välistä aikaa. Valmistuksen läpäisy aika on tuotteen valmistuksen aloittamisen ja valmistumisen välinen aika. Valtaosa läpäisy ajasta on usein odotusaikaa, jolloin työnvaiheajat ovat vain murto-osa läpäisy ajasta. Ollessaan lyhyitä läpäisy ajat vaikuttavat yritykseen positiivisesti monella tapaa ja usein aikamäärien lyhentäminen on usein tuotannon kehittämisen tavoitteena. (Haverila, Uusi-Rauva et al. 2009, s. 401.)

Läpäisy ajan lyhentäminen on Lean- ajattelun keskeisimpiä periaatteita. Tämän edellytykseksi on mitattava prosessin läpäisy aika, jonka prosessin nykyinen toteutustapa kuluttaa. Tämä voidaan toteuttaa siten, että prosessista mitataan ensin sen jokaisen vaiheen kuluttama keskimääräinen läpäisy aika, jonka jälkeen ne lasketaan yhteen. Prosessin vaiheen keskimääräinen läpäisy aika saadaan siis selvitettyä mittaamalla prosessin saman vaiheen keston useampaan kertaan ja laskemalla niiden keskiarvon. Prosessivaiheen läpäisy aika ei välttämättä sisällä pelkästään varsinaista käsittelyn vaatimaa aikaa vaan se voi sisältää myös sisältää myös esimerkiksi odotusta. Prosessin vaiheen sisältämän varsinaisen käsittelyn kuluttama aika on vaihe aika. *Vaihe aika* tarkoittaa sen aikavälin pituutta, jonka yksittäinen työtehtävä kuluttaa työpisteellä. Tämän ajan kuluttua toiminta siirtyy seuraavalle työpisteelle. Vaihe ajan tarkastelu voidaan tehdä joko tuote-, kone- tai työntekijäkohtaisesti. (Ahokas, Neuvonen et al. 2011, s. 7; Bradley 2016, s. 29–33.)

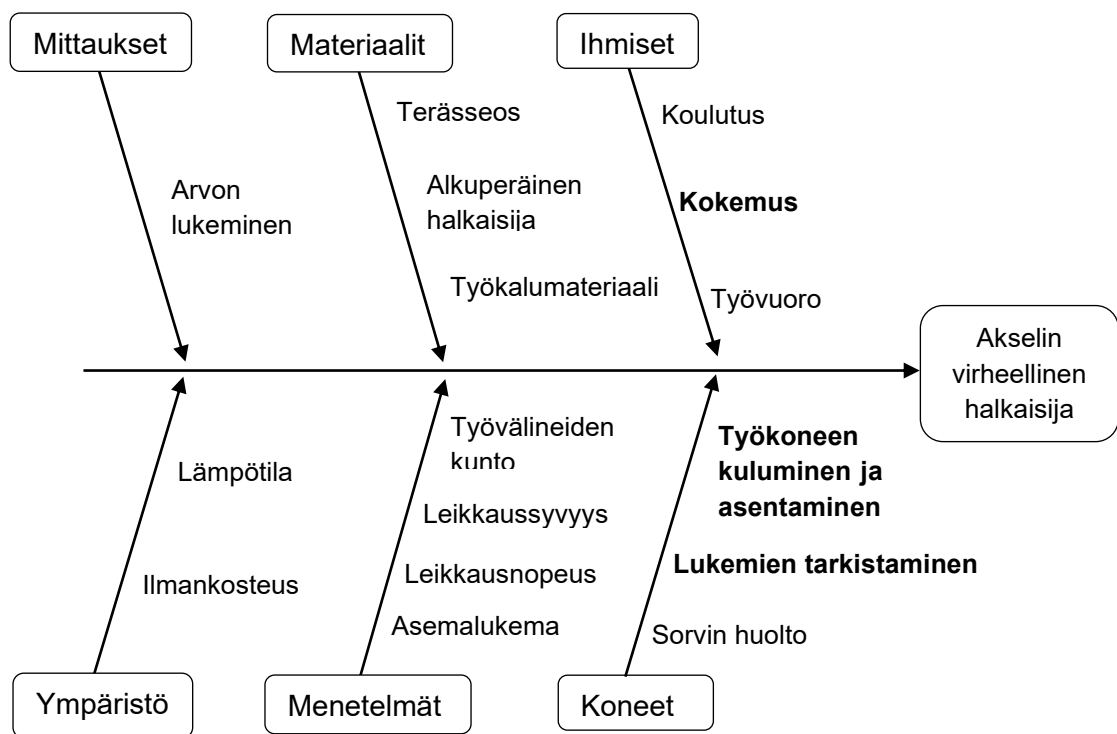
2.2.3 Prosessin analysointi

DMAIC- prosessin mittausvaiheessa kerättyä dataa käytetään tulkitsemaan prosessin suorituskykyä analyysivaiheessa. Analyysi-vaiheessa tunnistetaan juurisyyt parannettavan prosessin ongelmalle kerätyn aineiston perusteella *juurisyyanalyysissa*, mikä mahdollistaa ratkaisukeinojen kehittämisen parannusvaiheessa. Tällöin on välttämätöntä, että johtopäätökset tehdään mittaus- vaiheessa kerätyn datan perusteella. (Zhan & Ding 2016, s. 60; Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 47.)

Juurisyyanalyysissa tunnistetaan ongelman todellinen syy sekä välttämättömät toimenpiteet sen poistamiseksi. Tähän ei ole ainoastaan yhtä tiettyä toimintatapaa, vaan analyysi käsittää laajan joukon lähestymistapoja ja työkaluja. Juurisyyanalyysin työkalut luo-

kitellaan ryhmiin niiden käyttötarkoituksen mukaan. Työkaluryhmiä ovat tällöin esimerkiksi ongelman syyn datan analysointi- sekä juurisyiden tunnistustyökalut. (Andersen & Fagerhaug 2006.)

Läpäisyaikaa on pyrittävä lyhentämään ensisijaisesti niillä keinoilla, jotka lisäävät asiakkaan kokemaa arvoa tehokkaimmin, mutta kyseiset keinot eivät kuitenkaan saa alentaa koettua asiakasarvoa. Osa läpäisyajan sisältämästä toiminnasta on NVA- eli arvoa tuottamatonta toimintaa, jolloin sen katsotaan olevan hukkaa (jap. muda). Tällöin arvoa tuottamatonta toimintaa asetetaan läpäisyajan vähentämiskeinojen kohteeksi. Arvonlisäys-suhde (eng. value-added ratio, VAR) on asiakkaan kokemaa arvoa tuottaman toiminnan VA kuluttaman ajan prosentuaalinen osuus prosessin koko läpäisyajasta. Arvonlisäys-suhde ja läpäisy aika ovat prosessin kokonaisvaltaisen suorituskyvyn tärkeimpiä mittareita. (Bradley 2016, s. 35–37.) Tarkasteltavan ongelman aiheuttamien juurisyiden tunnistamiseen juurisyysanalyysissä voidaan käyttää kalanruotokaaviota (eng. fishbone diagram), josta on esitettyä esimerkkipäiväkuva kuvassa 6. Esimerkki kalanruotokaaviosta on esitettyä kuvassa 6. (Brussee 2012.)



Kuva 6. Esimerkki kalanruotokaaviosta (syötettävien muuttujien vaikutus akselin halkaisijan virheeseen) (muokattu Brussee 2012)

Muita tunnettuja nimityksiä kalanruotokaaviolle ovat Ishikawan diagrammi (eng. Ishikawa diagram) ja syy-seuraus-kaavio (eng. cause and effect diagram). Kyseistä kaaviota käytetään yleensä DMAIC- prosessin määrittely-, analyysi- ja parannusvaiheessa tunnistamaan prosessista ne tekijät, jotka voivat aiheuttaa tarkastelun kohteena olevan ongelman. Kalanruotokaaviossa jokainen ruoto esittää prosessin ongelman syiden yhtä kategoriata ja kalan pää esittää prosessin ongelmaa, jonka juurisyyt aiheuttavat. Kuvan 5 kalanruotokaaviossa vaikuttavien muuttujien eli juurisyiden kategoriat ovat mittaukset, materiaalit, ihmiset, menetelmät, koneet ja ympäristö. Ongelman merkittävimmät juurisyyt ovat lihavoituna kuvan 6 kaaviossa. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 58–59; Brussee 2012.)

Kalanruotokaaviota laadittaessa määritellään ensin ongelma, jonka jälkeen se sijoitetaan kalanruotokaaviossa suuren nuolen päähän. Tämän jälkeen täytyy tunnistaa ja kuvailla neljästä kuuteen kategoriata, joihin ongelman mahdollisesti aiheuttamat pääsyyt ryhmitellään. Teollisuudessa sekä teollisessa tuotannossa usein käytettyjä pääsyykategorioita ovat: (Murdock 2018.)

- Koneet, laitteet tai teknologia
- Menetelmät tai prosessi
- Materiaalit tai raha
- Henkilöstö tai työvoima
- Mittaus tai tarkastus
- Ympäristö tai luonto
- Huolto
- Toimittajat

Riippuen tarkasteltavan toiminnan luonteesta kategorioiden määrä voi olla kuutta kategoriata suurempikin. Kaavioon voidaan sijoittaa myös sellaisia kategorioita, joita ei yleensä käytetä kyseessä olevan toiminnan tai toimialan yhteydessä. Kategoriat yhdistetään nuolella kalan selkäruotoon eli ongelmaan johtavaan suurimpaan nuoleen. Kun ongelman pääsyyt on ryhmitelty kategorioihin, myös niille tunnistetaan syyt. Näitä ongelman pääsyyille tunnistettavia syitä kutsutaan sekundaarisiksi syiksi. Sekundäärisistä syistä valitaan lopuksi kahdesta kolmeen ongelman juurisyiksi sen perusteella, kuinka merkittävästi niiden katsotaan vaikuttavan ongelmaan. (Murdock 2018.)

2.2.4 Prosessin parantaminen

DMAIC- prosessin parannusvaiheessa kehitetään potentiaalisia ratkaisuvaihtoehtoja analyysivaiheessa todetuille ongelman juurisyille. Tällöin kaikki ehdotukset ja toimenpiteet täytyy perustua analyysivaiheessa tehtyyn prosessin analyysiin. Pyrkimyksenä on poistaa prosessissa oleva ongelma kehittämällä ratkaisuja, jotka vaikuttavat suoraan sen aiheuttamiin juurisyihin. Parannus- vaiheen katsotaan olevan valmis, kun prosessikaavion ongelmakohtiin vastaavat ratkaisut ovat valmiina toteutettaviksi. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 63.)

Parannus-vaiheen alussa etsitään ensin potentiaaliset ratkaisut. Tämän jälkeen löydetystä ratkaisuvaihtoehdoista valitaan sopivin vaihtoehto jokaisen esiin nousseen ongelman juurisyyn ratkaisuksi. Ratkaisuvaihtoehdon valintaa voidaan helpottaa esimerkiksi päätösmatriisin avulla. Seuraavaksi luodaan kaavio prosessin tavoitetilasta, jotta eri sidosryhmät ymmärtävät paremmin uusien ratkaisujen vaikutusta prosessiin ja jotta työntekijät oppivat uuden prosessin sisältämät käytännöt paremmin. Tämän jälkeen tunnistetaan uuden prosessin sisältämät riskit ja pyritään pienentämään niitä. Valmista uutta prosessia kokeillaan tarvittaessa pilottikokeilulla pienemmässä laajuudessa, jolloin varmistetaan ratkaisujen sopivuudesta sekä kokeillaan niiden toimeenpanoa. Samalla voidaan pienentää prosessin ratkaisujen epäonnistumisen riskiä, viimeistellä ratkaisuja sekä varmistua siitä, että osoitetut hyödyt ovat mahdollisia. Pilottikokeilu on toteutettava realistisissa olosuhteissa, jolloin on otettava huomioon esimerkiksi kokeilun toteuttavien työntekijöiden kokemus- ja taitotaso. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 64–74; Gitlow, Melnyck et al. 2015.)

2.2.5 Parannetun prosessin ohjaus

Ohjaus-vaihe on DMAIC- prosessin viides ja viimeinen vaihe. Tässä vaiheessa varmistetaan, että valitut prosessin parannustoimenpiteet toteutuvat suunnitellun mukaisesti myös käytännössä. Lisäksi vaiheessa varmistetaan, että tehdyt parannusratkaisut todella parantavat prosessia ja että niitä voidaan ylläpitää osana toimintaa. Prosessin tilaa ennen parannusta verrataan parannettuun prosessiin ja käyttämällä määrittelyvaiheessa määrättyjä mittareita. Prosessin parannusmuutosten on oltava organisaation muutoksenhallinnan vaatimusten ja käytäntöjen mukaisia ja myös tämä täytyy varmistaa osana vaihetta. Lopuksi päättyneestä parannusprojektista dokumentoidaan tärkeimmät havainnot, suositukset sekä saadut kokemukset. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 75; Zhan & Ding 2016, s.65–66.)

Kuten parannusvaiheessa, myös ohjausvaiheessa pyritään tunnistamaan uuden prosessin sisältämiä riskejä sekä pienentämään niitä. Seuraavaksi parannusratkaisut standardisoidaan ISO- protokollien mukaisesti, jonka jälkeen luodaan ohjaussuunnitelma prosessin parannusratkaisujen ylläpitämiseksi. Lopuksi vahvistetaan parannusprojektista saadut hyödyt sekä siitä koituneet kustannukset. (Gitlow, Melnyck et al. 2015.)

3. TUOTANNON VIRTAUTTAMINEN ERI TEOLLISUUDENALOILLA

3.1 Teollinen tuotanto ja prosessiajattelu

Tässä aluvussa käsitellään teoreettisesti prosessien sekä prosessiluontoisen tuotannon piirteitä, joita esiintyy teollisesti valmistettujen puuelementtien tuotannossa. Aluvussa 3.1.1 käsitellään prosessin kehittämisen periaatteita, aluvussa 3.1.2 käsitellään valmistuksen läpäisyaikaa ja sen rakennetta sekä siihen vaikuttavia asioita ja aluvussa 3.1.3 käsitellään tuotteen moduloinnin hyöty- ja haittapuolia.

3.1.1 Prosessin virtaus- ja resurssitehokkuus

Perinteisenä tehokkuuden muotona, tehokkuustarkastelun lähtökohtana sekä eri alojen organisaatioiden muodostamisen, ohjaamisen ja johtamisen periaatteena on käytetty resurssitehokkuutta. Järjestelmä on resurssitehokas, jos se käyttää resursseja mahdollisimman tehokkaasti. *Resurssitehokkuus* mittaa tietyn ajanjakson aikana käytetyn resursin suhteellista määrää kyseiseen ajanjaksoon verrattuna. Tehokkuuden toisena muotona voidaan pitää virtaustehokkuutta. Verrattaessa resurssitehokkuutta virtaustehokkuuteen huomio siirtyy resurssien hyödyntämistehokkuudesta virtausyksikön jalostumisnopeuteen eli jalostusmäärään tietyn aikavälin sisällä. Teollisuuden virtausyksiköitä ovat erilaisista materiaaleista jalostettavat tuotteet. Virtaustehokkuuden mittaamisen ajanjakso kestää tarpeen tunnistamisesta tarpeen tyydyttämiseen. Resurssien tehokas hyödyntäminen ja asiakastarpeiden tehokas tyydyttäminen ovat yhtä tärkeitä, jolloin sekä hyvä resurssitehokkuus että virtaustehokkuus ovat yhtä tärkeitä näkökulmia tarkastellessa organisaation suorituskykyä. Resurssitehokkuutta käytetään kuitenkin eri organisaatioissa yleisemmin kuvaamaan suorituskykyä, kuin virtaustehokkuutta. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 9–15.)

Latinan kielen sanat *processus* ja *procedere* tarkoittavat karkeasti ilmaistuna eteenpäin viemistä ja sana *prosessi* on peräisin näistä sanoista. Virtausyksikkö on prosessissa eteenpäin vietävä asia eli asia, jota jalostetaan. Prosessin määrittelemisessä on tärkeää käyttää virtausyksikön näkökulmaa eikä toiminnan ja sen funktioiden näkökulmaa, johon yleensä erehdytään. Tällöin resurssi- ja virtaustehokkuuden välisen eron havaitseminen on helpompaa. Kaikki toiminnot, jotka lisäävät arvoa virtausyksikölle, ovat arvon siirtoa.

Arvoa siirtyy siis organisaation sisäisistä resursseista jalostuksen kohteena olevaan virtausyksikköön. Tästä seuraa, että resurssitehokkuuden ollessa hyvä resurssien arvon luovuttamisen käsittämä aika on pitkä verrattuna tiettyyn ajanjaksoon, jolloin resurssit antavat mahdollisimman paljon arvoa. Samalla virtaustehokkuuden ollessa hyvä virtausyksikön arvon vastaanottamisen käsittämä aika on pitkä verrattuna tiettyyn ajanjaksoon. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 19–20.)

Hyvä resurssitehokkuus edellyttää, että resursseilla on koko ajan jokin virtausyksikkö jalostettavana. Hyvä virtaustehokkuus sen sijaan edellyttää, että virtausyksiköitä jalostaa koko ajan jokin resurssi. Resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden eroa voidaan kuvailla usein resurssien ja virtausyksiköiden keskinäisen riippuvuussuhteen eroksi. Ero riippuvuussuhteessa muodostaa eron kyseisten kahden tehokkuuden muodon välille. Resurssitehokkuuden riippuvuussuhteessa arvo siirtyy yksittäisestä resurssista eri virtausyksiköille ja samalla pyritään maksimoimaan resurssin arvoa tuottava aika. Virtausyksikön riippuvuussuhteessa arvo siirtyy eri resursseista yksittäiseen virtausyksikköön ja samalla pyritään maksimoimaan virtausyksikön arvoa vastaanottavaa aikaa. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 20–21.)

Virtausyksikön läpäisy aika on tarvittava tekijä virtaustehokkuuden laskemisen kannalta. Toisaalta läpäisyajan mittaamisen kannalta tärkeä asia on prosessin rajojen määrittäminen. Läpäisyaikaa käsiteltäessä kannattaa käyttää virtausyksikön näkökulmaa. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 22.) Virtaustehokkuus tarkoittaa arvoa tuottavien toimien käsittämisen kokonaisajan ja läpäisyajan välistä suhdetta. Usein läpäisyajan lyhyys on hyvä asia, mutta ei siinä tapauksessa, jos prosessista jää puuttumaan välillisiä tarpeita läpäisyajan lyhentämisen seurauksena. Tällöin prosessi sisältää vähemmän arvoa eikä sitä voida kuvailla virtaustehokkaaksi. Virtaustehokkuus määritelmänä käsittää resurssin ja virtausyksikön välisen arvon siirtymisen tiheyden, jolloin tarkastelun kohteena on arvoa tuottavien toimien osuus läpäisyajasta. Arvon siirron nopeutta voidaan lisätä, joka myös kasvattaa asiakkaan saamaa arvoa. Virtaustehokkuudessa ei ole kyse arvoa tuottavien toimien suorittamisesta nopeammin vaan arvon siirron tiheyttämisestä ja arvoa tuottamattomien toimien poistamisesta. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 26–28.)

Virtaustehokkuuden parantamisen edellytyksenä on ymmärtää tietyt lait, joiden mukaan prosessit toimivat. Nämä lait eivät ole riippuvaisia virtausyksikön ominaisuuksista tai prosessin määrittävistä. Kyseisistä kolmesta laista ensimmäinen on Littlen laki, joka on nimetty sen todistajan, John Littlen mukaan. Lakia on käytetty laajasti johdon päätöksenteossa varastonhallinnan, prosessien parantamisessa, kapasiteettisuunnittelussa ja palvelutoiminnoissa. Littlen lain mukaan prosessin läpäisy aika on yhtä suuri, kuin keskenraisten virtausyksiköiden määrän ja jaksoajan tulo. Tällöin virtausyksiköt ja jaksoaika

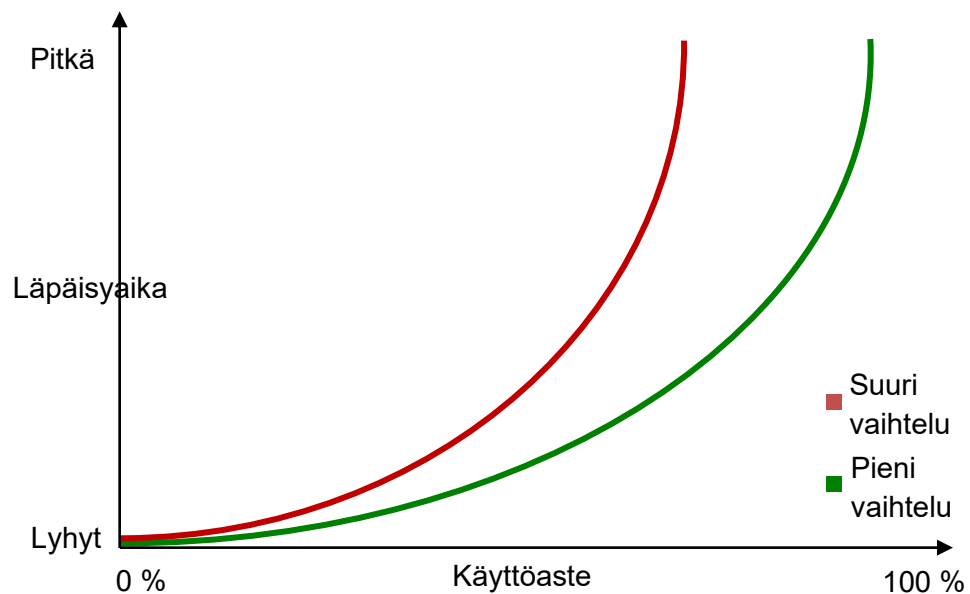
määräytyvät prosessin määrittelyn perusteella, mutta Littlen laki ei muutu. Keskeneräiset virtausyksiköt ovat kaikki määritetyn järjestelmän sisäpuoliset virtausyksiköt. Kahden virtausyksikön prosessista poistumisen välinen aika on jaksoaika. Virtausyksiköt poistuvat siis prosessista jaksonajan välein. Läpäisy aika kasvaa virtausyksiköiden määrän ja jaksoajan pituuden kasvaessa. (Hendijani 2021, s. 104–105; Modig, Åhlström et al. 2013, s. 31–36.)

Toinen prosessien toimintaa selkeyttävä laki on pullonkaulojen laki. *Pullonkaula* on prosessin osa, jonka kapasiteetti on yhtä suuri tai pienempi, kuin prosessivirran sille asetama kysyntä. Sen kapasiteetti määrää siten muiden vaiheiden toimintanopeuden ja siten koko prosessin nopeus voi olla vain niin nopea, kuin sen sisältämä pullonkaula. Prosessin läpäisy aika riippuu suurimmalta osin pisimmän jaksoajan omaavasta prosessin vaiheesta. Toisaalta niillä on kaksi ominaisuutta, joita voidaan käyttää hyväksi niiden tunnistamisessa. Ensinnäkin pullonkaulojen edelle muodostuu jonoja, jolloin ne on helppo havaita etenkin virtausyksiköiden ollessa materiaalia tai ihmisiä. Toiseksi pullonkaulaa seuraavat prosessin vaiheet joutuvat odottamaan virtausyksiköitä, jolloin ne eivät toimi täydellä teholla. Pullonkaula voidaan siis tunnistaa jonoksi kertyneen työn tai tavaroiden muodostumisesta sekä prosessien vaiheiden alentuneesta toiminnan tehosta. Pullonkaula siis pidentävää läpäisy aikaa prosessiin syntyvillä jonoilla, joita pullonkaulavaiheeseen odottavat virtausyksiköt muodostavat. Mikäli pullonkaula saadaan poistettua prosessista, se ilmestyy väistämättä johonkin muuhun prosessin osaan, mikä on luonnollinen ilmiö pullonkaulojen käyttäytymisessä. Pullonkauloja synnyttää kaksi tekijää, jotka ovat prosessin vaiheiden tietyn järjestyksen välttämätön noudattaminen ja prosessissa esiintyvä vaihtelu. (Brenig-Jones & Dowdall 2018, s. 57–58; Modig, Åhlström et al. 2013, s. 37–38.)

Kolmas prosessien toimintaa selkeyttävä laki on laki prosessien sisältämästä vaihtelusta ja sen yhteydestä resurssitehokkuuteen ja läpäisy aikaan. Yksi merkittävä syy sille, ettei resurssitehokkuutta ja virtaustehokkuutta pystytä yhdistämään on prosessin vaihtelu ja tämän vaikutus virtaustehokkuuteen. Vaihtelu ilmenee virtausyksiköiden saapuessa prosessiin tai niiden virratessa prosessin läpi eli käsittelyn aikana. Monivaiheisissa prosesseissa aloittavan vaiheen käsittelyajan vaihtelu siirtyy vaihteluna toisen vaiheen aloitusaikaan. Kaikki prosessit sisältävät vaihtelua ja sen poistaminen prosessista kokonaan on melko vaikeaa. Prosessin vaihtelun eri syyt voidaan jaotella kolmeen luokkaan: (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 40–41.)

- Resurssit. Resursseihin liittyviä vaihtelun syitä ovat esimerkiksi koneiden rikkoutumiset ja vioittumiset, tietojärjestelmien ominaisuuksien erilaisuus ja poikkeavuudet henkilöiden työkokemuksessa.
- Virtausyksiköt. Virtausyksiköihin liittyviä vaihtelun syitä ovat esimerkiksi eri asiakkaiden tarpeiden erilaisuus, suoritettavan työn lähtökohtien ajoittainen poikkeavuus toisistaan ja hallinnollisten asioiden käsittelyaika- ja vaihtelu.
- Ulkoiset tekijät. Ulkoisiin tekijöihin liittyviä vaihtelun syitä ovat esimerkiksi kysynnän epäsäännöllisyys ja kausiluonteisuus.

Vaihtelun vaikutus virtaustehokkuuteen voidaan selittää vaihtelun, resurssitehokkuuden ja läpäisyajan välisellä yhteydellä, jonka Sir John Kingman esitteli 1960-luvulla. Kingmanin kaavaa voidaan havainnollistaa kuvassa 7 esitetyllä kaaviolla, joka kuvaa kahdella käyrällä läpäisyajan ja käyttöasteen vuorovaikutusta. Kaaviossa esiintyvä käyttöaste on käsitteenä sama asia, kuin resurssitehokkuus. Punainen käyrä kuvaa suurta vaihtelua ja vihreä käyrä pientä vaihtelua. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 42–43.)



Kuva 7. *Läpäisyajan riippuvuus resurssitehokkuudesta (käyttöaste)*
(muokattu Modig, Åhlström et al. 2013, s. 42)

Kuvasta 7 nähdään, että läpäisyajan ja käyttöasteen välisen riippuvuuden funktio on eksponentiaalinen, jolloin läpäisy aika kasvaa käyttöasteen kasvaessa ja sen kasvu kiihtyy

käyttöasteen lähestyessä sataa prosenttia. Kuvasta 7 voidaan huomata myös, että mikäli resurssitehokkuus eli käyttöaste halutaan pitää vakiotasolla, läpäisy aika kasvaa vaihtelun kasvaessa. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 42–43.)

Prosessien toimintaa selkeyttävien lakien pohjalta virtaustehokkuutta voidaan parantaa neljällä keinolla, jotka ovat kuitenkin yleisen tason toimenpiteitä ja niiden toteuttaminen käytännössä voi olla haastavaa. Ensinnäkin keskeneräisten virtausyksiköiden määrää voidaan vähentää poistamalla jonoja aiheuttavia tekijöitä. Toiseksi jaksoaika voidaan lyhentää toiminnan nopeuttamisella. Kolmanneksi resursseja voidaan lisätä kapasiteetin lisäämiseksi ja jaksoajan lyhentämiseksi. Neljäntenä keinona on prosessin erilaisten vaihteluilmiöiden poistaminen ja vähentäminen. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 44–45.)

Virtaustehokkuuden parantamisen keinojen käyttäminen on vaikeaa osittain siitä syystä, että yleensä keskitytään liikaa resurssitehokkuuden parantamiseen. Vaikka resurssitehokkuuteen pyrkiminen on välttämätöntä sinänsä, sen liiallinen tavoittelu voi aiheuttaa virtaustehokkuuden alenemista ja lisätyötä. Vaikka monessa organisaatiossa resurssitehokkuutta pidetään yhtenä tärkeimmistä tavoitteista siten, että vapaa kapasiteetti on karstittu kokonaan pois, tämä voi olla asiakkaan, toiminnan ja henkilöstön näkökulman kannalta ongelmallista. Liiallinen resurssitehokkuuteen pyrkiminen lisää ensisijaisien tarpeiden rinnalle toissijaisia tarpeita, joiden tyydyttämiseksi tarvitaan lisätyötä, panoksia ja resursseja. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 47.)

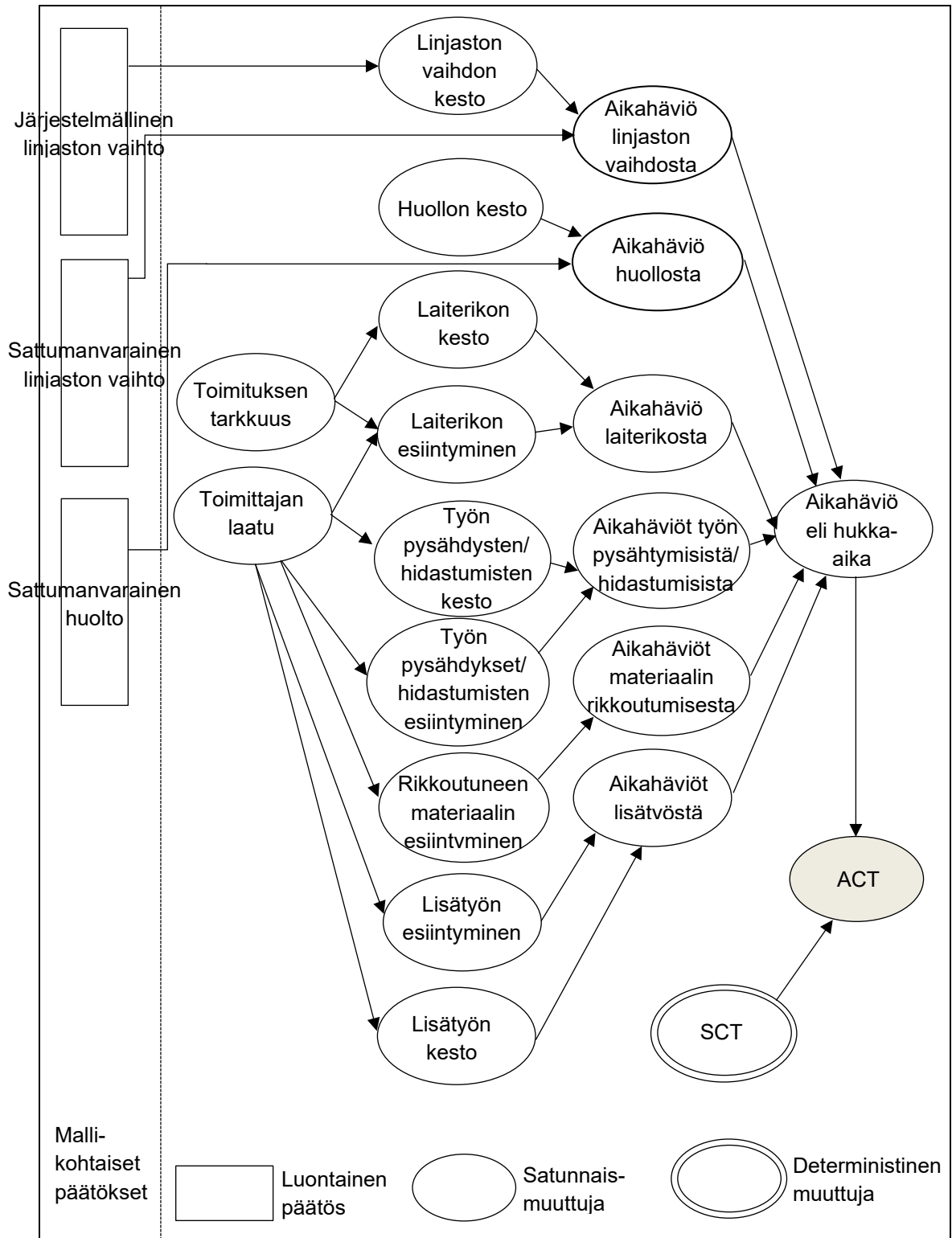
Liiallinen resurssitehokkuuteen keskittyminen luo organisaatiolle haitallisia vaikutuksia, jotka saavat alkunsa kolmesta tehottomuuden lähteestä. Nämä kolme lähde ovat liian pitkä läpäisy aika, virtausyksiköiden suuri määrä ja tarve aloittaa tehtävä moneen kertaan. Läpäisyajan piteneminen luo toissijaisia tarpeita, kuten esimerkiksi työntekijän lääkärikäynnin tapauksessa mahdollisesti tapahtuva sairausdiagnoosin viivästyminen ja tämän aiheuttama työntekijän sairausloma ja sijaisen etsimisen tarve. Läpäisy aikaan liittyy myös toinen tehottomuuden lähde eli virtausyksikköjen liiallisuus, jolloin resurssitehokkuuteen pyrittäessä yritetään samalla hoitaa monta asiaa samanaikaisesti. Tämä lisää osaltaan toissijaisia tarpeita, esimerkiksi suuret varastot aiheuttavat organisaatiossa huonoa kokonaiskuvaa, mikä edelleen lisää varastoitavien asioiden etsimistä. Kolmas tehottomuuden lähde on kykenemättömyys suorittaa tehtävä kerralla loppuun. Tämä on usein seuraus kahdesta aikaisemmasta tehottomuuden lähteestä eli läpäisyajan liian suuresta pituudesta ja virtausyksiköiden suuresta määrästä. Tällöin syntyy toissijaisia tarpeita, kun tehtävä keskeytetään ja aloitetaan uudestaan. Asioita unohdetaan, jonka seurauksena joudutaan aloittamaan tehtävä uudestaan. Samalla henkiset asetukset kasvavat, tiedon kulku harhautuu organisaatiossa aiheuttaen virheitä ja siirrot tehdään huolimattomasti aiheuttaen lisäongelmia. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 48–58.)

Sellaista tarvetta, jonka takia asiakas on alun perin ottanut yhteyttä organisaatioon, kutsutaan ensisijaiseksi tarpeeksi. Liiallinen resurssitehokkuuteen keskittyminen luo tehottomuuden kolme lähdettä, ja nämä edelleen aiheuttavat ongelmia organisaatiolle. Ongelmat aiheuttavat toissijaisia tarpeita, mikä on seuraus ensisijaisten tarpeiden tyydyttämisen epäonnistumisesta. Toissijaiset tarpeet luovat lisää toissijaisia tarpeita. Tämänkaltaiseen kehitykseen johtavat toissijaiset tarpeet vaativat resursseja sekä yksilön että organisaation osalta ja ne voivat olla organisaatiolle haitallisia huolimatta siitä, tuottavatko ne arvoa asiakkaalle vai eivät. Tämän ongelman ratkaisuna on keskittyä parantamaan virtaustehokkuutta, jolloin päätöksissä pyritään minimoimaan tehottomuuden kolmen lähteen vaikutusta organisaatioon ja siten vähentämään lisätyötä. Organisaation on siis pidettävä tasapaino resurssi- ja virtaustehokkuuden välillä. Yhtenä virtaustehokkuuden parantamiskäytännönä on strategianimeltä *lean*. (Modig, Åhlström et al. 2013, s. 58–67.)

3.1.2 Läpäisy aika tuotannon suorituskykymittarina

Valmistuksen läpäisyajasta vain pieni osa on työvaiheiden muodostamaa aikaa. Suuren osan läpäisyajasta muodostaa odotusaika, joka kasvaa työvaiheiden määrän lisääntyessä. Läpimenoaika ja läpäisy aika tarkoittavat samaa tuotantoteknistä käsitettä, mutta läpäisy aika on terminä helpompi käyttää. Tuotantojärjestelmän ollessa tehokas, joustava ja hyvin toimiva myös läpäisy aika on lyhyt. Läpäisyajan lyhentäminen on mahdotonta, mikäli toiminta on huonoa. Lyhyt läpäisy aika mahdollistaa lyhyet toimitusajat, koska tuotanto voidaan ajoittaa vapaammin ja siten ohjattavuus paranee. (Lapinleimu, Kauppinen et al. 1997, s. 53–55.)

Normaali läpäisy aika (eng. standard cycle time, SCT) on kahden peräkkäin valmistettavan tuoteyksikön valmistumishetkien aikavälin pituus. *Todellinen läpäisy aika* (eng. actual cycle time, ACT) on prosessin kierron käsittämisen aikavälin pituus kokonaisuudessaan, jolloin se sisältää valmistusprosessin välttämättömien toimintojen lisäksi tuotannon häiriöiden synnyttämän aikahäviön. Tällöin todellisen läpäisyajan sisältämistä muuttujista normaali läpäisy aika SCT on deterministinen eli säännönmukainen muuttuja ja aikahäviö satunnaismuuttuja. Tuotantojärjestelmässä olevat vaihtelutekijät muodostavat yhteyden todelliseen läpäisy aikaan kuvan 8 esittämällä tavalla. (Karrer 2012, s. 48–50.)



Kuva 8. Tuotantojärjestelmän vaihtelevuuteen liittyvien ajureiden yhteys todelliseen läpäisy aikaan ACT (muokattu Karrer 2012, s. 50)

Prosessin häviö jakautuu kolmeen kategoriaan, jotka ovat saatavuus-, nopeus- ja laatu-häviöt. Saatavuushäviöt käsittävät esimerkiksi välineiden ja laitteiden rikkoutumiset,

huoltotoimenpiteet sekä linjaston vaihdot. Nopeushäviöt käsittävät kaikki tuotannon pienet pysähdykset sekä tuotannon hidastumiset. Laatuhäviöihin kuuluvat materiaalin ja keskeneräisen tuotannon rikkoutumiset sekä lisätyö. Aikahäviötä aiheuttavat häiriötekijät jaottuvat tuotantojärjestelmän sisäisiin ja ulkoisiin häviöihin, joiden käsittämien aikamäärien summa lasketaan yhteen normaalin läpäisyajan kanssa todellisen läpäisyajan selvittämiseksi. Häviön eri luokkien satunnaismuuttujien jakaumat riippuvat häviötapausten määrästä ja kestosta. Häviötapaus on joko satunnainen tai järjestelmän luontaisia olosuhteita noudattava, jolloin esimerkiksi linjaston vaihtotyö aiheuttaa tuotannon häviön, kun tuotteen ominaisuudet muuttuvat. (Karrer 2012, s. 48–50.)

3.1.3 Tuotteen modulointi

Moduuli on alun perin tarkoittanut mittaa, jonka monikertana voidaan ilmoittaa rakennesien mittoja. Nykyisin moduulilla tarkoitetaan myös samanlaisia rakenneosia, joita *yhdistämällä saadaan aikaiseksi erilaisia tuotekokonaisuuksia*. Moduuli on joko yrityksen oma tai jonkin toisen yrityksen standardisoitu osakokoonpano, joka voi olla yksittäinen tai toisista moduuleista koostuva tuotekokonaisuus. Tuotteen modulointi vaatii paljon työtä, mutta se voi onnistuessaan säästää resursseja. Modulointi kannattaa toteuttaa silloin, kun tuotteen valmistusvolyymi on riittävällä tasolla eli sitä ei kannata soveltaa yksittäistuotannossa. Onnistuakseen modulointi edellyttää usein saman tuoteperheen sisällä pysymistä. Moduulien käytön hyötypuoli rakenteiden suunnittelussa ja toteuttamisessa on eri variaatioiden nopea yhdisteltävyys, suunnittelun nopeus ja virheettömyys, dokumentoinnin helpottuminen sekä tuotesuunnittelun helpompi kohdistaminen. Lisäksi moduulit mahdollistavat tuotantosolujen ja tuoteverstaiden laajemman käytön ja ne helpottavat valmistusta monin tavoin. Moduulien käyttö on erityisen kannattavaa kokoonpanossa. Moduulien soveltamista voidaan tarkastella tuotannon imuohjauksen näkökulmasta, jolloin huomataan moduloinnin tuovan toimintaan monta hyvää asiaa. Näitä ovat lyhyet läpäisy- ja asetusaajat, pienet eräkoot, tuotteen mukainen layout, työpaikkojen siisteys ja rationaalisuus, imuohjaus ja toimiva osahankkijaverkko. Moduloinnin onnistuminen kuitenkin edellyttää, että sen toteuttamisessa huomioidaan sekä tuotesuunnittelun että valmistuksen näkökulmat. (Lapinleimu, Kauppinen et al. 1997, s. 293–298.)

Modulaarisessa tuoterakenteessa moduulit toteuttavat yhtä tai useampaa toimintoa ja niiden väliset välttämättömät vuorovaikutukset ovat tarkasti rajattuja. Tällöin tavoitteena on, että tuotteen jokainen toiminto on moduulikohtainen, jolloin moduulien ominaisuuksien muuttaminen ei pakota muuttamaan muiden moduulien ominaisuuksia tuotteen toi-

mimisen mahdollistamiseksi. Asiakastarpeiden tyydyttämisen kannalta moduulien kokonaisuus määrä tuotteessa täytyy olla mahdollisimman pieni, missä onnistutaan kohdistamalla jokainen itsenäinen asiakastarve tai asiakastarveyhdistelmät jollekin tietylle moduulille. (Österholm & Tuokko 2001, s. 9–10.) Teollisessa tehdasvalmistuksessa rakennus voidaan jakaa eri osarakennuksiksi, jotka voidaan jakaa edelleen moduuleiksi. Moduulit jaetaan edelleen eri komponentteihin ja komponentit alkioiksi. Tällainen jaottelu mahdollistaa yritys- tai rakennusjärjestelmäkohtaisen tuotestandardisoinnin, jolloin voidaan muodostaa käyttäjän ja suunnittelijan vaatimusten mukaisia tuoteosaperheitä. (Tekes 1992, s. 35.)

3.2 Yksittäinen projektituotanto rakennusteollisuudessa

Tässä alaluvussa käsitellään sellaisia rakennusteollisuuden tuotannon sisältämiä piirteitä, joita voidaan soveltaa myös teollisessa puuelementtien valmistamisessa. Käsitely alkaa rakennusalalla esiintyvien hukkalajien erottelulla Lean-filosofian käsittämästä klassisesta seitsemän hukan lajittelutavasta.

Sutherland ja Bennet (2007) toteavat, että ylituotanto on mahdollisesti klassisista seitsemästä hukan lajista eniten toimintaa haittaava hukan laji. Toisaalta Koskelan et al. (2013) mukaan ylituotanto ei ole toiminnalle vahingollisin hukkalaji rakentamisessa, vaan klassinen seitsemään hukkalajiin luokittelu on tapauskohtaista teollisessa tuotannossa ja täten myös rakentamista on tarkasteltava sille sopivan hukkalajittelun mukaisesti. Teollisessa tuotannossa esiintyvät Lean-filosofian seitsemän hukan lajia jakaantuvat rakennusteollisuudessa edelleen useampaan hukan lajiin, jotka ovat esitettynä taulukossa 1 yhdessä klassisten hukkalajien kanssa. Pyrkimykset eri toimintoihin ilman toimintaedellytyksiä (eng. making do) on yksi rakennustuotannon hukista (taulukko 1). Koskelan (2004) mukaan tällainen toiminta on seuraus tehtävien aloittamisesta, ennen kuin tehtävän kaikki toiminnan vaatimat edellytykset ovat täyttyneet. Jos edellytykset rakentamistoiminnalle puuttuvat ja toiminta pyritään toteuttamaan tästä huolimatta, on usein seurauksena toiminta täydellä kapasiteetilla. Toisaalta kyseinen toimintatapa aiheuttaa myös jonottavan työn määrän kasvua, lisätyötä sekä työskentelyn terveellisyyteen ja turvallisuuteen liittyviä riskejä. (Emuze & Saurin 2016, s. 9.)

Rakennustuotannossa prosessin arvovirta on vaikeampaa hahmottaa, kuin teollisessa tuotannossa. Syy tähän on se, että rakentamisessa on vaikeampaa havaita tuotteiden liikkumista, jolloin on vaikeampaa havaita pullonkauloja, ottaa selville eräkokoja tai mitata läpäisyajoja. Rakennustuotannossa arvovirran muodostavat materiaalien, työntekijöiden, tarvikkeiden ja tiedon virtaaminen. (Sacks, Korb et al. 2018, s. 222.)

Taulukko 1. Hukan luokittelu tuotannossa (mukailten: Alarcon 1997; Koskela 1992; Koskela 2004, Emuze & Saurin 2016, s. 9 mukaan)

Hukka teollisessa tuotannossa	Hukka rakennustuotannossa
Ylituotanto	Tekemätön työ
Varastointi	Työn tekeminen uudelleen
Kuljettaminen	Tarpeeton työ
Yliprosessointi	Virheet
Virheelliset tuotteet	Työn pysähdykset
Odottaminen	Hukkamateriaali
Liikkuminen	Materiaalien pilaantuminen
	Työvoimakato
	Tarpeettomat materiaalien siirrot
	Liiallinen tarkkaavaisuus
	Liiallinen valvonta
	Ylimääräinen tila
	Toimenpiteiden viivästyminen
	Ylimääräinen prosessointi
	Asioiden selventäminen
	Välineiden poikkeuksellinen kuluminen ja rikkoutuminen
	Toimintapyrkimykset toimintaedellytysten puuttuessa

Sacks, Korb et al. (2018, s. 220) mukaan Shingo ja Dillon (1989) kuvaavat teollisen tuotannon arvovirtaa mallilla, jossa on kaksi virtaa. Nämä ovat prosessivirta, joka kuvaa tuotteen etenemistä tuotannossa ja toimintojen virtaus, joka kuvaa yksittäisiä tuotetta jalostavia tekoja työpisteellä. Periaatteen kiteytti japanilainen tuotannon hallinnan konsultti Shigeo Shingo, joka oli osallisena Toyotan tuotannonjärjestelmän kehittämisessä ja dokumentoinnissa. Prosessin ja toimintojen erottaminen toisistaan on edellytys niiden parantamiselle sekä siten yksi rakentamisen arvovirtatekijöistä. Prosessia voidaan parantaa poistamalla siitä arvoa tuottamatonta toimintaa ja toimintoja voidaan parantaa muun muassa henkilöiden työmäärän tasapainottamisella, sekä menetelmien ja työkalujen kehittämällä. (Sacks, Korb et al. 2018, s. 220.)

Yksi rakentamisen arvovirtaa kuvaavista ilmiöistä on niin sanottu palaava virtaus. Palaava virtaus ilmaantuu silloin, kun tuote palaa työpisteelle, jossa se on ollut jo aiemmin valmistusprosessin aikana. Tämä voi johtua joko siitä, että tuotteen valmistusprosessi sisältää saman työvaiheen toistamisen useampaan kertaan tai siitä, että tuote pa-

lautetaan työpisteelle havaittujen laatuvirheiden korjaamiseksi. Tuotannon hallinta vaikeutuu merkittävästi, jos tuote läpäisee prosessin pullonkaulan useaan kertaan. (Sacks, Korb et al. 2018, s. 221.)

Rakentamisen arvovirtaa havainnollistaa Tidharin 4 x 4 -juliste rakentamisen edellytyksistä, josta on esitettyä muunnelma kuvassa 9. Tidharin julisteessa toiminta käsittää neljä toimintaa edellyttävää olosuhdetta ja neljä virtausta. Ennen toiminnan aloittamista on varmistettava, että kuvassa 9 olevan Tidharin mallin neljä olosuhdetta mahdollistavat osaltaan toiminnan. Ensimmäinen toiminnan mahdollistava olosuhde on se, että toimintaa edeltävä tehtävä on saatu suoritettua kokonaan loppuun. Toisena toiminnan edellytyksenä on saatavilla oleva vapaa, raivattu, siivottu ja muuten toimintakelpoinen työtila. Kolmas toiminnan edellytys on toiminnan turvallisuus. Neljäs toiminnan edellytys ovat ulkoiset rajoitteet, joita ovat esimerkiksi sääolosuhteet. Ulkoiset rajoitteet eivät saa rajoittaa toimintaa sen suoritushetkellä. Tidharin mallin neljä arvovirtaa ovat osa toimintojen arvovirta-akselia Shingon ja Dillonin (1989) prosessin ja toimintojen mallissa. Tidharin työntekijät- virtauksen käsittämät työntekijät sekä heidän henkilökohtaiset varusteensa ja tarvikkeensa ovat vastine teollisessa tuotannossa olevalle työpisteelle, joka käsittää pisteen sisältämät koneet ja niitä käyttävät henkilöt. (Sacks, Korb et al. 2018, s. 222.)



Kuva 9. Tidharin kuvailemat rakentamisen edellytykset (muokattu Sacks, Korb et al. 2018, s. 223)

Tarvikkeet -virtauksen sisältämät työmaan yleiset laitteet ja tarvikkeet ovat vastine teollisessa tuotannossa olevien tehtaiden kiinteille tuotantolaitteille. Materiaali sen sijaan virtaa samalla tavalla sekä rakennustyömaalla, että tehdasympäristössä. Myös tiedon virtaus etenee tehdastuotannossa ja rakennustuotannossa pitkälti samalla tavalla, jolloin

tiedonkulku käsittää sekä tuote- että prosessitietoa. (Sacks, Korb et al. 2018, s. 222–224.)

4. TUTKIMUKSEN KOHDEYRITYS JA SEN TOIMINTA

4.1 Yritysesittely

Tämän tutkimuksen kohdeympäristönä oli LapWall Oy, joka on suomalainen puuelementtivalmistaja. Yritys on perustettu vuonna 2011 ja sen tuotantoyksiköt sijaitsevat Pyhännällä ja Pälkäneellä. Lisäksi sen kaksi toimipistettä sijaitsevat Oulussa ja Vantaalla. Yrityksellä oli henkilöstöä vuonna 2020 noin 110 ja sen liikevaihto vuonna 2020 oli 31 miljoonaa euroa. LapWall Oy:n asiakkaita ovat suuret suomalaiset rakennusyrietykset.

Yrityksellä on oma LEKO- elementointijärjestelmä, joka käsittää detaljivakioidun ja standardisoidun tuotevalikoiman. LapWall Oy:n toimitusprosessi sisältää elementtien 3D-suunnittelun, valmistuksen, varastoinnin, kuljetuksen ja asennuksen työmaalla. Yritys tuottaa Pyhännän tuotantolaitoksella elementtejä lähinnä kerrostaloihin, rivitaloihin, luhitaloihin kouluihin sekä päivä- ja hoivakoteihin. Tuotettavia elementtejä ovat esimerkiksi ulkoseinä-, alapohja-, välipohja-, HVS- sekä osastointielementit. Vesikatossa käytettävät suurelementit valmistetaan Pälkäneen yksikössä. Tutkimus suoritettiin Pälkäneen tuotantoyksikössä, jossa valmistetaan puisia suurelementtejä kahdella tuotantolinjalla. Yksikössä työskentelee noin neljäkymmentä henkilöä. Tutkimushetkellä yksikön tuotanto oli keskittynyt vesikattoelementteihin. Tehtaan tuotanto perustuu kahteen työvuoroon.

4.2 Tuotekuvaus

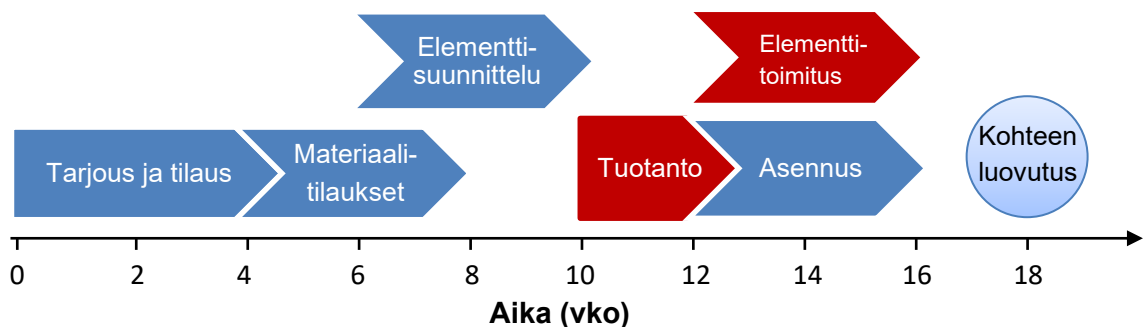
Tuotekuvauksen tarkoitus kuvailla yrityksen tuottamat kattoelementit yleispiirteisesti, koska tarkemmat yksityiskohdat muuttuvat projektikohtaisesti. Kattoelementin standardimitat ovat yleensä noin 500 millimetriä korkeuden ja 2440 millimetriä leveyden osalta. Elementin pituus vaihtelee projektikohtaisesti, jolloin suurin pituusmitta elementille on 25 metriä. Elementin rakennekerrokset sisältä ulospäin ovat yleensä kipsilevy, alapohjakoolaus, runko, lämmöneriste, vesikattopalkisto, vesikatteen aluslevytys ja aluskermitys. Vesikattopalkistosta käytetään myös tuuletuskoolaus-nimitystä. Kun elementit asennetaan työmaalla, aluskermityksen päälle asennetaan vielä pintakermitus, joka kattaa koko vesikaton.

Kattoelementit jaotellaan pääpiirteisesti kolmeen elementtityyppiin, joita ovat suora-kaide-elementti, räystääselementti ja harjaelementti.

- *suorakaide-elementti* on yleisin elementtityyppi, joka muodostaa pääosan rakennuksen yläpohjan vaipparakenteesta. Elementin suorakaide- nimitys juontuu sen rakenteen yksinkertaisuudesta, jolloin se ei sisällä räystääs- tai harjarakenteita. Yksinkertaisuutensa vuoksi tämä elementti etenee tuotannossa muita tyyppejä nopeammin. Suorakaide-elementin elementtipiirustukset ovat sijoitettuna liitteeseen A.
- *räystäselementti* on nimensä mukaisesti elementti, joka sijoitetaan kattorakenteen reunimmaisiksi elementiksi räystääslinjalle. Elementti liitetään asennuksessa viereisen elementin lisäksi seinärakenteeseen. Elementtityypissä huomioidaan rakenteellisesti yläpohjan ja seinän vaipparakenteen liitos sekä räystäsrakenne kosteudenhallinnan ja ulkonäön kannalta. Elementti on kolmesta elementtityypistä rakenteellisesti moninainen sekä haastavin toteuttaa. Räystäselementin elementtipiirustukset ovat sijoitettuna liitteeseen B.
- *harjaelementti* on nimensä mukaisesti rakennuksen keskelle, katon harjan kohdalle tai sen sivulle sijoitettava elementti. Harjaelementissä huomioidaan rakenteellisesti sen liittäminen harjalinjan palkkiin sekä liitoskohdan vesikatteen asentaminen. Harjaelementin elementtipiirustukset ovat sijoitettuna liitteeseen C.

4.3 Kattoelementtitoimituksen prosessikuvaus

Kattoelementit toimitetaan yleensä kuvan 10 kaavion prosessikuvauksen mukaan. Kattoelementtien toimitusprosessi koostuu kuudesta vaiheesta, jotka ovat tarjous- ja tilausvaihe, materiaalitalaukset, elementtisuunnittelu, tuotanto, asennus ja kohteen luovutus.



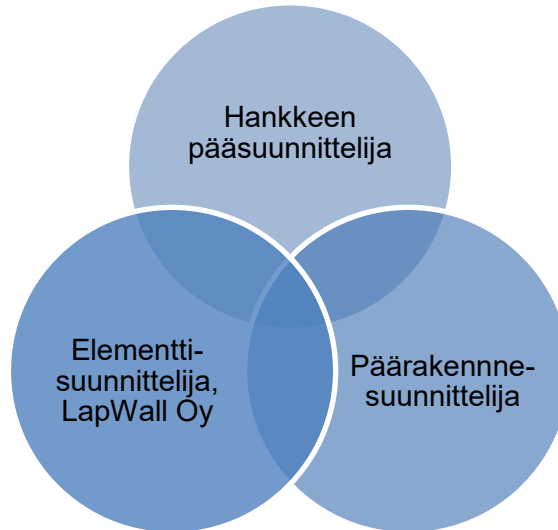
Kuva 10. Normaalikokoisen elementtitoimituksen prosessikuvaus ja aikaikkuna

Pienen kohteen hankkeen toimitusprosessi alkaa noin 12 viikkoa ennen asennuksen alkua ja se päättyy kohteen luovutukseen noin 6 viikkoa asennuksen alkamisesta. Kuva 10 näyttää toimitusprosessin sisältämät vaiheet sekä näiden alkamis- ja lopetusajankohdan hankkeen suhteen viikkoina sekä vaiheen keston aikajanan avulla. Toimituksen ajallinen suuruusluokka on yleensä kuvan 10 mukainen. Toimitusprosessin tilaajana on usein rakennushankkeen pääurakoitsija, joka tilaa yleensä kattoelementit, elementtien asennuksen sekä vesikatteen päällyskermin asennuksen yhtenä toimituskokonaisuutena. Tutkimuksen huomio kiinnittyy elementtien tuotantoprosessiin, jota tarkastellaan tarkemmin alaluvussa 5.2.

Tarjous- ja tilausvaiheessa tilaaja toimittaa tarjouspyynnön LapWallille, joka sisältää arkkitehdin pääsuunnitelmat ja mahdolliset rakennekuvat PDF-muodossa. Tarjouspyyntö sisältää myös kuormitustiedot sekä tiedon halutusta toimitusajasta. LapWall lähettää tilaajalle tarjouksen, jonka laskenta-aika on normaalisti viisi työpäivää riittävien lähtötietojen saamisesta. Tarjous on kohdekohtaisesti täsmennetty tekninen erittely ja tarjous. Tämän jälkeen tilaaja tekee sitovan ostotilauksen vakioidulla tilauslomakkeella, johon merkitään rakennuslupaehdot sekä muut tärkeät ehdot ja niiden eräpäivät. Lomakkeeseen merkitään myös projektin tekninen laajuus viimeisimmän LapWallin tarjouksen mukaan. Lomakkeeseen merkitään tilauksen sisällöstä kohteen perustiedot, joita ovat projektin numero, toimitusosoite sekä viikko, jolloin asennus alkaa. Lomakkeeseen liitetään myös yhteystietoluettelo, jossa ovat ARK-, RAK- ja LVI- suunnittelijoiden sekä työpäällikön ja vastaavan työnjohtajan yhteystiedot. Tilauslomakkeen liitetiedostoiksi liitetään ARK-, RAK- ja runkopiirustukset DWG- ja PDF- muotoisena sekä vesikaton läpivientien tiedot sisältävä kattokaavio, piirustusluettelo sekä rungon IFC- malli, mikäli mahdollista. Elementtien tuotantoa varten tehdään materiaalitilaukset viimeistään 2–4 viikkoa ennen elementtitoimituksia. Materiaalitilaukset käsittävät kaiken materiaalin, joita elementtien tuotanto tarvitsee. Hankeittain vaihtelevat materiaalit tilataan aina projektikohtaisesti ja loput tuotteet ovat tehtaan vakioituja varastotuotteita, joita täydennetään tarpeen mukaan. Projektikohtaisesti tilattavia tuotteita ovat LVL- palkit, PVC- kermit, kipsilevyt sekä eristeet. Viilupuun eli LVL- palkkien toimitusaika on 2–4 viikkoa ja PVC- kermeillä 4–6 viikkoa ja myös tästä syystä kyseiset tuotteet tilataan yleensä projektikohtaisesti. Tehtaan varastotuotteita ovat aluskermit, mitallistettu ja lujuusluokiteltu sahatavara, kiinnikkeet, 18 millimetrin vahvuinen OSB- rakennuslevy sekä 18 millimetriä vahvuinen vaneri.

Projektin elementtisuunnittelu alkaa kuusi viikkoa ennen ja on valmiina kaksi viikkoa ennen elementtien valmistuksen aloittamista. Elementtisuunnittelu käsittää kattoelementtikaavion koko kohteesta, leikkauspiirustukset, detaljipiirustukset sekä yksityiskohtaiset elementtipiirustukset. Suunnitelmat täytyy hyväksyttävä toimituksen tilaajalla ennen kuin

tuotanto voidaan aloittaa. Hankkeen kattoelementtien suunnitteluun vaikuttaa kuvan 11 kolme suunnittelijaosapuolta.



Kuva 11. *Hankkeen suunnittelun osapuolet*

Kuvan 11 suunnittelijaosapuolet ovat hankkeen pääsuunnittelija, päärakennesuunnittelija ja LapWall Oy:n alainen elementtisuunnittelija. Hankkeen pääsuunnittelija vastaa hankkeen pääsuunnitelmista sekä yleisesti suunnitelmien yhteensopivuudesta ja niiden riittävydestä. Pääsuunnittelija vastaa myös osaltaan siitä, että elementtisuunnittelulle annetaan riittävät lähtötiedot. LapWall Oy:n elementtisuunnittelija vastaa elementtisuunnitelmista ja niiden riittävydestä. Päärakennesuunnittelija vastaa elementtisuunnitelmien lähtötiedoista ja niiden riittävydestä yrityksen antaman ohjeistuksen mukaisesti. Päärakennesuunnittelija vastaa myös osaltaan rakenne- ja elementtisuunnitelmien yhteensopivuudesta.

Suunnitteluprosessin tiedonkulussa tilaajan projektipäällikkö vastaa suunnittelun ohjauksesta sekä lähtötietojen saamisesta aikataulun mukaisesti. Suunnittelussa erityisesti huomioitavia asioita ovat arkkitehtisuunnittelun osalta vedenpoistoon liittyvät asiat, katon kaltevuus, korkeintaan 1200 millimetriä korkeat seinänostot sekä vesikatteen väri. LVI-suunnittelun osalta on huomioitava läpivientitiedot, lauhduttimet, aurinkokeräimet sekä savunpoistoluukut ja -puhaltimet riittävän ajoissa, kuitenkin vähintään kuusi viikkoa ennen elementtitoimitusta. Rakenne- ja elementtisuunnittelun huomioitavia asioita ovat elementtien suurimman pituuden rajoittuminen 25 metriin, kuormatukipintojen riittävyys,

sekä kuormien epäjatkuvuus, jolloin esimerkiksi kaksiaukkoisten elementtien tapauksessa on huomioitava lisäkuorman jakautuminen keskituella. Päärakennesuunnittelijan ja työmaan johdon on tarkastettava suunnitelmat.

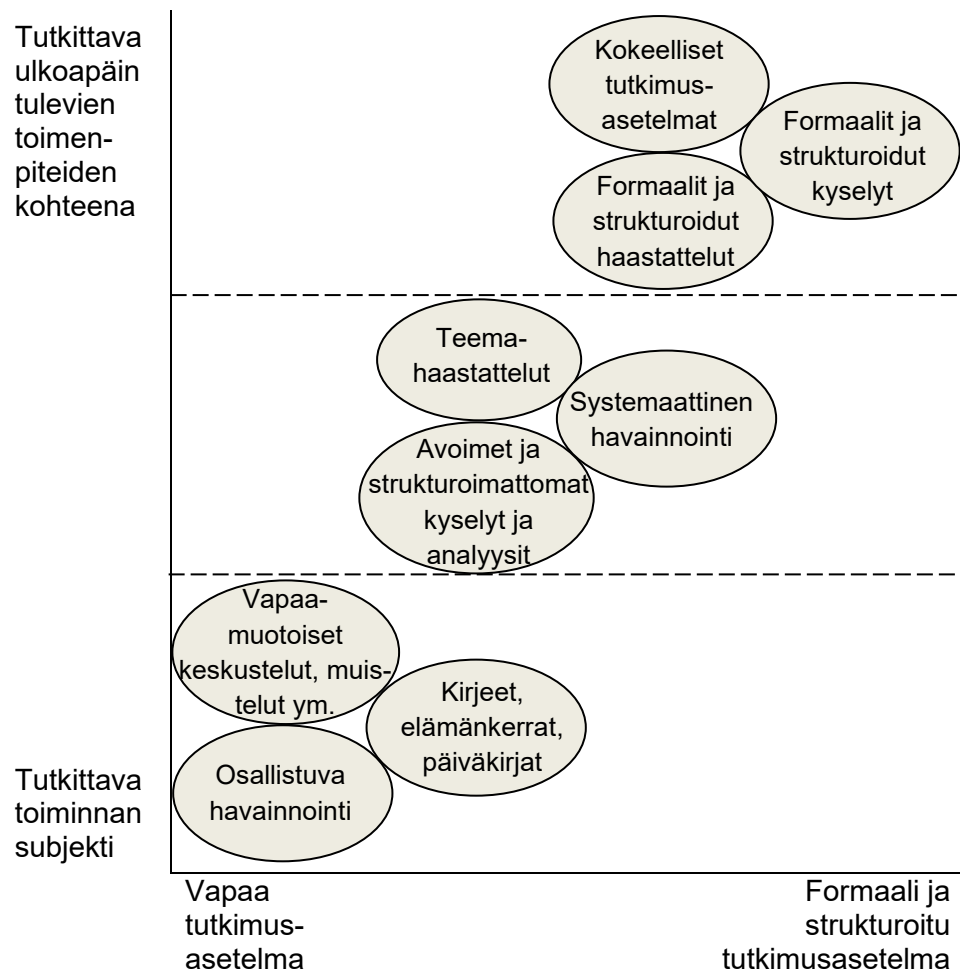
LapWallin elementtisuunnittelu toteutetaan 3D-mallina Vertexin suunnitteluohjelmalla ja suunnitelmien sisältämät detajji- ja leikkauspiirustukset sekä elementtikaaviot ja -piirustukset ja laskelmat jaetaan PDF- ja DWG- muotoisina. Elementtisuunnitelmat jäädytetään kaksi viikkoa ennen tuotantoa, jolloin ne tarkistetaan ennen tuotannon aloittamista. Suunnitelmiin liittyvät muutokset eivät ole enää tässä vaiheessa mahdollisia. Lopuksi kaikki suunnitteluasiakirjat tallennetaan ja jaetaan tilaajan käyttämän projektipankin kautta.

Tuotanto käsittää elementtien valmistamisen tehdasoloissa sekä niiden paketoimisen ja kuormaamisen valmiiksi työmaakuljetusta varten. Ennen tuotannon alkua voidaan tarvittaessa järjestää elementtikatselmus tehtaalla. Katselmukseen osallistuu tällöin rakennuttajan edustaja, arkkitehti, rakennesuunnittelija sekä työmaan vastaava työnjohtaja. Tilaisuudesta laaditaan pöytäkirja, joka liitetään myöhemmin luovutusaineistoon. Kohteen elementtejä ei kuljeteta kerralla vaan työmaa-asennusta mukaillen kuorma kerrallaan. Toimitusten siirtymisestä johtuvia ylimääräisiä varastointikuluja tulee välttää. Ennen elementtien asennusta LapWallin edustaja laatii työmaakohtaisen asennussuunnitelman ja esittelee sen työmaan johdon kanssa aloituskokouksessa, joka pidetään yleensä kaksi viikkoa ennen asennustöiden aloittamista. Kattoelementtien asennus toteutetaan työmaalla kyseisen asennussuunnitelman mukaisesti. Tilaajan täytyy järjestää työmaalle tai työmaan välittömään läheisyyteen välivarastointitila elementtikuormille ja sen täytyy olla käytettävissä kaksi viikkoa ennen asennustöiden alkua. Riittävä välivarastointitila on tällöin noin 50 prosenttia rakennuksen pohjapinta-alasta. Elementtiasennuksen vauhti on noin 16–20 elementtiä päivässä. Kun elementit saadaan asennettua paikalleen, ne saumataan yleensä välittömästi tämän jälkeen. Seinänostot, harjan kohta, savunpoistoluukkujen asennukset, ja muut jälkityöt sekä mahdollinen pintakermitus on tehtävä välittömästi asennustyön jälkeen yhtenäisenä työnä mahdollisimman nopeasti. Kun asennus on suoritettu kokonaan, toimitusprosessin päättää kohteen luovutus, jolloin elementtitoimituksen tilaaja ja LapWall tekevät yhdessä asennustöiden vastaanottotarkastuksen, josta laaditaan pöytäkirja. Mahdollisten virheiden ja puutteiden korjaamisen jälkeen osapuolet tekevät yhdessä myös taloudellisen loppuselvityksen joko työmaalla tai etänä. Allekirjoitetulle loppuselvityksen mukaiselle kokonaisurakkasummalle toimitetaan takuuajan vakuus. LapWall toimittaa lopuksi kohteen luovutusasiakirjat, takuut ja huoltokirja-aineiston sähköisessä muodossa tilaajalle.

5. PUUELEMENTTITUOTANNON TAPAUSTUTKIMUKSEN TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUSAINEISTO

5.1 Käytetyt aineistonkeruun menetelmät

Tutkimusmenetelmällä tai -metodilla tarkoitetaan tutkimuksen havaintojen keräämisessä käytettävien tapojen ja käytäntöjen kokonaisuutta (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 183). Aineistonkeruumenetelmät ovat sijoittuna toistensa suhteen strukturoituneisuusasteen ja tutkittavan aseman mukaan kuvassa 12.



Kuva 12. Aineistonkeruutavat strukturoituneisuusasteen ja tutkittavan aseman mukaan (mukaillen Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 194)

Aineistonkeruun perusmenetelmiä ovat kysely, haastattelu, havainnointi sekä dokumentit, elämäkerrat ja tarinat. (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 193–220.) Tieteellinen havainnointi eroaa arkipäivän havainnoinnista siinä, että se ei ole vain näkemistä ja lisäksi sille voidaan asettaa tiettyjä vaatimuksia. Havainnointi on perinteisesti yhtenäisenä ja välttämättömänä pidetty aineistonkeruun perusmenetelmä, josta on eri variaationsa useilla tieteenaloilla. Havainnoinnin hyötypuolena on välitön tiedonsaanti tutkimuskohteen toiminnasta sekä tutkimusympäristön luonnollisuus ja realismi. Havainnointi on hyvä menetelmä vuorovaikutusten ja arvaamattomien asioiden tutkimisessa. Toisaalta havainnoinnin heikkouksia ovat havainnoijan mahdollinen häiritseminen tutkimuksen kohteena olevassa tilanteessa sekä emotionaalinen sitoutuminen tutkimuksen kohteeseen, jolloin tutkimuksen objektiivisuus kärsii. Heikkouksia ovat myös tiedon tallentamisen vaikeus joissakin tilanteissa. Havainnointi on aikaa kuluttava menetelmä. Tätä voidaan kompensoida havainnoinnin suunnittelulla, mutta tässä tapauksessa myös suunnittelu voi viedä aikaa aineiston keräysprosessissa. Havainnoinnissa voidaan törmätä myös eräitä eettisiä ongelmia, joita ovat esimerkiksi havainnoinnin avoimuus tutkittavia kohtaan. (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 212–214.)

Havainnointi jakautuu kahteen lajiin, joita ovat systemaattinen havainnointi ja osallistuva havainnointi. Systemaattinen havainnointi on tarkasti jäsenneiltyä havainnointia, jolloin havainnoijana toimii ulkopuolinen toimija. Systemaattista havainnointia käytetään yleensä kvantitatiivisessa tutkimuksessa, kun ympäristönä on tarkasti rajattu tila. Havaintojen tekeminen ja tallentaminen pyritään tekemään tarkasti ja systemaattisesti. Osallistuva havainnointi on sen sijaan vapaasti tilanteessa muotoutuvaa, ryhmän toimintaan osallistuvan toimijan tekemää havainnointia. Osallistuvaa havainnointia käytetään usein kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmänä. (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 214–216.)

Havainnointitutkimus työnmittausmenetelmänä käsittää tapahtumien ja aikajajien suhteellisen esiintymisen havainnoinnin. Tällöin tutkija havainnoi tietyin määräväleihin työtä ja kirjaa ylös tapahtuman, joka on käynnissä havainnointihetkellä. Tutkija voi seurata montaa työvaihetta samaan aikaan ja useissa eri pisteissä. Havainnointitutkimuksen vahvuus on sen laajat sovelluskohteet. (Ahokas, Neuvonen et al. 2011, s. 24–25.) Alaluvun 5.4 käsittämä tuotantoprosessin ajallinen mittaus toteutettiin pitkälti edellä kuvailtuna havainnointitutkimuksena.

Lukujen 2 ja 3 käsittämän tutkimusosuuden tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuustutkimusta. Tässä luvussa myöhemmin käsiteltävän tapaustutkimuksen aineiston keräyksen menetelmänä käytetään systemaattista havainnointia. Tapaustutkimuksen tutkimusasetelman voidaan sanoa olevan lievästi strukturoitu kuvan 12 mukaan tarkasteltuna. Tämä ilmenee siinä, että havainnoinnin suoritti tuotantohenkilöstön ulkopuolinen

henkilö ja tällöin keskityttiin havainnoimaan ennalta määritettyjä mittaussuureita ja -kohteita. Muistiinpanot havainnoista tehtiin valmiille dokumenttipohjille, johon merkittiin ennalta määrättyt asiat.

5.2 Tutkimusaineiston keräyksen toteutus

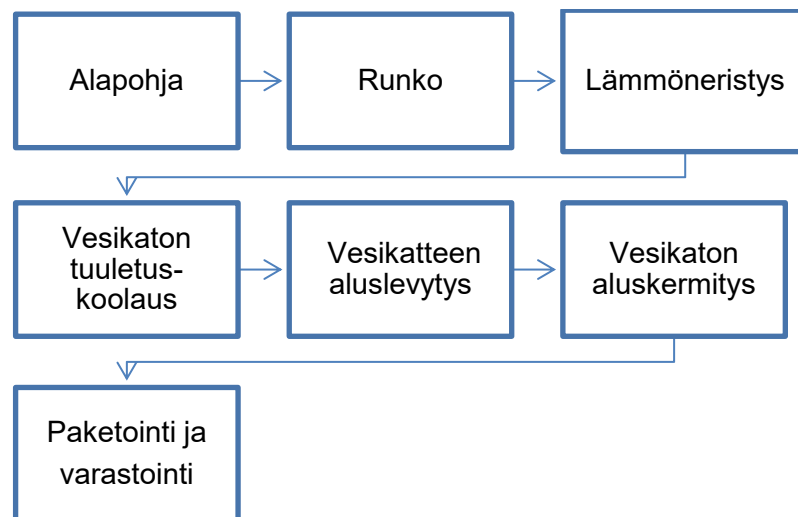
Tutkimuksen alaluvut 5.3–5.5 käsittävät empiirisen osuuden virtauttamisprosessin mitausvaiheen, jonka on määritelty teoreettisesti alaluvussa 2.2.2. Empiirisen osuuden virtauttamisprosessi käsitellään työn luvussa 6. Tapaustutkimuksen aineiston kerääminen toteutettiin aikana, jolloin tehtaan toisella tuotantolinjalla oli valmistuksessa tavallista suuremman elementtitoimituksen kattoelementit.

Tapaustutkimuksen aineiston keräys koostui tuotantoprosessin seurannasta ja määrittämisestä, sen ajallisesta mittaamisesta sekä sen sisältämien häiriötekijöiden havainnoinnista. Aineiston kerääminen toteutettiin seuraavassa järjestyksessä:

- 1) *Tuotantoprosessin seuranta ja tarkastelu.* Kaikista kattoelementtien tehdasvalmistamisen sisältämistä työvaiheista toteutettiin seuranta ja vaiheiden yksityiskohdista tarkat muistiinpanot. Muistiinpanot kirjoitettiin puhtaaksi erillisiksi työselostuksiksi, joiden sisältö sijoitettiin alalukuun 5.3. Tuotantoprosessin seurannan ja tarkastelun perusteella toteutettiin myös tuotantoprosessin nykytilan mallintaminen. Tuotantoprosessin yksityiskohtainen kuvaus on toteutettu alaluvussa 5.3 tekstimuotoisena ohjeistuksena ja se käsittää kaikki elementtityypit.
- 2) *Tuotantoprosessin ajallinen mittaus.* Jokainen tuotantoprosessin työvaihe mitattiin ajallisesti erikseen, josta saatiin selville tuotantoprosessin normaali läpäisy-aika. Tämän jälkeen mitattiin tuotantoprosessin todellinen läpäisy-aika. Ajallisen mittauksen tulokset merkittiin ensin muistiinpanoiksi, minkä jälkeen ne sijoitettiin Microsoft Excel- taulukkolaskentaohjelmaan vaiheajkojen laskemista ja jatkoanalysointia varten. Laskennan jälkeen Excel- laskentataulukkojen ajalliset mitaustulokset muutettiin prosentuaaliseen muotoon ja sijoitettiin alaluvun 5.4.2 taulukoiksi.
- 3) *Tuotantoprosessin häiriötekijöiden havainnointi.* Tuotannosta etsittiin häiriötekijöitä, jolloin suurin osa niihin liittyvästä seurannasta toteutettiin samaan aikaan tapaustutkimuksen aineiston keräämisen vaiheiden 1 ja 2 tuotannon seurannan yhteydessä. Havaitut häiriötekijät kirjattiin muistiinpanoihin ja tallennettiin sitten erilliseen havaintopäiväkirjaan. Havaittuja häiriötekijöitä käsitellään alaluvussa 5.5.

5.3 Kattoelementtien tuotantoprosessin kuvaus

Elementin valmistaminen ja siihen liittyvien työvaiheiden järjestys on kuvan 13 tuotantoprosessin karkean kuvauksen mukainen. Tuotannon työvaiheita on yhteensä seitsemän ja ne ovat alapohja-, runko-, lämmöneristys-, tuuletuskoolaus, aluslevytys- ja aluskermitysvaihe sekä lopuksi paketointi ja varastointi. Elementin tuotantoprosessin ensimmäinen vaihe on alapohjan kokoaminen, jossa syntyy yläpohjan sisäpuolinen verhoilu- sekä tätä kannattava koolausrakenne. Kyseisenä sisäpuolen verhoiluna käytetään yleensä kipsilevyä. Tämän jälkeen kootaan elementin runko, joka käsittää elementin pituussuuntaiset LVL-palkit kumpaankin pitkittäisreunaan kiinnitettynä. Runkovaihetta seuraa eristysvaihe, jossa elementtiin asennetaan varsinainen lämmöneriste, mitä seuraavat vesikaton tuuletuskoolaus- ja levytysvaihe. Lopuksi asennetaan aluskermi levytyksen päälle sekä paketoitetaan elementit maantiekuljetusta varten.



Kuva 13. Elementin tuotantoprosessin karkea kuvaus

Tuotantoprosessin jokaisessa työvaiheessa on määrätty toteutettava rakennesisältö sekä asennusjärjestys, joka määrittää tämän alaluvun tuotantoprosessin yksityiskohtaisessa kuvauksessa. Taulukko 2 näyttää jokaisessa työvaiheessa asennettavat rakennesat elementtityypeittäin liitteiden A, B ja C rakenneosanumeroinnin mukaan.

Taulukko 2. Elementtien rakenteiden toteutuksen jakautuminen eri työvaiheille

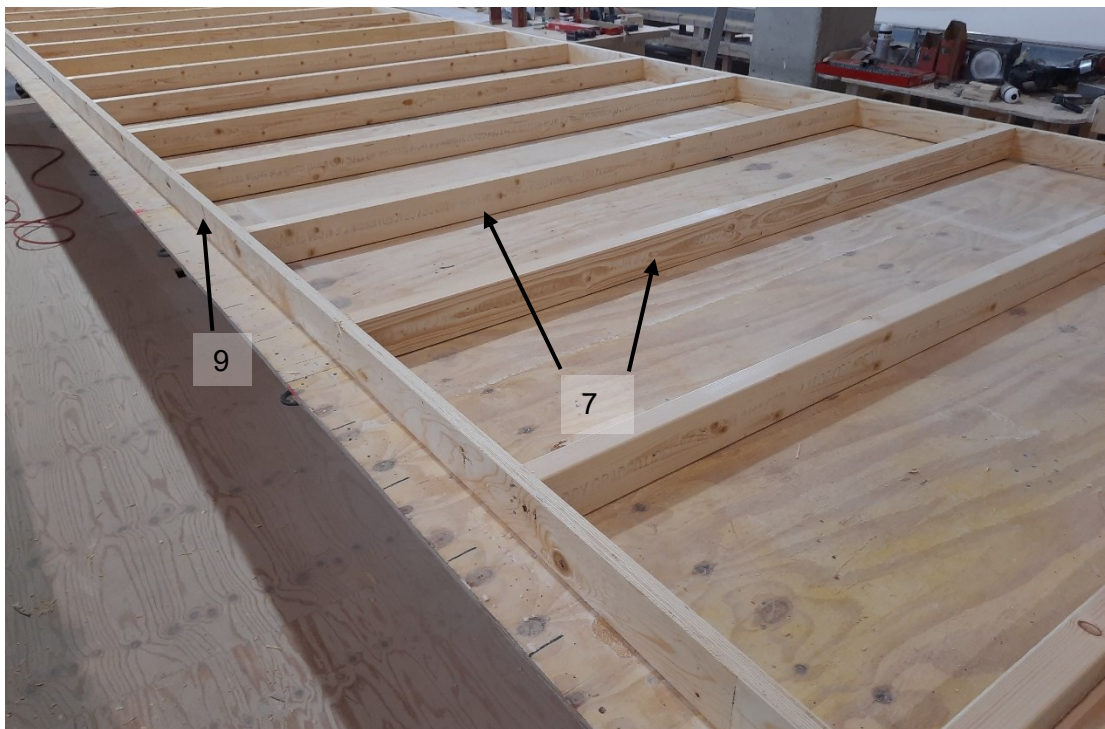
Työvaihe	Suorakaide-elementin rakenneosat liitteessä A	Räystääselementin rakenneosat liitteessä B	Harjاءelementin rakenneosat liitteessä C
	Alapohja	6 7 8 9 13	6 7 8 9 13 18
Runko	4 10 11 14	4 10 11 14	4 10 11 14
Eristys	5	5	5
Vesikaton tuuletuskoolaus	3 12 15 16 17	3 12 16 17 19	3 12 15 16 17 18
Vesikatteen aluslevytys	2	2 20 21 22 23 24 25 26	2
Aluskermitys	1	1	1

Taulukon 2 mukaan valtaosa suorakaide-elementin rakenneosista asennetaan alapohjavaiheessa, runkovaiheessa ja vesikaton tuuletuskoolaus- vaiheessa. Vaikka liitteen A rakennesuunnitelmassa oleva alapohjan villoitus on osa rakenneosaa 7, se asennetaan vasta runkovaiheen alussa kaikissa elementtityypeissä. Taulukko 2 ei sisällä kaikkia elementin sisältämiä osia, kuten esimerkiksi kiinnikkeitä vaan taulukon tarkoitus on selvittää, miten elementin rakenteiden toteutus jakautuu työvaiheille määrällisesti ja laadullisesti. Räystääselementin räystäärakenteet toteutetaan vasta aluslevytysvaiheen työpisteellä, joka käy ilmi myös taulukosta 2. Tästä syystä myös aluslevytysvaihe on potentiaalinen pullonkaulavaihe räystääselementin osalta.

Alaluvuissa 5.3.1–5.3.7 kuvataan elementin työvaiheiden kulku yleisellä tasolla tärkeimpien rakenteiden osalta, eikä niissä siten ole kerrontaa kaikista elementtityyppien erilaisista yksityiskohdista tai rakenneosista. Räystä- ja harjaelementin työvaiheet ovat vesikatkon tuuletuskoolausvaiheeseen asti samanlaisia, kuin suorakaide-elementin ja ne sisältävät samat rakenneosat. Tästä syystä tuotantoprosessin työselostuksen viittauksissa käytetään liitteen A rakenneosamerkintöjä.

5.3.1 Alapohja

Elementin alapohjan kokoonpanopöytä on puurakenteinen laaja pöytä, jossa on laatikon pitkittäissuuntaisia tukipuita sekä poikittäissuunnan k600- koolausjakoa varten ohjauspuut. Kuva 14 havainnollistaa kokoamisen lähtötilannetta, jossa moduulin runkorakenne on koottu kokoonpanopöydän päällä. Kun alapohjan rungon poikittäis- ja pitkittäissuuntaiset tukipuut asetetaan kokoonpanopöydän ohjauspuita vasten, saadaan alapohjan runko helpommin ja nopeammin koottua suunniteltujen mittojen mukaisesti.



Kuva 14. Alapohjamoduulin runkorakenne näytettynä liitteen A rakenneosanumeroinnin mukaan

Kattoelementin alapohjaa ei voida rakentaa kerralla kokonaan vaan riippuen elementin pituudesta se koostuu yleensä kahdesta tai kolmesta alapohjamoduulista, jotka kootaan kokoamispyödyllä yksi kerrallaan ja nostetaan peräkkäin seuraavan työvaiheen työpisteelle. Poikittaisella koolauspuulla tarkoitetaan rakennusosaa 7 ja pitkittäisellä reunariamalla tai tukipuulla rakennusosaa 9 liitteessä A. Alapohjan runkorakenne muodostuu näistä kahdesta rakenneosasta. Tämän tutkimuksen osalta kattoelementin alapohja muodostui kolmesta samanlaisesta moduulista. Moduuli kootaan siten päin, että kipsilevyn puoli on ylöspäin ja kun moduuli nostetaan valmiina seuraavan työvaiheen linjastolle, moduuli käännetään samalla toisin päin, jolloin kipsilevyn puoli jää tuotantolinjan rullia vasten. Elementin alapohjan valmistaminen täysin kokonaiseksi käsittää siis useamman yksittäisen moduulin kokoamisen, joka käsitellään seuraavana.

Alapohjamoduulin kokoaminen aloitetaan tarkistamalla alapohjalaatikon asennuspöytä päällisin puolin, jotta kiinnitetyt ohjauspuut ovat sijoitettuna elementtipiirustusten mukaisella jaolla. Pöytä puhdistetaan tarvittaessa sahanpurusta ja muusta jätteestä. Tämän jälkeen asetetaan poikittaissuunnan koolauspuut paikoilleen vasten halutun koolausjaon ohjauspuita. Koolauspuut ovat yleensä valmiiksi määrämittäisiä tilattaessa alihankkijalta. Seuraavaksi moduulin pitkittäissuuntaiset tukipuut kiinnitetään koolauspuihin. Tukipuut kiinnitetään naulaamalla ainoastaan koolauspuuhun, joka on asennusjärjestyksessä ensimmäinen, muussa osassa koolauspuusta käytetään paineilmanaulausta. Peruskiinnityksen naulakoko alapohjan paineilmanaulauksessa on 2,5 kertaa 65 millimetriä ja naulamäärä viisi kertaa. Kootun alapohjamoduulin rungosta tarkastetaan tässä vaiheessa ristimita sekä pituus ja leveysmitat kummaltakin sivulta. Yhden moduulin mittatoleranssi on millimetri risti-, leveys- sekä pituusmitoissa.

Mikäli kattoelementti sisältää läpivientejä, täytyy ne huomioida luonnollisesti jo alapohjan kokoamisvaiheesta lähtien. Läpivientiä varten sahataan sen mittojen mukaiset tukipuut ja asetetaan ne koolausväliin. Aukon mittojen tarkastamisen jälkeen läpiviennin tukipuut kiinnitetään alapohjan koolaukseen naulaamalla. Tässä kohti on hyvä tarkistaa koko alapohjan rungosta osalta, että naulat ovat uponneet kokonaan ja suorasti puuhun eivätkä ne ole tulleet puusta ulos. Elementin alapohja tarvitsee nostolenkit seuraavalle työpisteelle nostoa varten, jotka toteutetaan työjärjestyksessä seuraavana. Elementin pituudesta riippuen porataan 32 millimetrin reikä nostolenkeille laatikon pitkittäiseen tukipuuhun koolauspuun molemmille puolille ja näiden välissä olevaan koolauspuun yhteen kohtaan. Nostolenkki pujotetaan poratuista aukoista ja jätetään paikoilleen valmiiksi nostoa varten.

Tutkimushetkellä tuotantolinjalla oli käynnissä projekti, jossa höyrynsulku (liite A, rakenneosa 6) oli sijoitettava suunnitelman mukaan elementin sisäverhousmateriaalin eli kipsilevyn ja alapohjakoolauksen väliin eikä vasta alapohjarakenteen yläpuolelle ennen varsinaista lämmöneristettä. Jälkimmäinen sijoitus höyrynsululle on yleisempi asennustapa, mutta tästä voidaan poiketa projektikohtaisesti, kuten kyseisen projektin tapauksessa on tehty. Höyrynsulun tullessa kipsilevyn ja koolauksen väliin se asennetaan siten, että höyrynsulkukalvoa jatketaan pitkittäisen tukipuun leveyden verran alapohja reunan yli. Mahdollisten läpivientien kohdalla muovia jatketaan tukipuun leveyden verran alapohjan läpivientiaukon reunan yli. Samalla muovi viistetään läpiviennin kulmissa. Höyrynsulku asennetaan siten, että se ylittää elementin päädyn elementtipiirustuksessa kerrotun pituuden. Läpivientien kohdalle asennetaan lisäksi lyhyt muovi jatkumaan limittäin alapohjan läpi, jotta höyrynsulku jatkuu aukon sisäreunoja pitkin alapohjan yläpuolelle. Höyrynsulku saadaan näin jatkuvaksi läpiviennin kohdalla. Muovit saumataan tosiinsa liimausmassalla.

Seuraavaksi alapohjamoduuliin asennetaan kipsilevytys (liite A, rakenneosa 8). Mahdollisten läpivientien kohdalla kipsilevy sahaan läpiviennin tukipuuta mukailleen aukon muotoiseksi kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15. Kipsilevyjen asennus ja levyn sahaus läpiviennin kohdalla

Ensimmäinen kipsilevy asetetaan siten, että kipsilevyn pitempi sivu on poikittain laatikon pitkittäissuuntaan nähden ja se kiinnitetään aluksi ruuvaamalla vain kulmista. Tässä vaiheessa tarkistetaan, että levy on suorassa suhteessa koolaukseen ja että kipsi levyn reuna etenee suorasti suhteessa pitkittäisiin tukipuihin. Sitten asetetaan asennusjärjestyksessä seuraava kipsilevy paikoilleen ja toistetaan tarkistus. Kun kaikki kipsilevyt on kiinnitetty tällä tavalla, tarkastetaan alapohjamoduulin ristimitat ja sivumitat uudelleen. Jos mitat ovat toleranssien sallimat, kiinnitetään levyt enemmillä ruuveilla kiinni koolaus- ja tukipuihin. Kipsilevyn reunat kiinnitetään ruuveilla projektikohtaisilla kiinnitysväleillä. Lopuksi tarkistetaan vielä moduulin risti- ja sivumitta ja tarkistetaan ruuvikiinnitysten laatu. Ruuvien kanta täytyy olla tasan kipsilevyn pinnan kanssa ja levyn kartonki ei saa rikkoutua.

Kipsilevytyksessä huomioitavaa on se, että levyn sivun täytyy tulla noin millimetrin yli ensimmäisestä koolauspuusta alapohjamoduulin päätysivulla, jotta moduulin päätyjen kipsilevyosaumoihin ei jää rakoa. Pitkittäissivulla taas täytyy huolehtia siitä, ettei kipsilevyn reuna ole samassa tasossa pitkittäisen tukipuun kanssa, koska laatikko tulee tukeutumaan sivuiltaan kertopuupalkkiin tukipuusta eikä kipsilevystä. Täten on pidettävä huoli siitä, että kipsilevyn reuna jää moduulin pitkittäissivuilla 1–2 millimetrin päähän tukipuun reunan tasosta. Kipsilevyjen ruuvien kannat eivät saa painua täysin levyn paperin läpi vaan levyn tasoon. Ruuvia ei saa myöskään laittaa liian lähelle kipsilevyn reunaa vaan kannan reunan ja kipsin reunan väliin saa jäädä noin 5 millimetriä. Ruuvien kanta ei saa myöskään jäädä koholle levyssä, vaan sen täytyy painua edellä kerrotun mukaisesti kipsilevyyn.

Höyrynsulkumuovin tullessa alapohjakoolauksen yläpuolelle läpiviennin sisäreunaan asennetaan laudoitus, joka kiinnitetään aukon tukipuihin. Laidoitukseen käytetään valmiiksi maalattua valkoista verhoilulautaa, jota käytetään myöhemmin yleensä myös läpivientien kehyslaidoituksessa sekä alapohjamoduulin reunalaidoituksessa. Kehyslaudat jäävät näkyväksi osaksi elementtien sisäpuolen verhoilua, joten laudan katkaisusahauksen jälkeen näkyviin jäävä sahauspinta maalataan valkoiseksi ennen kiinnitystä. Kehyslaidoituksessa on ulkonäön kannalta huomioitava myös se, että naulat jäävät siististi suoraan linjaan.

Läpivientien kehyslaidoituksen jälkeen kiinnitetään alapohjamoduulin pitkittäisreunojen verhouslaudat (liite A, rakenneosaa 13). Reunalaudat kiinnitetään laatikon pitkittäissivulla siten, että laudan reuna jää yli pitkittäisen tukipuun reunasta. Kyseinen ylitys on usein elementin runkopalkin leveys jatkettuna viidellä millimetrillä. Kiinnityksessä on hyvä käyttää jigipuristinta, jotta lauta ei pääse liikkumaan. Myös reunalautojen asennuksessa on

huomioitava se, että naulat tulevat suoraan linjaan. Seuraavaksi moduuli nostetaan nostoliinoilla rungon kokoonpanopisteelle ylösalaisin eli kipsilevyn puoli alaspäin, jolloin se lepää linjalla kehyslaudat vasten rullia.

Valmiin alapohjamoduulin nostaminen kokoonpanopöydältä runkopisteelle sekä moduulin nostolenkkien reikien sijoittelu on esitettyä kuvassa 16. Kuvasta näkee hyvin myös alapohjan reunalautojen reunaylitykset. Toisin kuin suurimmassa osassa tutkimuksen aikana tuotettuja alapohjamoduuleja kuvan 16 kuvaushetkellä pisteellä ollut moduuli ei sisältänyt vielä höyrynsulkua kipsilevyn ja alapohjakoolauksen välissä. Alapohjamoduulin laskemisessa rungon kokoonpanolinjan rullille on huolehdittava siitä, ettei se iskeydy äkkinäisesti vasten rullia, jolloin lautoihin tulisi painaumia ja moduuli ei tällöin etene rullaradalla tasaisesti. Lopuksi tarkastetaan laatikko silmämääräisesti ohi menneitten kipsilevyruuvien varalta. Alapohjamoduulin yleinen laatu silmällä läpi, jonka jälkeen moduuli on valmis liitettäväksi muihin moduuleihin runkovaiheessa.

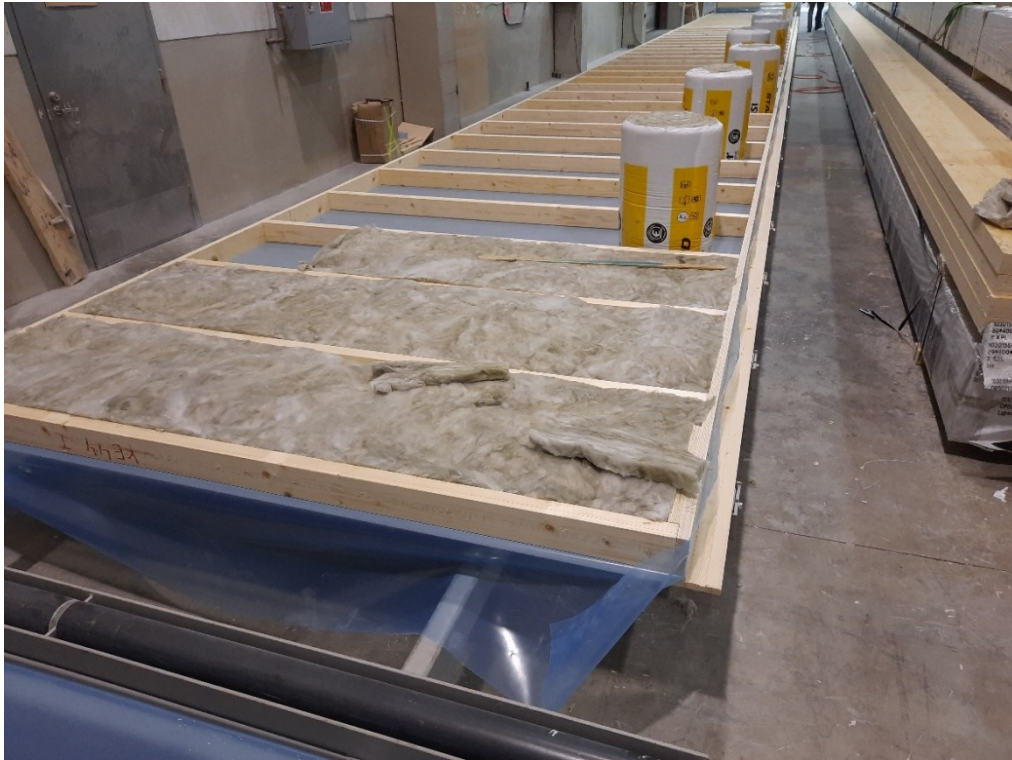


Kuva 16. Alapohjamoduulin nostaminen kokoonpanopöydältä.

5.3.2 Runko

Nyt elementistä on valmistettu alapohja erillisinä moduuleina ja seuraavaksi aloitetaan elementin runkovaihe. Runkovaiheessa moduulit liitetään toisiinsa, jolloin ne yhdessä muodostavat elementin alapohjan. Riippuen elementin koosta laatikoita voi olla useampia ja ne on nostettu rullille peräkkäin. Ensimmäiseksi porataan reiät elementin varsinaisille, asentamisessa käytettäville nostolenkeille suunnitelmien mukaisin välein kertopuupalkkiin. Poraus tehdään siten, että palkit ovat päällekkäin ja reikä porataan yhtä aikaa palkkinippuun samalla porauksella. Tätä ennen varmistetaan, että palkit ovat toimituksessa nipussa samalla kohdalla. Reikien poraamisen jälkeen levitetään saumausmassa alapohjamoduulien välisten höyrynsulkutaitosten pinnoille, jos höyrynsulku on sijoitettu kipsilevyn ja alapohjakoolauksen väliin. Täten koko alapohjan höyrynsulusta saadaan yhtenäinen. Höyrynsulkutiiviste asennetaan moduulien liitosten toteutuksen jälkeen. Läpiviennin höyrynsulkumuovin limitykset ja liimaukset sekä läpiviennin mahdollisen tiivistekauluksen asennus toteutetaan elementtisuunnitelman mukaisesti.

Alapohjamoduulit kiinnitetään tämän jälkeen toisiinsa reunimmista koolauspuista 100 millimetriä pitkällä ruuveilla moduulin reunoilta ja keskeltä. Tässä voidaan käyttää apuna ruuvipuristinta, joka pitää moduulit tiiviisti kiinni toisissaan. Alapohjan koolausväli villoitetaan sata millimetriä paksulla, k600- jakoon valmiiksi mitoitetulla mineraalivillalla kuvan 17 mukaisesti. Elementtiruuvien asennusputki tulee tyvestään kiinni neliörimasta katkaistun tukipalaan (liite A, rakenneosa 11), joka kiinnitetään naulaamalla tukipuuhun (liite A, rakenneosa 10). Liitteen A rakenneosan 10 käsittämä tukipuu kiinnitetään 60 millimetrin nauloilla ja polyuretaaniliimalla alapohjan pitkittäisen reunariman sisäpintaan. Tämän jälkeen alapohjan leveys mitataan useista elementin kohdista ja pituusmitta otetaan kummaltakin pitkittäisrivulta sekä lisäksi tarkistetaan ristimita. Kaikki mitat merkitään tarkistuspöytäkirjaan. Mittojen tarkistaminen korostuu elementin koon kasvaessa. Jos höyrynsulkumuovi asennetaan vasta tässä vaiheessa eli se on suunnitelmassa määrätty sijoitettavaksi alapohjakoolauksen ja lämmöneristeen väliin, se täytyy asentaa siten, että muovia jatketaan pitkittäisen tukipuun leveyden verran alapohjan läpivientiaukon reunan yli. Läpivienneissä muovia jatketaan tukipuun leveyden verran reiän reunan yli. Samalla muovi viistetään läpiviennin kulmissa, jonka jälkeen toteutetaan läpiviennin kaulusrakenne, tämän kiinnitys ja liittyminen höyrynsulkuun detaljin mukaisesti. Seuraavaksi kiinnitetään elementtiruuvien tukipala (liite A, rakenneosa 9) naulaamalla moduulin reunariimaan ja tämän sisäpuolen sivulle kiinnitetyn lyhyen tukipuun kohdalle. Elementtiruuvien asennusputki on muovinen, sähköjohtoja varten valmistettu asennusputki, joka on yleensä katkaistu valmiiksi elementin kokonaiskorkeuden mukaan.



Kuva 17. Moduulit yhdistettynä peräkkäin koko elementin alapohjaksi ja koolausväliin lämmöneristäminen

Putki asetetaan sille tarkoitetun tukipalan reikään. Elementtiruuvi asennetaan reikään valmiiksi teräsrunkohteisissa. Muissa kohteissa tehdään ruuville esiporaus. Kattoelementin runkona käytetään LVL-palkkia, jollainen asennetaan elementin kummallekin pitkittäissivulle (liite A, rakenneosa 4). Ensimmäiseksi asetetaan nostoliinat valmiiksi kerto-
puupalkkeihin ja nostetaan runkopalkkina toimiva LVL-palkki paikalleen. Palkki hivutetaan nosturilla alapohjan reunalaudan päälle. Palkki jätetään tukeutumaan nostoliinoista ja ruuvataan projektikohtaisella jaolla alapohjan poikittaiseen tukipuuhun kiinni ruuvilla. Tässä kohtaa on hyvä käyttää mekaanista pikapuristinta pitämään palkki vasten alapohjan reunalautaa.

Tämän jälkeen irrotetaan nosturi palkista ja ruuvataan samoilla ruuveilla palkki kiinni alapohjaan jokaisen koolauspuun kohdalta. Höyrynsulkumuovi on sijoitettu kipsilevyn ja alapohjan koolauksen väliin, joten saumasmassa täytyy asettaa ennen runkopalkin asentamista höyrynsulun taitteen päälle, jotta se tiivistäisi tämän ja runkopalkin välin. Jos kyseessä on räystääselementti, runkopalkit ovat yleensä erivahvaiset rakenne- ja palomitoituksen takia. Runkopalkkeihin aiemmin tehdyt nostoreiät toimivat elementin nostoreikkinä

työmaa-asennuksessa. Nostoreikien väliin kiinnitetään ruuveilla naulauslevy vahvistamaan reikien väliä. Rungon päihin asennetaan päätylevyt (liite A, rakenneosaa 14), jotka naulataan kiinni palkin päähän ja alapohjan runkoon, mikä näkyy kuvassa 18. Levyillä sidotaan palkit tarkkaan suoraan kulmaan.



Kuva 18. Elementin päädyn levytys runkovaiheen lopussa

Päätylevyn mittatoleranssi on millimetri ja sen materiaali on vaneria tai OSB-levyä. Palkissa olevien 150 millimetrin ruuvien lisäksi palkki kiinnitetään vielä 90 millimetrin nauhoilla alapohjan pitkittäiseen tukipuuhun riittävin välein. Elementin runko on nyt koottu ja se on valmis siirtymään lämmöneristysvaiheen työpisteelle.

5.3.3 Lämmöneristys

Seuraavaksi elementtiin asennetaan varsinainen lämmöneriste (liite A, rakenneosaa 5). Eristystyö alkaa jakamalla tarvittava villapakkausten määrä valmiiksi koko elementin matkalle. Eristeen paksuus ja muut ominaisuudet ovat projektikohtaisia. Villaa otetaan pieniä paloja ja sijoitetaan ne elementtiruuvien asennusputkien ja runkopalkin väliin. Tällä parannetaan lämmöneristystä ruuvien kohdalla, jossa villa ei putkien takia ulotu

palkkiin asti. Villarullat levitetään elementin pituussuuntaan. Palkkien väliin mahtuu levittämään kaksi villarullaa vierekkäin. Vierekkäin etenevistä villalevyjonoista tehdään ensin vain toinen elementin päädystä päätyyn ja viimeisestä levystä leikataan sopiva pala. Ylijäävä osa levystä sijoitetaan toisen levyjonon ensimmäiseksi palaksi ja näin saadaan villalevyjonojen saumojen tarvittava limitys. Kuva 19 esittää elementin valmiin lämmöneristyksen.



Kuva 19. Elementin lämmöneriste kokonaan asennettuna

Kuvasta 19 nähdään myös elementtiruuvien asennusputkien kohdan villoitus sekä eristerakenteen yleisen laadun valmiina. Huomioitavaa villoituksessa on se, että villalevy pysyy parhaiten paikoillaan, kun se leikataan 5-10 millimetriä sijoitettavan välin pituutta leveämmäksi. Tällöin levy pysyy paikoillaan eikä se ole väliin liian iso, jolloin siinä ei

myöskään ilmene poimuja, jotka aiheuttaisivat eristerakenteeseen kylmäsiltoja. Läpiviennin villoitus toteutetaan detaljin mukaisesti, tarvittaessa kohta jätetään villoittamatta. Eristerakenteen tulee olla yhtenäinen ja tasainen, jottei kylmäsiltoja tule syntymään. Levyn reunat on oltava samassa tasossa. Villoituksen viimeistelevässä paikkauksessa on myös otettava huomioon, että eristerakenteesta tulee mahdollisimman tasainen eikä siinä ilmene rypyjä. Usein paikattaessa villoituksen rakoja eristerakenteesta voi tulla helposti epätasainen. Työpiste ja elementti siivotaan lopuksi ylimääräisestä eriste- ja pakkausjätteestä.

5.3.4 Vesikaton tuuletuskoolaus

Elementin lämmöneriste on nyt kokonaan asennettu ja seuraavaksi toteutetaan vesikaton tukirakenne sekä tiivisteet. Seinäliittymien elementeissä asennetaan päätylevy (liite A, rakenneosa 17) vasten elementin leveyden pituinen aluskate-mineraalivillakaistale, jolloin aluskate nidotaan reunoistaan kiinni levyyn ja villakaistale jää levyn ja aluskatteen väliin. Räystääselementissä samankaltainen aluskate-villa-kaistale (liite B, rakenneosa 17) asennetaan myös elementin pitkittäisrivulle räystäään alle kattaen koko elementin pituuden.

Tämän jälkeen asennetaan vaneririma (liite A, rakenneosa 12) tukemaan elementin tiivisterakennetta alapohjan valkoisen reunalaudan päälle. Kattoelementtien välisiin saumoihin asennetaan EPDM -tiiviste (liite A, rakenneosa 16). Tiiviste asennetaan elementin reunaan kaadon puolelle nitomalla se ensin kiinni viiden metrin välein reunariman päälle, jotta se tukeutuu kokonaan runkopalkkiin ja tämän jälkeen niittejä voidaan asentaa tiheämmin. Runkopalkin yläreunan tasalle tuleva palotiiviste kiinnitetään koko elementin pituudelle niiteillä (liite A, rakenneosa 15). Räystääselementissä valkoinen leveämpi EPDM-tiiviste asennetaan tässä vaiheessa reunariman ja runkopalkin väliin.

Seuraavaksi asennetaan tuuletuskoolaus (liite A, rakenneosa 3), josta käytetään myös käsitteitä vesikattopalkisto ja kattovasat. Tuuletuskoolauksen jako merkitään runkopalkkiin merkintärimaa apuna käyttäen, jossa on merkinnät k600- jaon mukaan. Joka neljännessä kohdassa on tässä projektissa kaksinkertainen kattovasa, joka estää runkopalkin kiepahduksen palotilanteessa. Merkitsemisen jälkeen jaetaan kaikki palkit paikoilleen ennen kiinnitystä. Kaksinkertaisen vasakohdan kaksi palkkia kiinnitetään toisiinsa naulaamalla jo ennen kiinnitystä elementin runkopalkkiin. Kiinnitys tapahtuu siten, että runkopalkin särmän läpi naulataan ensin naula yläviistoon vesikattopalkkiin ja sitten tämän sivuilta alaviistoon runkopalkkiin. Reunimaiset palkit naulataan myös päätylevyyn

kiinni. Tässä vaiheessa asennetaan myös läpivientirakenteet osaksi palkistoa suunnitelman mukaisesti.



Kuva 20. Elementin vesikaton palkisto, palokatkolevytys ja reunatiiviste

Elementtiin asennetaan nostopisteiden kohdalle naulauslevyt, jotka sitovat vesikattopalkit ja runkopalkin yhteen. Peruselementissä ja alle 0,6 metrin räystääilytyksen elementeissä naulauslevy kiinnitetään joka kolmanteen palkkiin nostopisteiden lisäksi. Naulauslevyjä voidaan asentaa tiheämminkin projektikohtaisesti. Kuvasta 20 on nähtävissä palkisto, palokatkolevytys ja pitkittäisreunan tiiviste. Poikittaissuuntainen palokatkolevy ripustetaan palo-osastoinnin mukaan. Palokatkolevyn yläreuna asetetaan vesikaton palkkien yläreunan tasolle ja se yltää noin puoleen väliin elementin lämmöneristettä. Palotiiviste ei kuvan 11 ottamishetkellä ollut vielä asennettuna.

5.3.5 Vesikaton aluslevytys

Elementin vesikaton palkisto on nyt toteutettu ja seuraavaksi toteutetaan elementin vesikatetta tukeva levytys (liite A, rakenneosaa 2). Levynä käytetään yleensä elementin pe-

rusleveyden levyistä ja 18 millimetrin vahvuista OSB- levyä. Levyt jaetaan koko elementin pituudelle kattopalkkien päälle. Viimeinen levy sahataan reunimmaisen kattopalkin kanssa tasan. Jos täysi levy ei pääty palkin kohdalle, levy lyhennetään lähimpään palkkiin päättyväksi. Levyt naulataan tässä vaiheessa kevyesti kiinni sivuiltaan sekä kulmista.

Räystäelementin tapauksessa räystään osuus jää tässä vaiheessa vielä ilman levytystä. Räystäsrakenteiden yksityiskohdat vaihtelevat projektikohtaisesti. Kuvassa 21 on nähtävissä räystäsrakenteiden toteutus rakenneosat liitteen B mukaan numeroituina.



Kuva 21. Levytysvaiheen sisältämä räystäsrakenteiden toteutus näytettynä liitteen B rakenneosanumeroinnin mukaan

Tässä projektissa räystääseen asennettiin aluksi pieneläinverkkokaistale (liite B, rakennesosa 20), joka kiinnitettiin räystäspuuhun nitomalla. Kun elementti lasketaan asennuksessa seinäelementin yläpuolelle, tällä tavoin kiinnitetty verkko puristuu tiiviiksi pussiksi tukkien seinä- ja kattoelementin välisen sauman raon. Seuraavaksi asennetaan räystäään side- ja tukipuu sekä tämän jälkeen räystäslaudoat (liite B, rakennesosat 22, 26, 23 ja 24). Räystään osuus levytetään lopuksi suunnitelman mukaisella levyllä, joka on yleensä va-

neria (liite B, rakennusosa 25). Levyt ovat nyt kiinnitetty kevyesti ja seuraavaksi ne nautaan perusteellisemmin elementin reunoilta sekä palkkien kohdilta sopivalla jaolla. Vesikattopalkin kohdalta naulat saa helpommin asennettua suoraan linjaan käyttämällä väriainetta sisältävää merkintälankaa ja merkitsemällä palkkilinjan levyyn.

Lopuksi porataan 32 millimetrin terällä reiät elementin levytykseen asennusruuvien asennusta varten. Asennusreikiä porattaessa on vältettävä asennusputkien vaurioittamista poran tunkeutuessa levyn läpi. Tässä vaiheessa tarkastetaan elementin pituus-, leveys- ja ristimita ja että elementti on aluskermitystä lukuun ottamatta täysin valmis eikä siitä esimerkiksi puutu rakennosia. Jos kaikki edellä mainitut asiat ovat kunnossa, elementti voi edetä aluskermitysvaiheeseen. Kuvassa 21 räystäslaudoitus eli osat 23 ja 24 jätetään asentamatta 1220 millimetrin pituudelta elementin päädyissä.

5.3.6 Vesikaton aluskermitys

Elementti on nyt vesikatetta vaille valmis ja se on tarkastettu kokonaan, jotta se voi edetä kermitysvaiheeseen. Kermitys (liite A, osa 1) aloitetaan puhdistamalla levypinta paineilmalla sekä jakamalla etukäteen sopiva määrä huoparullia elementin lähelle. Ensimmäinen kaistale kermiä levitetään pidemmän sivun suuntaisesti kaadon puolelle elementtiä siten, että kermi ylittyy elementin sivureunalla 200 millimetriä.

Elementin päiden osalta ylitys pitää olla 200 millimetriä. Kermin reuna kiinnitetään alusrakenteeseen aluslevyillä varustetuilla kermiruuveilla. Kiinnityksen jako tehdään suunnitelmassa ilmoitetulla jaolla tai yleisjaolla, joka on 610 millimetriä. Lisätuulikuormassa ruuvijako tiheytyy kuorman mukaan yleensä 305 tai 200 millimetriin. Kermitysohjeen mukainen ristisauman sopiva limitys on 150 millimetriä. Ristisauma hitsataan siten, että molemmat kermiä kuumennetaan hitsaustyöhön tarkoitetulla kuumailmapuhaltimella ja painetaan kermiä toisiaan vasten kermitystyökalulla. Seuraavaksi levitetään kermikaistaleet ensimmäisen kaistaleen mukaisesti sopivin limityksin ja hitsataan kiinni kuumailmapuhaltimella myös kaistaleiden välisessä pitkittäissaumassa. Jokaiseen kermikaistaleeseen tehdään vähintään 200 millimetrin ylitys. Tämän jälkeen kattoelementti on teknisesti täysin valmis ja seuraavaksi se paketoidaan ja varastoidaan. Kuvassa 22 on nähtävissä viimeistelty aluskermitys ja siten täysin valmis kattoelementti.



Kuva 22. Kattoelementti valmiina

5.3.7 Paketointi ja varastointi

Elementit kuormataan ja paketoidaan kuljettamista varten ensin elementtipukeille linjaston loppupäässä yleensä neljän tai viiden elementin pinoon riippuen elementtien korkeudesta. Elementtipukeilla tarkoitetaan keltaisia, A- kirjaimen muotoisia telineitä kuvassa 23, jossa paketoinnin alaosa näkyy alimmaisena elementin ympärille käärittynä mustana muovina ja paketoinnin yläosan vaaleaa suojamuovia ollaan levittämässä.

Pukin pankolla tarkoitetaan sitä pukin osaa, joka yhdistää pukin A- kirjaimen muotoiset jalat kuorman poikkisuunnassa ja jonka päällä elementit täten lepäävät. Kuorman korkeus täytyy olla normaaliliikenteen mittarajojen sallimissa mitoissa. Tuotannon suunnitellun järjestyksen mukaan pukkijärjestyksen alimman elementin pitäisi olla saapunut ensimmäisenä linjaston loppupäähän heti edellisen pukin elementtien lastauksen jälkeen. Paketoinnin ensimmäinen vaihe on kuormapakkauksen alemman suojamuovin levittäminen viereisellä rullalinjalla lepäävän valmiin elementin päälle, jonka päälle pukkijärjestyksessä alin elementti nostetaan. Elementti kääritään mustaan pakkausmuoviin tiukasti ja nidotaan muovi kiinni elementin sivuihin. Tämän jälkeen riippuen elementtien pituudesta valitaan pukkikaaviosta sopiva pukin pankkojako ja merkitään pukin pankon paikat merkintämaalilla mustaan alamuoviin Merkinnot näkyvät myös kuvassa 23 sinisinä merkeinä. Seuraavaksi sijoitetaan pukit valmiiksi valitun pankkojaon mukaan. Pukin pankon päälle on laitettava pankon levyinen vanerilappu, jotta elementtien paino ei riko alimman elementin rakennetta.



Kuva 23. Elementtikuorman paketointi

Ennen paketoinnin jatkamista maalataan pukin ja lähetyksen sisältämien räystääselementin räystäät. Räystääselementit nostetaan yleensä elementtikuormankuorman päällimmäiseksi, joten ne on helppo maalata tässä vaiheessa. Täten alta päin voidaan ruiskuttaa maalia, ja räystäas saadaan maalattua kattavasti. Yhden elementtierän sisältö on usein 4–5 elementtiä eli yhdelle pukille lastataan yleensä 4–5 elementtiä päällekkäin. Elementit saapuvat valmiina paketointipisteelle pukkijärjestyksessä linjastoa pitkin. Tämä on tärkeää sen takia, että linjastolle saadaan tilaa tuotantolinjan alkupäässä valmistuville elementeille eikä kuorman alimmaisista elementtejä jouduta välivarastoimaan linjastolle. Lastattaessa pukeille elementit eivät saa olla kosketuksissa toisiinsa vaan kuljetuksen aikaisten vaurioiden ehkäisemiseksi niiden väliin asetetaan 18 millimetriä paksut ja noin kaksi metriä pitkät vaneri- tai OSB-levystä sahatut rimat. Elementtien väliriemien täytyy olla pukkien pankkojen kohdalla alimpien elementtien taipumisen ehkäisemiseksi.

Kermin ylitykset sidotaan kuljetuksen ajaksi elementin kulmiin nitomalla muutamalla niitillä. Muutama niitti riittää kiinnitykseen, koska kermin täytyy olla helposti irrotettavissa työmaalla. Alimmaisen elementin kermin ylitys nitetaan jo ennen harvarimoitusta. Mustan alapuolisen muovin päälle, noin 300 millimetrin korkeudelle alimmaisen elementin

alareunasta naulataan harvarimoitus noin kaksi metriä pitkistä vaneririmoista, joka näkyy myös kuvassa 14. Rimoja ei asenneta jatkuviksi peräkkäin, vaan väliin jätetään noin sata millimetriä leveä rako mahdollisen paketoinnin sisään muodostuvan kondenssiveden poistumista varten. Seuraavaksi levitetään päällysmuovi rullalta elementin päälle henkilönosturia ja pukkinosturia apuna käyttäen ja levitetään muovi myös elementin pitkittäissuunnassa.

Jos kuorma sisältää suurempia elementtejä, joiden vuoksi vakiokokoinen päällysmuovi ei ylety mustan alamuovin rimaan asti, voidaan alamuovia jatkaa toisella laidalla esimerkiksi höyrynsulkumuovilla ja nostaa täten kondenssiveden huomioiva harvarimoitus ylemmäs, johon päällysmuovi kiinnitetään. Mikäli lähetys sisältää pitkälle ulottuvia räystäselementtejä, alamuovin yläreunaa joudutaan jatkamaan ylemmäksi. Ennen tämän jatkosmuovin asentamista asetetaan kuorman sidontaliinat siten, että ne kulkevat räystäselementin vesikattopalkiston välistä ja levytyksen alta runkopalkkeihin tukeutuen. Liinat ulottuvat elementtikuorman alapuolelle, kun ne kiristetään myöhemmin kiinni lavettiin. Tämä sidontatapa tehdään siis vain niiden kuormien osalta, jotka sisältävät leveämpiä räystäselementtejä.

Päällysmuovi taitellaan siten, että kuorman päädyissä taitetaan ensin sivuilta yli menevä muovi kuorman päädyn keskelle nitoen samalla kiinni ja tämän jälkeen taitetaan kuorman yläpuolelta ylittävä osuus muovista sivutaitosten päälle. Muovitaitokset on tehtävä siten, ettei ilmavirta revii niitä auki kuljetuksen aikana ja vesi ei valu paketoinnin sisään. Tästä syystä muovi pyritään taittamaan aina poispäin ajosuunnasta sekä elementin päissä siten, että sivutaitokset taitetaan päältä tulevan muovin alle. Päällysmuovi vedetään tiukalle ja muovin alareuna kiinnitetään vaneririmalla, joka nidotaan aiemman rimoituksen päälle. Päällysrima kiinnitetään harvarimoituksen päälle, jolloin kondenssivedelle jää aukot pois valumista varten, kun päällysmuovi jää harvarimoituksen ja päällysrimojen väliin. Kuorman päätyihin asennetaan myös pystysuuntaiset päällysrimat.

Jos projektin työmaa sijaitsee pitkän matkan päässä, päällysrimoja asennetaan enemmän kuvan osoittamalla tavalla. Elementtikuorman pitkittäisiin kulmiin asennetaan 25 x 100- laudasta kulmasuojat kuvan 24 mukaisesti siten, että jokaisen pukin pankon kohdalle tulee kulmasuoja. Suojalankun täytyy olla sen verran pitkä, että se ulottuu kahden kattopalkin leveydelle sidontakuorman jakamiseksi. Tämän jälkeen asennetaan muovinen pakkauspanta kuorman ympäri kulmasuojoihin tukeutuen siten, että jokaisen pukin pankon kohdalle tulee kaksi pantaa vierekkäin. Tällöin pakkauspanta tulee pukin pankon molemmin puolin. Kuormansidontaliinat asennetaan vasta kuljetuksen alkaessa kulmasuojien päälle pantojen väliin kuormissa, jotka eivät sisällä räystäselementtejä. Elementit ovat nyt valmiit ja pakattu työmaalle kuljetusta varten.



Kuva 24. Elementtikuorman paketoinnin viimeistely ja siirto varastoon

Lopuksi kuljetetaan elementit varastoon tehtaan pihalle kuorma-auton perävaunulla, jota ohjataan vetomestarilla. Perävaunu ohjataan elementtipukkien alle, ja asetetaan pankkojen kohdalle välilankut. Sitten nostetaan perävaunulla pukka ylös ja ajetaan pakkaus tehtaan pihalle jälleen pukkien päälle, josta kuorma-autot hakevat elementtilähetykset.

5.4 Tuotantoprosessin ajallinen mittaus

5.4.1 Mittauksen toteutus- ja dokumentointitapa

Työvaiheiden ajallinen mittaus suoritettiin yhdessä työvaiheessa kerrallaan ja samalla merkittiin muistiinpanoihin aika, jonka yksi elementti kuluttaa mennessään työvaiheen läpi. Yhtä työvaihetta pyrittiin mittaamaan niin kauan, että vähintään viiden elementin vaiheaika saatiin kirjattua ylös. Suorakaide-elementtien osalta havaintojen määrä oli lähes jokaisessa työvaiheessa vähintään viisi elementtiä, mutta räystäös- ja harjaelementtien otoskoko oli tätä pienempi. Mittauksessa merkittäviä tietoja olivat työvaiheen aloitus- ja lopetus aika (h:min), tekniset huomiot sekä elementtitunnus. Yksittäisen elementin vaiheaika saadaan siten, että

$$x = t_l - t_a - b, \quad (1)$$

jossa x on yksittäisen elementin vaiheaika (h:min) työvaiheessa, $t_l - t_a$ on *tuotantoajan* alkamishetken t_a (h:min) ja lopetushetken t_l (h:min) välisen aikavälin pituus ja b (h:min) aikavälillä $t_a \dots t_l$ mahdollisesti pidettyjen taukojen muodostamat *taukovähennykset* (kuva 25) Yksittäisten elementtien vaiheajoja mitataan vähintään viisi jokaisessa työvaiheessa ja työvaiheen vaiheajoista lasketaan keskiarvo, jolloin saadaan työvaiheen ajallista pituutta paremmin kuvaava tulos. Työvaiheen keskimääräinen vaiheaika saadaan siis siten, että

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

jossa \bar{x} on työvaiheen keskimääräinen vaiheaika (h:min), n on huomioon otettujen elementtihavaintojen määrä eli otoskoko kyseisessä työvaiheessa ja $x_1 \dots x_n$ ovat yksittäisten elementtien mitatut vaiheajat kyseisessä työvaiheessa. Työvaiheiden keskimääräiset vaiheajat voidaan määrittää suoraan kaavojen 1 ja 2 avulla lukuun ottamatta alapohjavaihetta sekä paketointi- ja varastointivaihetta. Osaan elementeistä asennetaan elementtityypille ominaisia rakenneosia vesikaton palkistovaiheesta lähtien, kuten esimerkiksi tiivisteitä, jolloin räystääs- ja harjaelementit mitataan ajallisesti suorakaide-elementeistä erillisinä mittauksina kyseisestä työvaiheesta lähtien.

Työvaiheet mitattiin ajallisesti tuotantoprosessin mukaisessa järjestyksessä. Vaiheajojen keskiarvojen ja muiden mittareiden laskenta on helpompaa suorittaa taulukkolaskentaohjelmalla. Tästä syystä jokaisen työvaiheen vaiheajat merkittiin ensin muistiinpanoiksi ja sitten kuvan 25 kaltaiseksi Excel-tilukoksi, johon elementin tiedot ja aika-arvot merkittiin omalle rivilleen. Kuvan 20 tarkoitus on havainnollistaa ajallisen mittauksen arvojen laskentatapaa eikä se sisällä oikeita mittaustuloksia.

Ajallisen mittauksen taulukon ensimmäiseen sarakkeeseen merkittiin elementin yksilöivä elementtitunnus kuvan 25 mukaisesti. Sarakkeeseen *huomioitavaa* merkittiin elementit, jotka sisälsivät harja- ja räystäsrakenteita, läpivientejä tai muita poikkeavia rakenteellisia eroja. Kuvan 25 *aikavälin pituus*- sarakkeeseen merkittiin elementin työvaiheen alku- ja päättymishetken välisen aikaeron tunteina ja minuutteina. Sarakkeessa *taukovähenny-*

nykset on huomioitu kyseiselle aikavälille sijoittuvat kahvi- ja ruokatauot. Kun aikaerotuksesta vähennetään työvaiheen aikana pidettävät tauot, saadaan selville työvaiheen vaiheika x yksittäisen elementin osalta.

LapWall Oy Pälkäne
Tuotantoprosessin ajallinen mittaus

Työvaihe:

	Elementti-tunnus	KE1	KE2	KE3	KE4	Vaiheajan keskiarvo
Alku	Pvm.	pp.kk.vvvv	pp.kk.vvvv	pp.kk.vvvv	pp.kk.vvvv	h:min
	Klo.	h:min	h:min	h:min	h:min	
Loppu	Pvm.	pp.kk.vvvv	pp.kk.vvvv	pp.kk.vvvv	pp.kk.vvvv	
	Klo.	h:min	h:min	h:min	h:min	
	Huomioita	Räystä		Harja		
	Aikavälin pituus	h:min	h:min	h:min	h:min	
	Tauko-vähennykset	h:min	h:min	h:min	h:min	
	Vaiheika x	h:min	h:min	h:min	h:min	

Kuva 25. Työvaiheen ajallisen mittauksen taulukkonäkymä Excelissä

Laskennan jälkeen kuvan 25 mukaiset Excel -taulukot sijoitettiin työraporttiin helppolukisempaan muotoon taulukoiksi 3–11, jossa yksittäiset mittausarvot ilmoitetaan prosentuaalisena osuutena niiden keskiarvosta eli aikamääriä ei ilmoiteta suoraan tunteina ja minuutteina.

Alaluvussa 5.3.1 määritelty kattoelementin alapohjavaihe käsittää yksittäisen alapohjajamoduulin kokoamisen. Kokonaisen elementin alapohja muodostuu kolmesta tällaisesta moduulista. Ajallisessa mittauksessa mitattiin yhden alapohjajamoduulin vaiheikaa, jolloin kaavojen 1 ja 2 tuloksena saadaan yksittäisen moduulin keskimääräinen vaiheika \bar{x}_M . Elementin kokonaisen alapohjarakenteen keskimääräinen vaiheika saadaan selvitettyä seuraavasti:

$$\bar{x}_A = 3 \cdot \bar{x}_M, \quad (3)$$

jossa \bar{x}_A on kokonaisen elementin alapohjavaiheen vaiheaika ja \bar{x}_M yksittäisen alapohjamoduulin keskimääräinen vaiheaika. Elementti sisältää liitteiden A, B ja C mukaisesti kolme samanlaista alapohjamoduulia ja täten koko elementin keskiarvo voidaan laskea yksinkertaisesti kaavan (3) mukaan.

Alaluvussa 5.3.7 määritelty elementtikuorman paketointi koostuu erillisestä, kuorman alimmaisen elementin paketoinnista ja kuorman yläosan paketoinnista. Paketointivaiheen molemmat osat on pyritty huomioimaan laskennassa mahdollisimman hyvin, jolloin alaosan paketointiin kuluva aika mitattiin kerran. Toisaalta on merkittävämpää mitata ajallisesti paketoinnin jälkimmäisenä vaiheena olevaa yläosan paketointia, koska se on vaikeampi toteuttaa. Elementtikuorma sisälsi viisi elementtiä, jolloin yksittäisen elementin vaiheaika saadaan siten, että

$$x = \frac{t_l - t_a - b + t_{p,a}}{5}, \quad (4)$$

jossa $t_{p,a}$ on kuorman alaosan paketointiin kulunut aika (h:min). Kun kaikkien työvaiheiden keskimääräiset vaiheajat saadaan laskettua, voidaan määrittää tuotantoprosessin odotusaika ja läpäisy aika. Valmistuksen läpäisy aika on aika, johon sisältyy työvaiheiden käsittely aika sekä odotusaika, jonka aikana elementti odottaa seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä tai varastointia varten. Läpäisyajan laskenta käynnistyy sillä ajan hetkellä, kun elementin ensimmäinen työvaihe alkaa eli kun alapohjan ensimmäistä moduulia aletaan valmistaa. Läpäisyajan laskenta päättyy, kun elementti saadaan siirrettyä varastoon osana viiden elementin kuormallista. Tuotantoprosessin odotusaika saadaan määritettyä siten, että

$$t_w = t_{tot} - \sum_{i=1}^n \bar{x}_i, \quad (5)$$

jossa t_w on tuotantoprosessin odotusaika eli -hukka-aika (h:min), t_{tot} (h:min) on elementin valmistuksen keskimääräinen läpäisy aika (ACT) ja $\sum_{i=1}^n \bar{x}_i$ on työvaiheiden keskimääräisten vaiheajojen summa (SCT). Läpäisy aika on laskelmissa siis samansuuruinen suorakaide-elementillä, räystääselementillä ja harjaelementillä. Luvun 5.4.2 taulukot eroavat kuvan 25 esittämistä Excel- laskentataulukoista siten, että niissä ovat nähtävissä ainoastaan elementtitunnus- ja huomioita- sarakkeet. Lisäksi Vaiheaika- sarakkeen arvot esitetään osuutena työvaiheen keskimääräisestä vaiheajasta omana sarakkeenaan siten, että

$$k = \frac{x}{\bar{x}} \cdot 100 \% , \quad (6)$$

jossa k on työvaiheen yksittäisen mitatun vaiheajan x ja kaavan (2) mukaan määritetyn työvaiheen keskimääräisen vaiheajan \bar{x} suhde (%). Mitatuista arvoista saatavat prosenttimuotoiset suhdeluvut ovat taulukoiden k -sarakkeissa.

5.4.2 Mittauksen tulokset

Ensimmäisenä työvaiheena ajallisessa mittauksessa oli kattoelementin alapohjan koamisvaihe. Työvaiheen mittauksen otoskoko oli 20 alapohjamoduulia. Taulukon 3 alapohjamoduulin vaiheajan mittaustuloksista lyhyin on 42 % ja pisin 204 % työvaiheen keskimääräisestä vaiheajasta.

Taulukko 3. Alapohjavaiheen ajallinen mittaus

Elementtitunnus ja moduulin järjestysluku	k (%)
KE86 (1/3)	74
KE85 (1/3)	111
KE85 (2/3)	113
KE86 (3/3)	78
KE92 (1/3)	132
KE93 (1/3)	129
KE113 (1/3)	137
KE113 (2/3)	125
KE113 (3/3)	88
KE124 (1/3)	157
KE124 (2/3)	115
KE132 (1/3)	59
KE132 (2/3)	46
KE132 (3/3)	49
KE131 (1/3)	57
KE131 (2/3)	50
KE131 (3/3)	42
KE114	204
KE114	129
KE143	105

Taulukon 3 Elementtitunnus- sarakkeessa ilmoitetaan ensin elementin tunnus, jonka jälkeen on sarakkeessa merkitty suluissa, monesko alapohjajamoduuli on kyseessä. Alapohjavaiheen jälkeen suoritettiin runkovaiheen ajallinen mittaus, jonka mittaustulokset ovat taulukossa 4. Alapohjavaiheesta poiketen muiden työvaiheiden keskimääräinen vaiheaika on suoraan mitattujen vaiheajojen keskiarvo. Runkovaiheen otoskoko oli viisi elementtiä.

Taulukko 4. Runkovaiheen ajallinen mittaus

Elementtitunnus	k (%)
KE90	65
KE89	66
KE113	170
KE125	90
KE100	109

Runkovaiheen tehollisen työajan mittaustulosten lyhyin 65 % ja pisin aika oli 170 % keskimääräisestä vaiheajasta. Seuraavaksi mitattiin elementin lämmöneristysvaihe, jonka mittaustulokset ovat taulukossa 5. Lämmöneristysvaiheen ajallisen mittauksen otoskoko oli viisi elementtiä.

Taulukko 5. Lämmöneristysvaiheen ajallinen mittaus

Elementtitunnus	k (%)
KE104	99
KE109	85
KE126	111
KE125	117
KE99	88

Taulukon 4 mitatuista vaiheajoista lyhyin oli 88 % ja pisin 117 % työvaiheen keskimääräisestä vaiheajasta, jolloin tuloksissa ei ole suurta hajontaa. Seuraavana työvaiheena ajallisessa mittauksessa on elementin vesikaton tuuletuskoolausvaihe, jonka mittaustulokset ovat taulukossa 6. Vesikaton palkistovaiheen ajallisen mittauksen aikana työpisteen läpi eteni kuusi tavallista kattoelementtiä, kaksi räystääselementtiä ja yksi harjaelementti. Työvaiheen ajallisen mittauksen aikana työpisteellä havaittiin vain yksi harjaele-

mentti. Kyseisen elementin vaiheaika oli 262 % keskimääräisestä vaiheajasta eli huomattavan pitkä. Suorakaide-elementillä lyhyin vaiheaika oli 46 % ja pisin 116 % keskimääräisestä vaiheajasta sekä räystääselementillä vastaavat arvot olivat 77 ja 119 prosenttia.

Taulukko 6. Vesikaton tuuletuskoolausvaiheen ajallinen mittaus

Elementtitunnus	Huomioita	k (%)
KE112		69
KE111		75
KE110		51
KE124	räystäselementti	77
KE128		116
KE126		85
KE127		46
KE133	harja	262
KE103	räystäselementti	119

Vesikatteen aluslevytysvaiheen ajallisen mittauksen mittaustulokset ovat taulukossa 7. Työvaiheen suorakaide-elementtien otoskoko työvaiheessa oli kuusi ja räystääselementtien kaksi elementtiä. Suorakaide-elementin vesikatteen aluslevytysvaiheen lyhyin mitattu vaiheaika oli 23 % ja pisin 53 % keskimääräisestä vaiheajasta.

Taulukko 7. Vesikatteen aluslevytyksen ajallinen mittaus

Elementtitunnus	Huomioita	k (%)
KE112		30
KE111		45
KE124	Räystääselementti	156
KE128		53
KE127		52
KE129		23
KE103	Räystääselementti, palokatkon korjaaminen	391
KE118		49

Räystäselementillä vastaavat arvot olivat 156 prosenttia ja 391 %, joista jälkimmäisen arvon suuruutta voi selittää se, että levytyksen alle tuleva palokatkolevytys jouduttiin tekemään osittain uudestaan. Aluslevytysvaiheen ajallisen mittauksen aikana ei havaittu yhtään harjaelementtiä, minkä takia harjaelementin levytykselle ei voida määrittää keskimääräistä vaiheaikaa. Tämän ei uskottu kuitenkaan vaikuttavan merkittävästi harjaelementin tuotantoprosessin mittaamisen pohjalta tehtävään analyysiin tai tutkimuksen johtopäätöksiin, koska harjaelementtiin asennetaan kyseisessä työvaiheessa samat rakenneosat, kuin suorakaide-elementtiin (taulukko 2). Seuraavaksi mitattiin vesikaton aluskermitys, jonka mitatut vaiheajat ovat taulukossa 8.

Räystäslautojen maalaaminen määritellään olevan osa aluskermitysvaihetta alaluvun 5.3.6 mukaisesti, jolloin räystäselementin aluskermitysvaiheen vaiheaika koostuu itse kermityksen kuluttamasta ajasta ja räystään maalaamiseen kuluva ajasta. Aluskermitysvaiheen suorakaide-elementtien otoskoko oli neljä elementtiä, räystäselementtien otoskoko yksi elementti ja harjaelementtien otoskoko kaksi elementtiä.

Taulukko 8. Vesikaton aluskermityksen ajallinen mittaus

Elementtitunnus	Huomioita	k (%)
KE104		129
KE105		78
KE113	Harjaelementti	145
KE124	Räystäselementti	105
KE129		60
KE117		65
KE114	Harjaelementti savunpoistoläpiviennillä	118
KE123	Räystään maalaus aika	27

On huomattavaa, että vaikka toinen työvaiheen aikana havaituista harjaelementeistä sisälsi savunpoistoläpiviennin, sen mitattu aluskermityksen vaiheaika oli lyhyempi, kuin harjaelementillä, joka ei sisältänyt läpiviennin. Tämä korostaa osaltaan sitä, että elementtien eteneminen tuotannossa voi hidastua monesta eri syystä, eikä vain elementtien rakenteellisen haasteellisuuden vaihtelun takia. Räystäselementin ainoan työvaiheessa mitatun otoksen vastaava aika oli 105 prosenttia, kun vaiheeseen sisällytettiin kermityksen lisäksi räystään maalaus aika. Tämän työvaiheen osalta elementtityyppien keskimääräisten vaiheajojen välillä ei ollut suurta eroa.

Viimeisenä työvaiheena mitattiin elementtien paketointi- ja varastointivaihe, jonka mitaustulokset ovat taulukossa 9. Muista työvaiheista poiketen ajallisen mittauksen otokseksi oli viisi elementtiä sisältävä elementtikuorma. Tämän vuoksi mittauksen yksittäiset vaiheajat määritetään kaavan (2) sijasta kaavalla (4). Alaluvun 5.3.7 mukainen paketointi- ja varastointivaihe alkaa elementtikuorman alimmaisesta elementin muovin asennuksesta ja päättyy valmiin elementtipakkauksen varastointiin tehtaan pihalle. Ajallisessa mittauksessa mitattiin kuitenkin erikseen elementtikuorman ylä- ja alaosan paketoinnin kuluttama aika, jolloin alaosan paketoinnin ajallisen mittauksen otoskoko oli yksi elementti ja kuorman yläosa. Kuorman paketoinnin ja varastoinnin ajallisen mittauksen tulokset ovat taulukossa 9. Kuormien otoskoko työvaiheessa oli kaksi elementtikuormaa ja ajallisen mittauksen toisista taulukoista eroten taulukossa on numeroituna kaksi viiden elementin paketoitua elementtilähetystä.

Taulukko 9. Paketoinnin ja varastoinnin ajallinen mittaus

Elementtikuorman numero	k (%)
31 ¹	97
32 ¹	103
31 ²	52

¹Kuorman yläosan paketoinnin ja varastoinnin ajallinen mittaus jaettuna viidelle elementille

²Kuorman alaosan paketoinnin ajallinen mittaus $t_{p,a}$ jaettuna viidelle elementille

Kaavalla (4) saadaan laskettua yhden elementin osuus koko elementtikuorman paketoinnin vaiheajasta. Täten saadaan kaksi arvoa, joiden laskennassa käytettiin samaa paketoinnin alaosan aikaa $t_{p,a}$. Lopuksi lasketaan näiden kahden arvon keskiarvo ja täten saadaan yhden elementin paketointivaiheen keskimääräinen vaiheaika.

Lopuksi mitattiin ajallisesti koko tuotantoprosessin todellinen läpäisy aika (ACT), jolloin mittaus alkaa ensimmäisen alapohjamoduulin valmistumisesta ja loppuu elementin varastointiin. Valmistuksen läpäisyajan mittauksen tulokset ovat taulukossa 10.

Taulukko 10. Läpäisyajan ACT mittaus

Elementtitunnus	k (%)
KE85	83
KE132	127
KE131	121
KE129	109
KE98	90
KE114	69

Todellisen läpäisyajan ajallisen mittauksen kaikki elementit olivat suorakaide-elementtejä. Mitatuista tuotantoprosessin läpäisyajoista lyhyin oli 69 % ja pisin 127 % keskimääräisestä läpäisyajasta.

5.5 Tuotannon häiriötekijät

Aineiston keräyksen viimeisenä vaiheena suoritettiin tuotannon häiriötekijöiden havainnointi ja seuranta. Useat tuotannossa havaitut laadun häiriötekijät liittyivät elementin alapohjavaiheeseen, joista merkittävimpiä olivat toleranssin ylittävät kipsilevyn (Liitteet A–C, rakenneosa 8) mittavirheet sekä reunalautojen (Liitteet A ja C, rakenneosa 13; Liite B, rakenneosa 13, 18) mittoihin ja asennuksen sijainnin tarkkuuden vaihtelu. Myös kipsilevyjen kiinnityksen ruuvijaossa esiintyi vaihtelua ja joskus jako jäi liian harvaksi. Palokatkokolevytyksiin liittyi myös asennusvirheitä (taulukko 6), jotka jouduttiin korjaamaan ennen elementin vesikatteen aluslevytystä. Kipsilevyihin liittyviä laadun häiriötekijöitä olivat muutaman elementin osalta myös painaumat ja jäljet kipsilevyn alapinnalla, joka tuli jäämään katon näkyväksi sisäpuolen pinnaksi. Ne huomattiin usein vasta paketointi- ja varastointivaiheen noston yhteydessä. Painaumat ja jäljet jouduttiin korjaamaan ennen elementin viemistä eteenpäin linjastolla, mikä tehtiin yleensä aluslevytysvaiheessa tai sen jälkeen. Yleisestä tuotantotavasta poiketen tutkimuksen kohteena olevien elementtien höyrynsulku oli suunniteltu sijoitettavaksi kipsilevyn ja elementin alapohjan runkokoolauksen eli liitteiden A, B ja C rakenneosien 8 ja 7 väliin. Tällöin höyrynsulku sijoitettiin erehdyksessä yhden elementin osalta vanhan tavan mukaisesti alapohjan rungon sekä lämmöneristeen väliin eli liitteiden A, B ja C rakenneosien 7 ja 5 väliin.

Räystääselementtien näkyvänä ulkoerhoilun osana ovat räystääslaudat ruiskumaalattiin henkilönostimelta käsin ennen paketointia kermitysvaiheessa. Tällöin räystääslaudat oli

tuotu ulkovarastosta aluslevytyspisteelle, jonka jälkeen osana työvaihetta ne oli kiinnitetty räystäääseen. Räystäslautojen maalaus voidaan toteuttaa joko tällä tavoin lautojen jo ollessa kiinni aluskermitysvaiheen aikana tai siten, että laudat maalataan ennen kuin ne kiinnitetään räystäsrakenteeseen. Räystäslautojen ruiskumaalaaminen vasta aluskermitysvaiheessa vaatii suurta huolellisuutta, jotta räystäsrakenteen pinnat tulevat maalatuiksi kokonaan. Toisaalta tämän menettelyn etuna on se, että räystäslaudat ovat tehtaan kuivassa sisäilmassa vain lyhyen ajan kermitysvaiheesta varastointiin ja tällöin ne eivät ehdi kieroutua nopean kuivumisen seurauksena. Jos räystäslautojen maalaaminen suoritetaan lautojen ollessa vielä varastopituisina ja erillään, ne täytyy välivarastoida tehtaan sisäpuolelle ennen maalausta. Tässä tapauksessa laudat ehtivät olla tehtaan kuivassa sisäilmassa kauemmin, jonka seurauksena ne alkavat kuivaa ja täten kieroutua merkittävästi. Tämän maalausmenetelmän hyöty on se, että laudat saadaan maalattua kauttaaltaan helpommin ja levytysvaiheen jälkeen täytyy maalata vain lautojen katkaistut päät. Räystäslautoitus voi kuitenkin jäädä saumoistaan epätasaiseksi, jos laudat kieroutuvat ja samalla niiden kiinnittäminen vaikeutuu. Räystäslautoihin ei siis liittynyt varsinaista laadun häiriötekijää, koska lautojen kieroutuminen oltiin jo huomioitu tuotannossa. Toisaalta lautojen ruiskumaalaaminen räystäään alapuolelta on haastavaa ja räystäään maalaustyöhön on siten kiinnitettävä huomiota laadun varmistamiseksi.

Tuotannossa havaittiin useita häiriöitä, jotka vaikuttivat sen nopeuteen. Tutkimuksen aikana ilmeni kaksi laitevikaa, joista ensimmäinen oli pöytäsiirrelin terän vääntyminen terän korkeuden vääränlaisen säätämisen takia. Tehtaan kummallakin tuotantolinjalla oli oma pöytäsiirrelin ja vian seurauksena molempien linjastojen isot levysahaukset jouduttiin tekemään yhdellä pöytäsiirrelinillä, kunnes laite oltiin korjattu. Toinen laitevika oli kermityspuhaltimen vioittuminen kesken asennuksen, johon ei kuitenkaan löydetty yksinkertaista syytä. Viallinen puhallin saatiin korvattua nopeasti toisella ja aiheutunut tuotannon häiriö oli siten varsin pieni. Elementit lepäävät linjastolla teräsrullien päällä, jolloin niitä voidaan liikuttaa käsivoimin. Jossain tapauksissa elementin siirtoon tarvittiin kaksi työntekijää, jolloin avustava työntekijä pysäytti työskentelyn omalla työpisteellään ja auttoi elementin siirrossa. Tällöin avustavan työntekijän työpisteellä tapahtuu aina työn seisahdus, mutta toisaalta seisahdus on lyhyt.

Tuotannon alkupään työvaiheissa jouduttiin kerran hidastamaan nopeutta, kun linjaston loppupäähän saapui samaan aikaan tuotantojärjestyksessä ensimmäisenä etenevän pukillisen harjaelementti ja tämän jälkeen tulevan pukillisen räystääselementti. Tällöin elementit olivat linjaston kahden rinnakkain etenevän rullajonon loppupäässä eikä ensimmäisenä etenevän pukillisen sisältämiä muita elementtejä voitu liikuttaa viimeisten työvaiheiden työpisteiden kohdalle tilan puutteen vuoksi. Tämä aiheutti sen, että kyseisten

kahden pukillisen elementtien viimeisten työvaiheiden läpivienti hidastui huomattavasti. Kerran linjaston alkupään työvaiheet joutuivat hidastamaan tuotantotahtia, koska elementit virtasivat hitaasti läpi jälkimmäisistä työvaiheista luultavasti räystääselementin hitaan etenemisen takia. Tällöin alapohjamoduulin kokoonpanopisteellä jouduttiin välivarastoimaan alapohjamoduulit päällekkäin työpisteen läheisyyteen. Alapohjavaiheen vaiheajat pitenevät ajoittain. Samassa yhteydessä havaittiin, että toisessa työvuoroista alapohjamoduuleita koottiin vain yhdellä kokoonpanopöydällä, kun normaalisti niitä kootaan samanaikaisesti kahdella pöydällä. Tuotannon häiriötekijöiden havainnoinnin aikana huomattiin myös elementtien runkorakenteena käytettävän LVL-palkkitoimitusten normaalia suurempi kerääntyminen runkopisteen läheisyyteen. Toisaalta LVL-palkit varastoidaan työpisteen lähelle myös normaalitilanteessa, mutta työpisteellä toimiminen vaikeutuu materiaalin määrän kasvaessa ja ylimääräisen nostotyön ja oikeiden materiaali-lähetysten etsimisen lisääntyessä.

6. TUOTANTOPROSESSIN VIRTAUTTAMINEN

Tuotantoprosessin virtauttaminen toteutetaan työn luvun 3 esitettyjen periaatteiden ja teorioiden mukaisesti sekä työn luvussa 2 esitellyn DMAIC- prosessirakenteen mukaan. Tällöin teoreettisesti määritellyn DMAIC-prosessin vaiheet ovat samanlaiset, kuin tämän parannushankkeen vaiheet ohjausvaihetta lukuun ottamatta. Tuotantoprosessin parannushankkeen ja samalla tutkimuksessa toteutettavan virtauttamisen tuloksena luodaan parannuskeinot ehdotustasolla, jolloin prosessia ei vielä tutkimuksessa muuteta tavoitetilän mukaiseksi eikä löydettyjä keinoja lähdetä kokeilemaan käytännössä.

Prosessin ensimmäisenä vaiheena on parannushankkeen määrittely, jossa kuvaillaan hankkeen huomion kohteena oleva ongelma, rajataan hanke sekä asetetaan sille tietyt vaatimukset ja tavoite. Määrittelyvaihe käsitellään alaluvussa 6.1. Määrittelyvaihetta seuraa mittausvaihe, jossa tuotetaan dataa tuotantoprosessin tarkastelun tuloksena. Mittaus käsittää tuotantoprosessin nykytilan kuvauksen, ajallisen mittauksen ja häiriöiden havainnoinnin. Myöhemmin tehtävät analyysit tehdään mittauksessa kerätyn datan perusteella. Mittausvaihe ja siinä kerätty data on käsitelty kokonaisuudessaan työn luvussa 5. Hankkeen kolmantena vaiheena on analysointivaihe, jossa mittausvaiheessa kerätty data analysoidaan ja tehdään johtopäätökset tuotannon pullonkauloista ja häiriötekijöistä. Analysointi-vaihe käsitellään alaluvussa 6.2. Viimeisenä vaiheena tuotannon parannushankkeessa on parannusvaihe, jossa valitaan potentiaalisista ratkaisuvaihtoehdoista parhaimmiksi katsotut vaihtoehdot virtauttamisen keinoiksi ja mallinnetaan tuotantoprosessin tavoitetila. Parannus-vaihe on käsitelty alaluvussa 6.3. DMAIC-sykliprosessin viimeisenä vaiheena toteutettaisiin vielä ohjausvaihe, jossa ohjataan ja valvotaan parannettua prosessia, mutta tässä tutkimuksessa vaihetta ei suoriteta, vaan hanke päättyy parannuskeinojen ehdotukseen ja prosessin tavoitetilan kuvaukseen. Tällöin jää yrityksen päätettäväksi, ryhdytäänkö parannuskeinoihin ja vakioidaanko uusi prosessi tuotantoon. Tuotannon virtauttaminen toteutetaan tutkimuksessa siis eri ratkaisukeinojen tunnistamiseen asti ja niiden varsinainen toimeenpano käytännössä jää yrityksen harkintaan.

6.1 Tuotantoprosessin parannushankkeen määrittely

Parannushankkeen kohteena on tuotantoprosessi toisella puuelementtitehtaan tuotantolinjoista. Parannushankkeen kuvaus on tiivistetty kuvan 26 kaaviossa.

Ongelma	Vaatimukset	Tavoite
<ul style="list-style-type: none"> • Tutkimuskysymys 1: Mitkä ovat tuotantoprosessin ongelmakohdat tehokkuuden kannalta? • Tutkimuskysymys 2: Kuinka näiden ongelmakohtien kautta tehokkuutta voitaisiin parantaa? 	<ul style="list-style-type: none"> • Tyydyttäväksi vastaukseksi tutkimuskysymykseen 1 riittää tuotannon pullonkaulojen ja häiriöiden tunnistaminen ja paikantaminen. • Tyydyttäväksi vastaukseksi tutkimuskysymykseen 2 riittää toteuttamiskelpoisten keinojen löytäminen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotantoprosessin ongelmakohtien paikallistaminen ja niiden ratkaisuvaihtoehtojen löytäminen sekä tämän kautta virtauttamisen jatkamisen mahdollistaminen • Tutkimus päättyy DMAIC-prosessin kontekstissa ratkaisuvaihtoehtojen löytämiseen (parannus-vaihe).

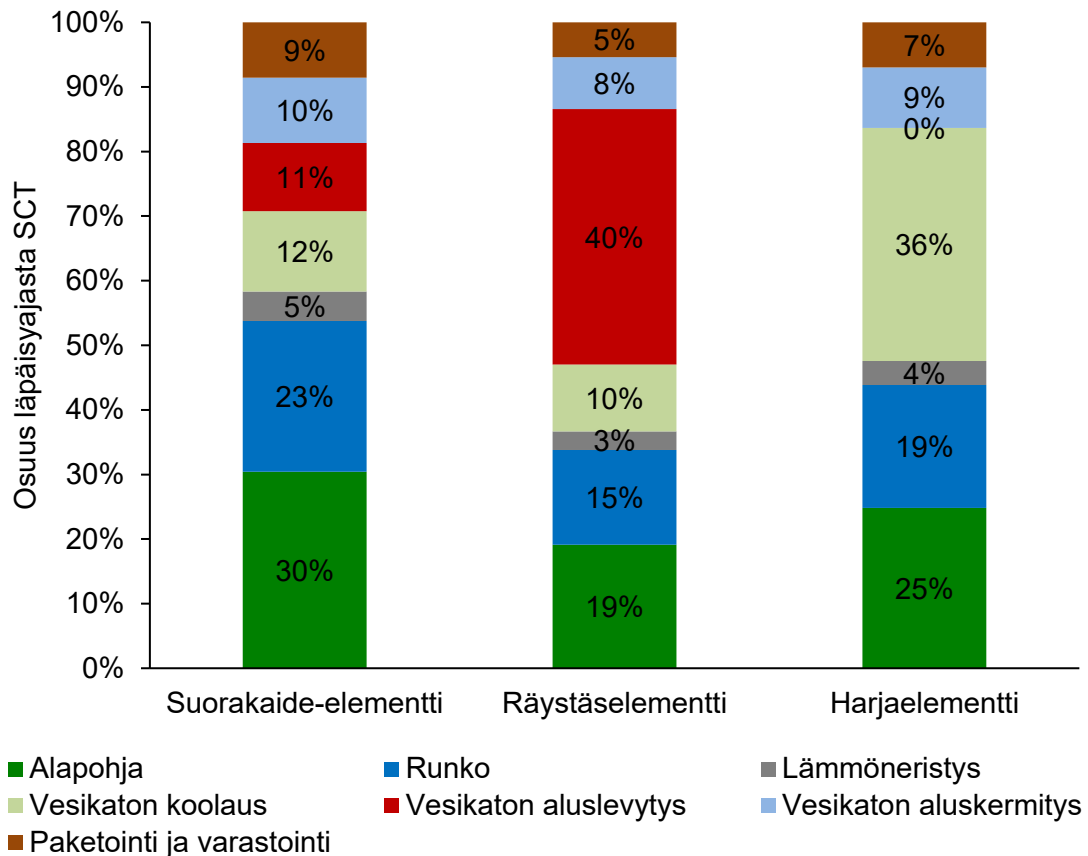
Kuva 26. Tuotantoprosessin parannushankkeen määrittely

Tuotannon virtauttamishanke alkaa ongelman tunnistamisesta, joka muodostuu tutkimuskysymyksistä 1 ja 2. Ensimmäiseksi ratkaistava ongelma on tutkimuskysymys 1, johon saadaan vastaus analyysivaiheen alkuvaiheessa. Tästä edetään tutkimuskysymykseen 2, johon vastaaminen päättää hankkeen parannusvaiheessa. Tutkimuskysymykseen 1 liittyvä vaatimus on, että tyydyttäväksi vastaukseksi riittää tuotannon pullonkaulojen ja häiriöiden löytäminen mittausvaiheen datan perusteella. Tutkimuskysymykseen 2 liittyvä vaatimus on, että löydetyt parannusvaihtoehdot ovat toteuttamiskelpoisia sekä datan perusteella kannattavia toteuttaa. Hankkeen tavoitteena on paikallistaa tuotannon ongelmakohdat sekä kehittää niihin toteuttamiskelpoiset ratkaisuehdotukset. DMAIC-kontekstissa tämä saavutetaan parannusvaiheessa.

6.2 Tuotantoprosessin analysointi

Luvussa 5.4.2 esitettiin tuotannon ajallisen mittauksen tulokset, jotka ovat tuotantoprosessin työvaiheiden vaiheajat sekä tuotantoprosessin odotus- eli hukka-aika elementtityypeittäin sekä todellinen läpäisy aika. Tässä alaluvussa elementtityyppien työvaiheiden

vaihe- ja hukka-aikoja verrataan suhteellisesti tuotantoprosessin todelliseen läpäisyajajaan ACT. Kuvan 27 pylväsdiagrammi havainnollistaa eri elementtityyppien työvaiheiden vaiheaikojen osuuksia suhteessa vaiheaikojen summaan eli läpäisyajajaan SCT.

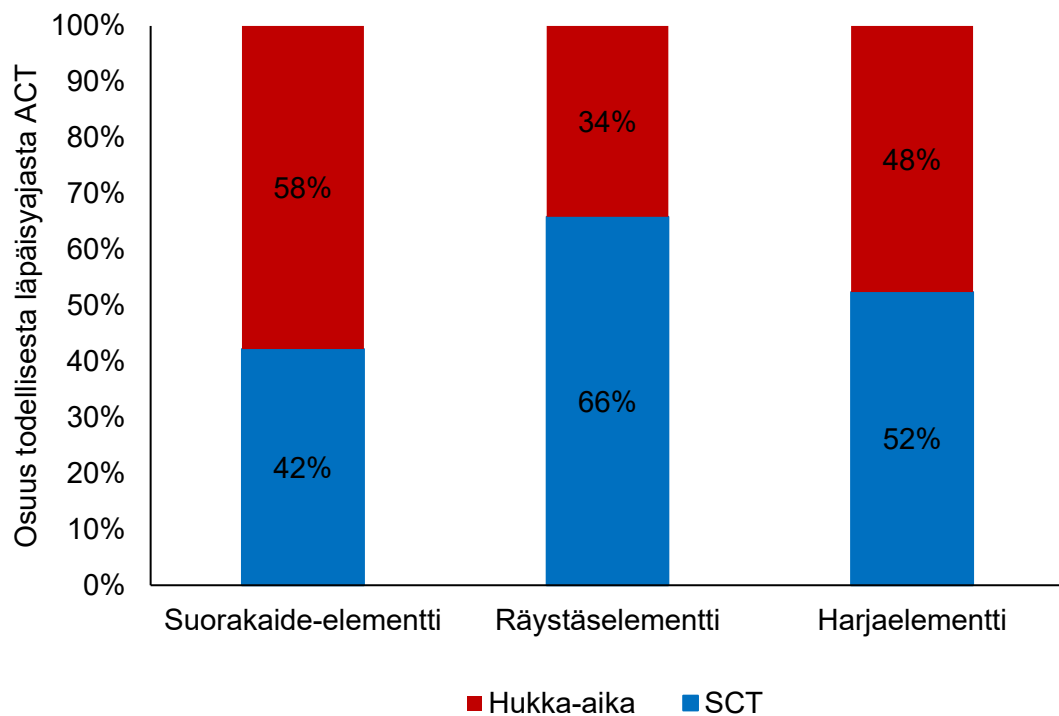


Kuva 27. Työvaiheiden vaiheaikojen osuudet tuotannon normaalista läpäisyajasta SCT elementtityypeittäin

Kuvan 27 avulla voidaan vertailla räystääs- ja harjaelementin tuotantoprosessin aika-arvoja helpommin suorakaide-elementin tuotantoaikoihin, joita voidaan pitää tuotannon aika-arvojen vertailuarvoina. Suorakaide-elementin lyhyin työvaihe ajallisesti on lämmöneristysvaihe, joka on lyhyin työvaihe myös muiden elementtityyppien osalta. Pisin työvaihe on alapohjavaihe, joka on suorakaide-elementin tuotannon kannalta myös kriittisin vaihe laadun kannalta. Räystääselementin levytysvaihe käsittää pisimmän työvaiheen elementin tuotantoprosessista ja se on 29 prosenttia suurempi, kuin suorakaide-elementillä. Ero on huomattava ja on suurelta osin selitettävissä räystäärakenteen eril-

listen rakenneosien suurella asennusmäärällä, mikä käsittää paljon mittaamista ja sahaamista. Vaihe eroaa merkittävästi suorakaide-elementistä, joka käsittää vain aluskermin alle tulevan OSB-levytyksen.

Tuuletuskoolausvaihe on harjaelementin tuotannon pisin työvaihe, mikä voidaan nähdä myös kuvassa 27. Toisaalta kyseiseen yhden otoksen mittaustulokseen tulee suhtautua kriittisesti, koska elementtityypin tuuletuskoolausvaihe ei eroa merkittävästi suorakaide-elementin vesikaton koolausvaiheesta (taulukko 1). Harjaelementin tuuletuskoolausvaihetta ei siis voida pitää varmasti elementtityypin tuotannon pullonkaulana eikä sitä sen vuoksi oteta erilliseen tarkasteluun tuotannon virtauttamisessa. Suoritetun tuotantoprosessin ajallisen mittauksen perusteella sekä tämän pohjalta tehdyn normaalin läpäisyajan SCT rakenteen (kuva 27) perusteella tuotantoprosessin pullonkaulavaiheita ovat räystääselementin aluslevytysvaihe ja alapohjavaihe kaikkien elementtien osalta. Kuva 28 näyttää tuotantoprosessin todellisen läpäisyajan rakenteen elementtityypeittäin.



Kuva 28. Tuotannon normaali läpäisy aika SCT ja hukka-aika elementtityypeittäin näytettynä suhteessa todelliseen läpäisy aikaan ACT

Suorakaide-elementin tuotannon odotusajan osuus koko tuotantoprosessin todellisesta läpimenoajasta on 58 prosenttia, joka on aikaosuutena merkittävä. Räystääselementin hukka-aika suhteessa todelliseen läpimeno aikaan on 34 prosenttia, jonka pienuus johtuu

vesikatteen aluskermitysvaiheen pituudesta. Harjaelementin tuotannon hukka-aika on 43 prosenttia todellisesta läpäisyajasta. VAR-suhdeluvut elementtityyppien osalta ovat täysin samoja, kuin kuvan 27 normaalin läpäisyajan SCT prosenttiosuudet, koska molemmat käsittävät tuotantoprosessin aikana tapahtuvan varsinaisen valmistuskäsittelyn ilman hukka-aikaa. Tällöin suorakaide-elementin arvonlisäyssuhde VAR on 58 prosenttia, räystäselementin 34 prosenttia ja harjaelementin 48 prosenttia. Tuotantoprosessista kerätyn datan perusteella voidaan tunnistaa kaksi tuotannon pullonkaulaa, jotka ovat alapohjavaihe kaikissa kolmessa elementtityypissä sekä räystäselementin vesikaton aluslevytysvaihe. Tämän pohjalta voidaan edetä tuotannon aikahäviöiden juurisyyanalyysiin.

Alaluvussa 5.5 on käsitelty tuotannossa havaittuja häiriötekijöitä, joiden pohjalta tehtiin juurisyyanalyysi. Juurisyyanalyysiä havainnollistaa alaluvun 2.2.3 teoreettisia periaatteita mukaillen laadittu kalanruotokaavio, joka tämän työraportin liitteenä E. Juurisyyanalyysitarkasteluun valittiin yhteensä seitsemän havaittua häiriötekijää, jotka ovat todennäköisiä pääsyitä tuotannon aikahäviöön, jonka poistamalla tuotantoa voidaan tehostaa. Kaaviosta valittiin kaksi sekundaarista juurisyytä, joiden poistaminen on käytännössä mahdollista toteuttaa.

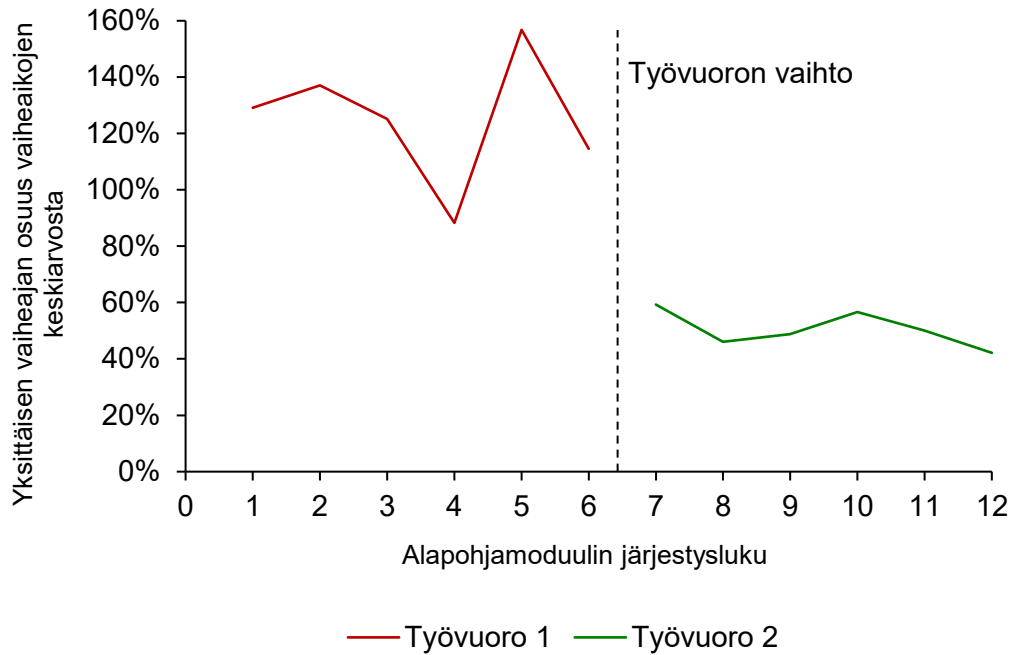
Juurisyyanalyysissa käsiteltävä ongelma on eri syistä aiheutuva tuotannon aikahäviö, jonka poistamisella virtautetaan prosessia. Liitteen E kalanruotokaavion pääsykategorioiksi valittiin *prosessi, henkilöstö, materiaalit ja tarkastukset*. Valtaosa havaituista tuotannon häiriötekijöistä liittyi prosessi- ja henkilöstökategoriaan. Ongelman pääsyistä ensimmäinen liittyy valmiiden elementtien odottamiseen. Kuten kuvasta 21 nähdään, räystäselementti viipyy aluskermitysvaiheessa ja etenkin aluslevytysvaiheessa huomattavasti kauemmin, kuin suorakaide-elementti. Tämä aiheuttaa sen, että suorakaide-elementit eivät etene paketointiin, vaan ne odottavat elementtipukeille lastattuna räystäselementin valmistumista. Vastaavanlaisen ilmiön aiheuttavat myös harjaelementit hitaamman etenemisensä takia, mutta ei kuitenkaan niin merkittävästi, kuin räystäselementti.

Räystäselementin vesikaton aluslevytysvaiheen vaiheajan pituuteen voi vaikuttaa etenkin se, että räystäsrakenne on mahdollisesti liian haastava *toteuttaa kerralla yksittäisessä työvaiheessa ja yhdellä työpisteellä*. Räystäsrakenne sisältää paljon erillisiä osia, kuten esimerkiksi pieneläinverkon ja aluskatteen ja sen toteuttaminen edellyttää tavalista enemmän mittauksia ja määrämittaan sahaamista. Myös suunnitelman lukemiseen ja tarkastamiseen menee aikaa, ennen kuin ollaan varmoja kaikista elementtiin tulevista teknisistä yksityiskohdista ja räystästä aletaan toteuttamaan. Elementit voivat viipyä työpisteillä myös sen vuoksi, ettei niitä voida nostaa elementtipukeille, koska elementtilähe-

tysten sisältä ja järjestys sekoittuisivat. Tällöin elementit ovat syystä tai toisesta päätyneet etenemään linjaston rullaratojen loppupäähän väärässä järjestyksessä. Yksi tällainen syy voi olla elementin pysäyttäminen korjauksen vuoksi ja takaa tulevan elementin ottaminen käsiteltäväksi seuraavassa työvaiheessa.

Henkilöstö-kategoriassa olevista ongelman pääsystä ensimmäinen oli elementin korjaaminen ennen sen viemistä eteenpäin prosessissa, mistä esimerkkeinä ovat alaluvussa 5.5 mainitut virheet höyrynsulun ja palokatkon toteutuksessa. Koska korjattava osa on asennettu aikaisemmalla työpisteellä, korjaamisessa tarvittavat materiaalit ja välineet ovat kaukana, jolloin korjaaminen kuluttaa paljon aikaa. Myös korjausta estävien osien purkaminen kuluttaa aikaa. Elementtiin syntyy asennusvirheitä, jos sen eri osien asennuksessa elementtisuunnitelmaa ei olla luettu tarpeeksi huolellisesti tai sitä ei olla ymmärretty muuten oikein. Elementin alapintoihin syntyi tuotannossa painaumuksia ja jälkiä, jotka eivät olleet riippuvaisia itse asennustyön laadusta. Myös kyseiset painaumat ja jäljet olivat syy etenkin kipsilevyjen ja niiden reunautojen paikkamaalaukseen ja korjaamiseen. Nämä ovat syntyneet mahdollisesti nostojen yhteydessä tai siten, että linjaston rullaradalla on ollut sille kuulumattomia esineitä.

Kuvan 29 kuvaaja näyttää kahdentoista alapohjamoduulin vaiheajat, jolloin kumpikin vuoro kokosi kuusi moduulia. Kuten alaluvussa 5.5 todettiin, alapohjamoduulin kokoamisen vaiheaika piteni ajoittain. Tämän pohjalta tarkastettiin, toistuuko pitkä vaiheaika vain toisen työvuoron kohdalla ja jos näin on, miten toiminta eroaa pitemmän vaiheajan työvuorossa. Tällöin katsottiin tuotannon ajallisen mittauksen laskentataulukkoista, minkä elementtien moduulit kumpikin työvuoro kokosi. Kuvassa 24 alapohjamoduulit 1–6 käsittelevät taulukossa 2 olevien elementtien KE93–KE124 moduulit, jotka kokosi työvuoro 1 ja moduulit 7–12 käsittelevät elementtien KE132–KE131 moduulit, jotka kokosi työvuoro 2. Kuvasta 24 voidaan havaita, että vaiheaika on selvästi eripituinen työvuorojen välillä. Työvuorossa 2 alapohjapisteelle oli saapunut uusi työntekijä, joka työskenteli kokoonpanopöydän ääressä kokeneemman työntekijän kanssa ja opetteli työvaiheessa työskentelyä. Vaikka yhtä moduulia kokosi kaksi työntekijää, kuvasta 24 nähdään, että kokoamiseen kului noin kaksi kertaa enemmän aikaa, kuin työvuorossa, jossa kokoonpanopöydän ääressä työskenteli yksi työntekijä.



Kuva 29. Alapohjavaiheen vaiheaika eri työvaiheissa

Pitempi vaiheaika kyseisessä työvuorossa voi selittyä sillä, että kokoamistyön suorittaminen nopeasti on vaikeampaa tehdä työskenneltäessä kahdestaan. Asiaan vaikuttaa myös uuden työntekijän työtahti, joka on luonnollisesti hitaampi, kuin kokeneella työntekijällä ja tämä lisäksi hidastaa kokenutta työntekijää. Tällöin vaihtoehto työvaiheen tehostamiseksi on harkita kolmannen työntekijän lisäämistä työpisteelle siten, että uusi työntekijä ja saman kokoonpanopöydän ääressä ollut työntekijä jatkavat saman pöydän ääressä työskentelyä ja kolmas työntekijä sijoitetaan aiemmin käyttämättömän pöydän ääreen. Elementtien siirrot rullaratoja pitkin tehtiin käsivoimin myös suurten elementtien osalta, jolloin toisen työntekijän apu siirroissa on usein tarpeellista. Elementin siirto tehdään työntämällä sitä päästä rullaradan suuntaisesti ja tämä vaatii suhteellisen paljon voimaa. Avusta on hyötyä myös siten, että avustava työntekijä työntää elementtiä edempänä, jolloin hän voi nähdä, jos elementti kulkee radalla vinoon tai jos radalla on esteitä.

Liitteen E kalanruotokaaviossa olevat kaksi prosessia ja henkilöstöä huomattavasti pienempää pääsyykategoriaa olivat materiaali ja tarkastukset. Materiaalikategoriassa tunnistettiin yksi tuotannon aikahäviön pääsyy, joka oli LVL-materiaalin kerääntyminen runkopisteen läheisyyteen. Tämä aiheutti ylimääräistä materiaalin siirtelyä ja etsimistä elementin runkoa kokoavalle työntekijälle, mistä edelleen seurasi tuotannon aikahäviötä. Projektikohtaisesti tilattavien materiaalien toimitus tehtaalle ajoitetaan tuotannon aika-

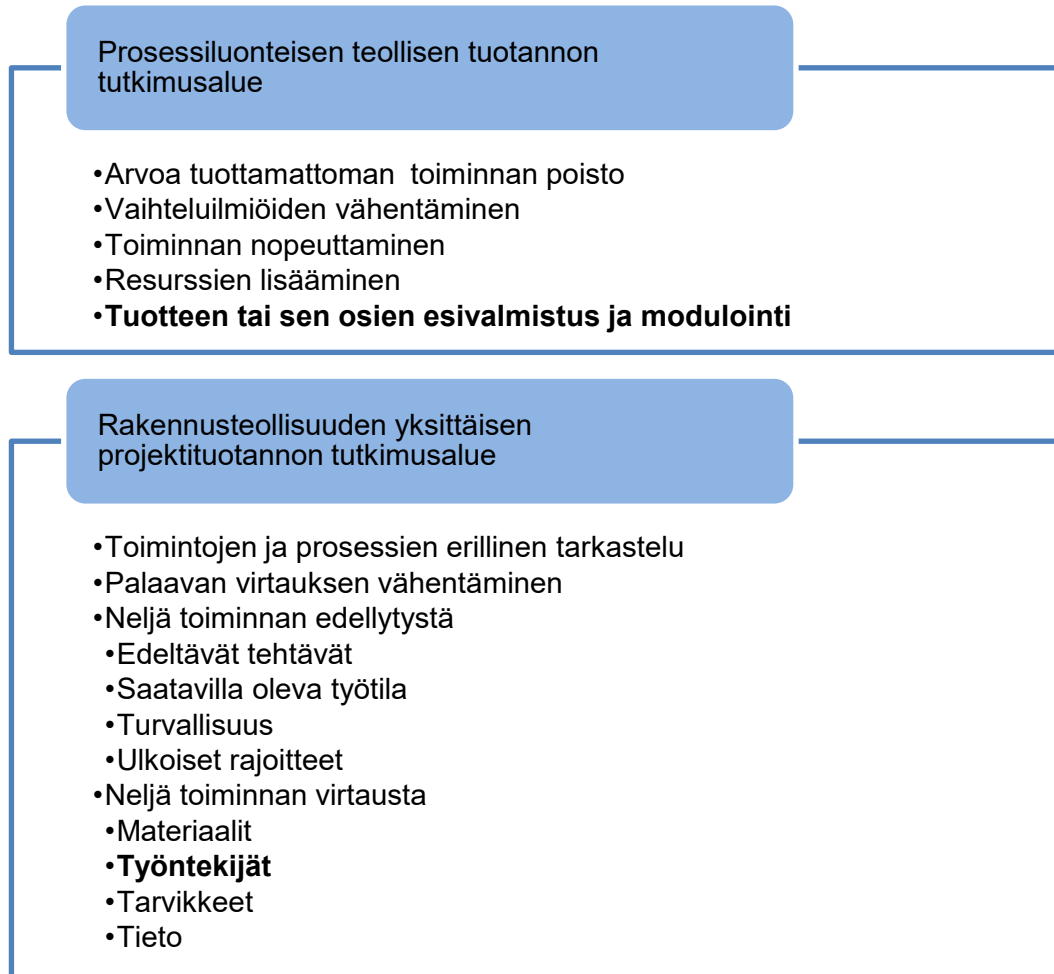
taulun mukaisesti. Jos tuotanto on jäljessä aikataulusta, materiaalit toimitetaan siitä huolimatta aikataulun mukaisesti tehtaalte, jolloin uhkana voi olla tehdashallin sisäisen varastointitilan puute. Tutkimuksen aikana tuotanto oli myöhässä aikataulusta, jolloin elementtien runkopalkkeina käytetyt LVL-puupalkit jouduttiin varastoimaan tiiviisti runkopisteen läheisyyteen.

Juurisyyanalyysissä nousseet merkittävimmät juurisyyt tuotannon häiriöille ja aikahäviöille ovat räystäselementin sisältämän räystäsrakenteen toteutuksen haasteellisuus yhdessä työvaiheessa ja sekä alapohjamoduulin kokoaminen vain yhtä kokoonpanopöytää käyttäen. Juurisyyt on sijoitettu osaksi prosessin nykytilan kuvausta, ja ne ovat korostettuna kaaviossa punaisella värillä. Kaikkiin elementtityyppeihin liittyvä alapohjamoduulin kokoamisongelma on sijoitettu alapohjapisteen vastuualueelle ja räystäsrakenteen toteutuksen haasteellisuusongelma on sijoitettu levytyspisteen vastuualueelle liitteessä D. Vaikka liite D käsittää tuotantoprosessin analyysin kaikkien elementtityyppien kannalta, se on nimetty räystäselementin tuotantoprosessin nykytilan kuvaukseksi, koska samaan kaavioon on sijoitettu sekä kaikkia elementtityyppejä että pelkästään räystäselementtiä koskevat tuotannon ongelmakohdat. Myös liitteessä F oleva prosessin tavoitetilan kuvaus on nimetty samalla tavalla.

6.3 Parannuskeinot tuotantoprosessin virtauttamiseksi

Alaluvussa 6.2 tehdyn prosessianalyysin perusteella keskeisimmiksi tuotannon aikahäviöitä aiheuttaviksi juurisyyiksi on tunnistettu räystäsrakenteen toteutuksen haasteellisuus yhdessä työvaiheessa sekä alapohjamoduulin kokoaminen toisessa työvuoroista vain yhtä kokoonpanopöytää käyttäen. Juurisyyanalyysissä nousseisiin keskeisimpiin juurisyihin lähdettiin etsimään potentiaalisia ratkaisuvaihtoehtoja, jotka liittyivät rakenteiden modulointiin, materiaalihallintaan, henkilöiden työpanosten tasapainottamiseen, henkilöiden siirtelyyn, lisäämiseen tai vähentämiseen sekä tuotannon työjärjestykseen.

Lukujen 2 ja 3 muodostamassa kirjallisuustutkimusosuudessa löydettiin viisi virtauttamisen tekijää, jotka ovat esillä kuvan 30 koosteessa. Tarkasteltaessa alapohjavaiheeseen liittyvää tuotanto-ongelmaa kirjallisuustutkimuksen asiayhteydessä voidaan todeta, että Tidharin mallin sisältämistä toiminnan neljästä virtauksesta työntekijät-virtaus ei toteudu kunnolla. Räystäsrakenteen toteutuksen haasteellisuusongelmaan voidaan harkita ratkaisuksi tuotteen tai sen osien esivalmistusta ja modulointia, joka myös käsiteltiin kirjallisuustutkimuksessa. Potentiaalsiin ratkaisuvaihtoehtoihin liittyvät kirjallisuustutkimuksen tulokset on lihavoitu kuvassa 30.



Kuva 30. Yhteenveto kirjallisuustutkimuksen tuloksista

Kuvan 30 luettelo on yhteenveto luvuissa 2 ja 3 löydetystä tekijöistä, jotka liittyvät tuotannon virtaamiseen ja virtauttamiseen. Näistä tekijöistä tuotteen tai sen osien esivalmistus ja modulointi sekä työntekijä-virtaus nousivat esille pohdittaessa tuotantoon liittyvien ongelmien ratkaisuvaihtoehtojen valintaa.

6.3.1 Henkilöstön sijoittelu alapohjavaiheen työpisteellä

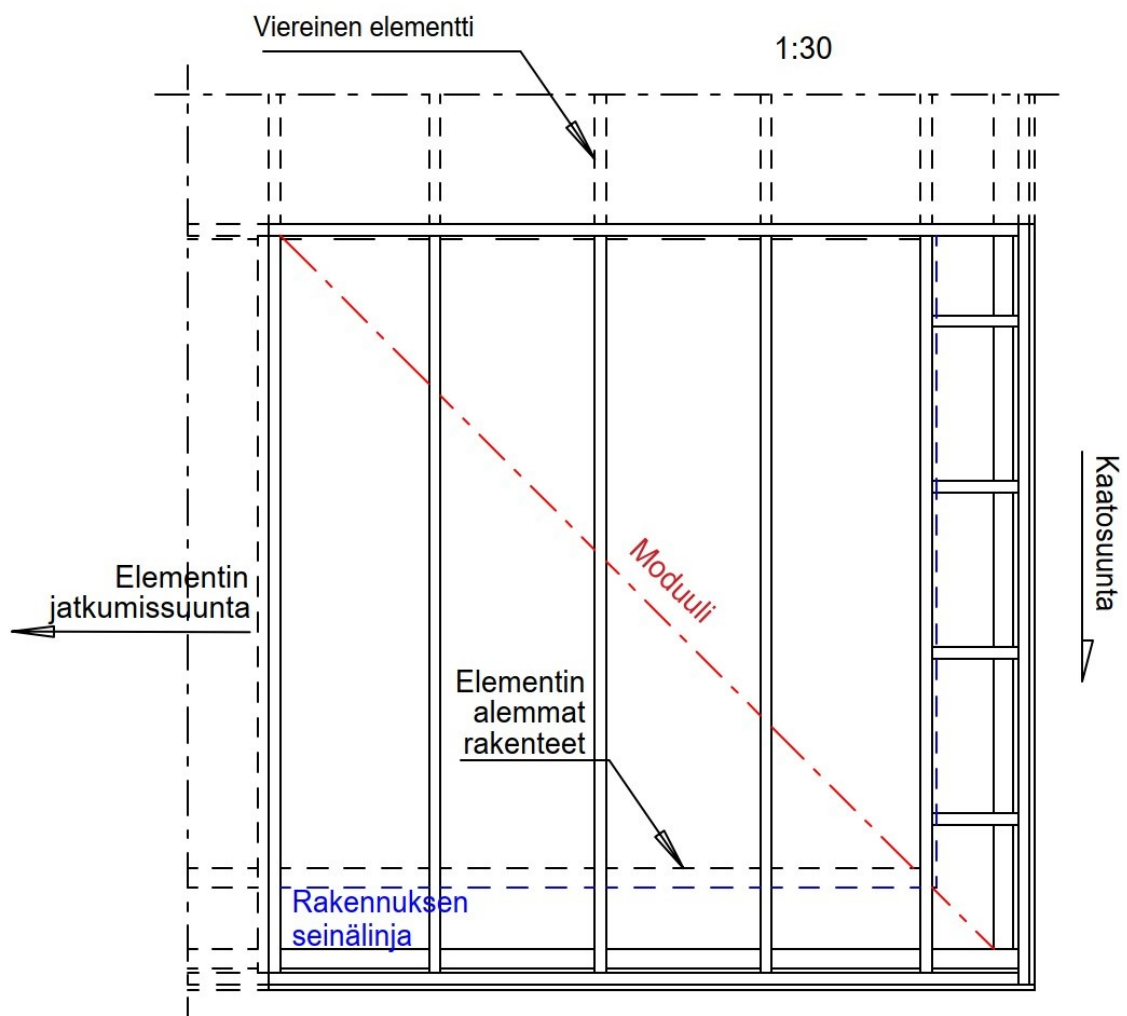
Toisen työvuoron pitempään vaiheeseen alapohjamoduulin kokoamisessa löydettiin ratkaisuksi työntekijän lisääminen käyttämättömäksi jääneelle kokoonpanopöydälle. Ratkaisulla tehostetaan alapohjamoduulien kokoonpanoa, mutta tämä edellyttää, että lisättävällä työntekijällä on kokemusta alapohjamoduulin kokoamisesta. Alapohjavaiheessa on tärkeää, että etenkin kipsilevyihin ja reunalautoihin liittyvä työn laatu ja mittatarkkuus ovat riittävällä tasolla, koska työvaihe on prosessin vaiheista ensimmäinen ja virheet voivat vaikuttaa kaikkiin muihin työvaiheisiin. Parannusvaihtoehtojen kehittämisen edetessä

mallinnetaan niiden mukainen prosessin tavoitetila, jonka kuvaus on toteutettu uimara-takaaviona liitteessä F. Liitteen F kaaviossa näkyvät numeroinnit tarkoittavat liitteen B mukaisesti numeroituja rakenneosia. Parannuskeinoin liittyvät tieto- ja materiaalivirrat sekä muut tehtävät ja muut merkinnät näkyvät kaaviossa vihreällä korostettuna ja ne korvaavat virtauttamisen myötä prosessin nykytilan kuvauksessa punaisella merkityn prosessivirran. Siirryttäessä prosessin nykytilasta sen tavoitetilaan alapohjapisteelle tulee yksi työntekijäosapuoli lisää, jolloin lisätty työntekijä työskentelee pöydällä 1 ja moduulin kokoamista opetteleva työntekijä työskentelee työparinsa kanssa pöydällä 2. Tavoitetilan kuvauksessa on oletettu, että työpisteelle lisättävä työntekijä kykenee työskentelemään samalla tahdilla, kuin toisen työvuoron työntekijät. Tästä syystä tavoitetilan kuvauksessa yksin toimiva työntekijä kokoaa elementin alapohjan moduuleista kaksi ja kahdestaan pöydällä 2 työskentelevät työntekijät kokoavat yhden moduulin. Työntekijän lisääminen alapohjapisteelle tehostaa tuotantoa kaikkien elementtityyppien osalta, jolloin potentiaalinen hyöty on merkittävä.

6.3.2 Vesikattopalkiston ja räystäsrakenteiden modulointi

Kun pohdittiin räystäsrakenteiden toteuttamisen yksinkertaistamista ja jakamista useammalle työvaiheelle, modulointi ja prosessin työjärjestyksen muuttaminen nousivat esille. Tällöin ilmeni, että etenkin rakennuksen kulman kohdalle asennettavan räystäselementin tuuletuskoolaus eli vesikattopalkisto (liite B, osa 3) voidaan valmistaa tavalla, jossa se asennetaan koolauspisteellä esivalmistettuna moduulina. Toisin sanoen kyseiset rakenneosat *moduloitaisiin* omaksi kokonaisuudeksi. Samaan moduuliin voitaisiin mahdollisesti liittää myös räystäsrakenteita valmiiksi asennettuna. Tällaisen esivalmistuskeinon tuoma hyöty kasvaa etenkin, kun valmistetaan sellaisen kohteen elementtejä, jossa räystäät ovat suuret. Moduuli voitaisiin esivalmistaa muulla työpisteellä ja liittää sitten kokonaisuutena moduulina tuuletuskoolausvaiheessa osaksi liitteissä A, B ja C olevaa rakenneosaa 3. Toisaalta räystäsrakenteiden asentaminen osaksi tuuletuskoolausmoduulia saattaa olla haastavaa, koska esimerkiksi sidepuun ja räystäslaudoituksen (liite B, osat 22, 23 ja 24) liitoksen moduulin reunoilla voivat aiheuttaa vaikeuksia. Merkittävänä hyötynä rakenneosan esivalmistamisessa on se, että räystään tukipuiden (liite B, osa 26) asennus helpottuu. Tukipuiden asennus on helpompi esivalmistuksessa, koska niiden kiinnittäminen yksi kerrallaan osana levytysvaihetta kasvattaa levytyspisteen työpanosta ja elementti viipyy levytyspisteellä siten kauemmin.

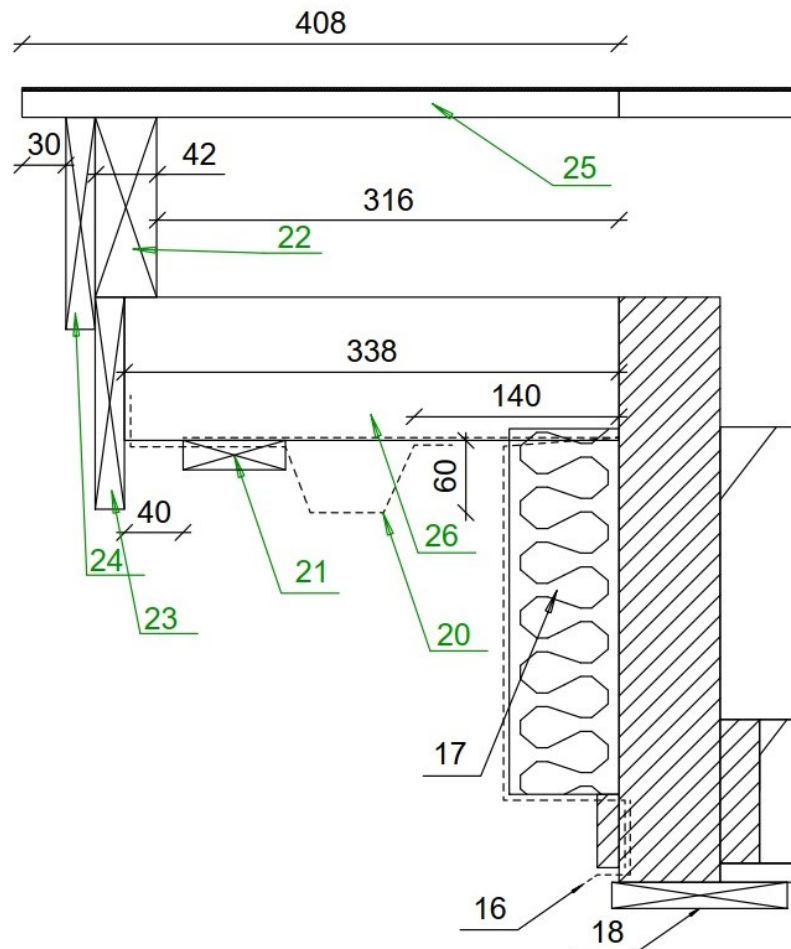
Vesikattopalkiston ja räystäsrakenteiden mahdollinen esivalmistuskeino näkyy liitteen F tavoitetilan kuvauksessa. Prosessin tavoitetilassa rakennuksen kulmakohdan räystääselementin vesikattopalkisto on esivalmistettu moduulina, joka tuodaan varastosta tuuletuskoolauspisteelle, jossa se asennetaan tulevan vesikaton tukirakenteeksi rungon päälle. Tällöin tavoitetilan kuvauksessa ei oteta kantaa siihen, millä tehtaan työpisteellä moduuli esivalmistetaan. Palkistomoduliin voidaan mahdollisesti asentaa myös räystäsrakenteita (liite B, osat 20–26). Havainnekuva rakennuksen kulman kohdalle sijoitettavan räystääselementin tuuletuskoolausmoduulista ylhäältä päin on esitettyinä kuvassa 31.



Kuva 31. Rakennuksen kulman kohdalle sijoitettavan räystääselementin vesikaton vesikattopalkisto ja räystäs esivalmisteisena moduulina toteutettuna

Räystään rakennesisältö vaihtelee kohteiden välillä, jolloin on projektikohtaista, sijoitetaanko räystään alapintaan esimerkiksi pieneläinverkkoa tai aluskatetta. Tutkimukseen

liittyvässä hankkeessa räystäään tukipuun ja pieneläinverkon väliin (liite B, osat asennettiin aluskate, joka näkyy liitteen B leikkauksessa F–F katkoviivana osan 20 eli pieneläinverkon yläpuolella. Kyseinen aluskatekaistale ei ole yhtä mineraalivillakaistaletta ympäröivän aluskatteen (liite B, osa 17) kanssa, vaan villaa ympäröivä kaistale on erillinen kaistale. Tämä mahdollistaa sen, että jos hanke sisältää räystäään alapintaan kiinnitettävän aluskatekaistaleen, voidaan se kiinnittää jo esivalmistusvaiheessa räystäääseen ja täten myös kaikki liitteen B rakenneosat 20–26 voidaan asentaa jo esivalmistuksessa. Tällöin saataisiin mahdollisimman paljon työpanoksia siirrettyä levytysvaiheesta esivalmistusvaiheeseen. Räystäään osien numeroinnit sekä osoittimet on merkitty vihreällä kuvan 32 pienennetyssä räystääsleikkausdetaljissa.



Kuva 32. Palkistomoduliin liitettävät räystääsosat esivalmistusvaiheessa

Tuuletuskoolauksen eli vesikatopalkiston ja siihen liittyvien räystäärakenteiden asennus esivalmistettuna moduulina näkyy liitteen F tuuletuskoolauspisteen vastualueella. Prosessin nykytilassa (liite D) työvaihe aloitetaan elementin tiivisteiden asennuksella, jonka

jälkeen vesikattopalkisto eli tuuletuskoolaus asennetaan rungon päälle. Prosessin tavoitetilassa (liite F) sen sijaan koolausvaiheessa asennetaan ensin tiivisteet ja sen jälkeen vesikattopalkisto esivalmistettuna moduulina, johon on liitetty räystäsrakenteita. Tällöin levytysvaiheessa tehtäväksi toimenpiteeksi jää ainoastaan vesikatteen alle jäävä aluslevytys (liitteet A, B ja C, osa 2). Riippuen parannetun prosessin onnistuvuudesta ohjausvaiheessa voi myös käydä niin, että levytysvaiheeseen jää liian vähän asennustyötä toteutettavaksi. Silloin voidaan harkita, jätetäänkö joitakin osia asennettavaksi vasta levytysvaiheessa eikä esivalmistuksessa. Tässä tapauksessa esimerkiksi räystäskohdan levytys (liite B, osa 25) voidaan jättää helposti osaksi aluslevytysvaihetta.

Esivalmistuksen onnistuminen räystäsrakenteiden kannalta siten, että se tasapainoittasi tuotantolinjaa ja siten virtauttaisi tuotantoprosessia merkittävästi on kuitenkin tässä vaiheessa parannushanketta epävarmaa, koska parannusvaihtoehtoja pitäisi ensin kokeilla. Oikeastaan kummankaan parannuskeinon onnistuvuudesta ei voida olla varmoja ennen kokeilua ohjausvaiheessa. Toisaalta epävarmuus on tässä vaiheessa parannushanketta luonnollista. Parannushanke on onnistunut, sillä tuotantoprosessiin liittyviin kysymyksiin onnistuttiin saamaan vastaukset. Tuotannon ongelmakohdat sekä häiriötekijät onnistuttiin löytämään ja lisäksi näiden poistamiseksi pystyttiin kehittämään tarvittavat ratkaisukeinot.

7. YHTEENVETO

Tässä luvussa kootaan yhteen diplomityön tuottamat tutkimustulokset ja vastataan tutkimuskysymyksiin niiden pohjalta. Lisäksi luvussa arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta ja ehdotetaan tutkimuksen aikana esiin nousutta asiaa mahdollisen jatkotutkimuksen kohteeksi.

7.1 Tutkimuksen tulokset ja tutkimuskysymyksiin vastaaminen

Tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää puuelementtejä valmistavan tehtaan tuotantoprosessin pullonkaulakohtat sekä häiriötekijät. Lisäksi tarkoituksena oli löytää kyseisiin ongelmiin ratkaisukeinot tuotannon virtauttamiseksi. Empiirinen tutkimusosuus aloitettiin mallintamalla ensin tarkka tuotantoprosessi, jota seurasi työn luvun 5 muut vaiheet. Tutkimuksen muut vaiheet toteutettiin teoreettisena viitekehyksenä olevan DMAIC- parannustyökalun käsittämässä järjestyksessä. Seuraavaksi vastataan tutkimuskysymyksiin.

1. Mitkä ovat tuotannon ongelmakohdat tehokkuuden kannalta, ja mitä eri häiriöitä tuotantoprosessissa on?

Tuotantoprosessissa esiintyy kaksi pullonkaulaa, jotka ovat alapohjavaihe ja aluslevytysvaihe. Näistä alapohjavaiheen pullonkaula liittyy jokaisen elementtityypin valmistukseen ja aluslevytysvaiheen pullonkaula räystääselementin valmistukseen. Merkittävimmät tuotannon häiriöt ovat kokoonpanopöytien vajaakäyttö alapohjapisteellä sekä räystääselementin sisältämien räystäsrakenteiden haastavuus toteuttaa vain yhdessä työvaiheessa.

Tuotantoprosessin ajallisen mittauksen perusteella selvisi, että kriittisiä työvaiheita ovat alapohjavaihe sekä räystääselementin vesikaton aluslevytysvaihe, jotka osoittautuivat tuotannon pullonkauloiksi. Alapohjapisteen kokoonpanopöydistä toinen jäi käyttämättä, mikä vähensi työvaiheen tehokkuutta. Pöytä jäi käyttämättömäksi, koska työntekijät kokosivat moduuleja kahdestaan samalla kokoonpanopöydällä, sillä uusi työntekijä tarvitsi työskentelyn opettelua ja teki siksi töitä toisen työntekijän kanssa. Räystäsrakenteiden haastavuus toteuttaa yhden työvaiheen aikana ilmeni siten, että räystääselementit olivat

levytyspisteellä kauan, mikä jarrutti myös muiden elementtien virtaamista eteenpäin prosessissa. Seuraavaksi vastataan tutkimuskysymykseen 2.

2. Mitkä ovat keinot tuotannon häiriöiden poistamiseksi sekä sen tehokkuuden parantamiseksi?

Alapohjavaiheessa todettuun kokoonpanopöytien vajaakäyttöön löydettiin ratkaisuksi työntekijän lisääminen toiselle kokoonpanopöydälle, jolloin moduuleja koottaisiin molemmilla pöydillä ja täten työvaihetta saataisiin tehostettua. Räystäsrakenteiden toteuttamisen haastavuusongelmaan löydettiin ratkaisuksi vesikattopalkisto- ja räystäsrakenteiden esivalmistus ja modulointi toisella työpisteellä sekä niiden asentaminen yhtenäisenä moduulina. Tämä koski kuitenkin vain rakennuksen kulman kohdalle sijoitettavia räystääselementtejä.

Alapohjapisteelle lisättävällä työntekijällä tulisi olla kokemusta kokoamistyöstä sen verran, että hän pystyy työskentelemään toisessa työvuorossa alapohjamoduuleita kokoaivien työntekijöiden tahdissa. Tällöin parannuskeinosta saataisiin paras hyöty. Vesikattopalkiston esivalmistuksessa ja moduloinnissa kyseessä olisivat vain rakennuksen kulmien kohdalle sijoitettavat räystääselementit, jolloin tavallisten räystääselementtien valmistus jatkuisi kuten ennenkin. Esivalmistuksen käyttöönoton myötä tuuletuskoolausvaiheessa asennettaisiin ensin tiivisteet ja sen jälkeen esivalmisteinen moduuli, jonka palkisto ja räystäsrakenteet yhdessä muodostavat. Tällöin levytyspisteellä asennettaisiin ainoastaan vesikaton aluskermitys.

7.2 Tutkimuksen arviointi

Myös tutkimustyössä voi syntyä virheitä, minkä vuoksi tutkimuksen luotettavuutta arvioidaan yleensä tehdyn tutkimustyön yhteydessä. Tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida tarkastelemalla sen reliaaabeliutta, mikä on ensimmäinen tutkimuksen arvioinnin tapa. Reliaabelius tarkoittaa tutkimuksen mittaus- ja tutkimustulosten säännönmukaisuutta. Toisin sanoen, jos tutkimus on reliaaabelinen, tutkimustulokset eivät ole sattumanvaraisia, vaan ne noudattavat toistuvuutta. (Hirsjärvi, Remes et al. 2009, s. 231.) Toinen tapa arvioida tutkimuksen luotettavuutta on arvioida sen validiutta. Validiuden päätyypit ovat ennustevalidius, tutkimusasetelmavalidius ja rakennevalidius. Ennustevalidius tar-

koittaa tutkimuskerran tuloksen toistumistodennäköisyyttä myöhemmillä tutkimuseroilla. Rakennevalidius kuvaa sitä, kuinka vahvasti tutkimus ja siinä käytetyt käsitteet ovat vuorovaikutuksessa tutkittavan ilmiön kanssa. (Hirsjärvi & Hurme 2008, s. 186–187.)

Tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa voidaan havaita monta merkittävää asiaa. Ensinnäkin tutkimuksen sisältämässä tuotantoprosessin ajallisessa mittauksessa räystääs- ja harjaelementtien otoskoot jäivät pieniksi joidenkin työvaiheiden osalta ja harjaelementin levytysvaiheen seurannan hetkellä ei saatu havaittua edes yhtä otosta. Tämä on haitallista tutkimuksen käsittämisen mittaamisen ja sen perusteella tehtävien johtopäätösten kannalta. Toisaalta elementtityypin levytysvaihe ei sisällä muuta kuin aluskermin alle tulevan aluslevytyksen (taulukko 1), joten ainakaan työvaiheen työsisällön ei odotettu aiheuttavan suurta poikkeamaa harjaelementin aluslevytyksen vaiheeseen verrattuna suorakaide-elementtiin. Alapohja- ja aluslevytysvaihe osoittautuivat tutkimuksessa kriittisimmiksi työvaiheiksi tuotannon virtaamisen kannalta. Harjaelementin tuuletuskoolausvaiheessa mitattu yhden otoksen arvon suuruus oli koko läpäisyajan rakenteen kannalta merkittävä, mutta kun otetaan huomioon, ettei työvaiheessa pystytty mittaamaan useampia otoksia vaiheajan suuruusluokan varmistamiseksi, johtopäätökset otoksen perusteella jätettiin tekemättä. Jos otoskoko olisi ollut edes kahden otoksen suuruinen, olisi mittaustulosta voitu pitää reliaabelisempänä ja harjaelementin tuuletuskoolausvaihe olisi otettu tarkempaan tarkasteluun analyysivaiheessa. Hirsjärven et al. (2009) mukaan havainnointi tutkimusmenetelmänä vie paljon aikaa. Kyseinen ominaisuus huomattiin myös tässä tutkimuksessa ja suurempien otoskokojen havainnointi ja kerääminen olisi ollut liian vaikeaa toteutettavaksi. Toisaalta Ahokkaan et al. (2011, s. 24) mukaan havainnointitutkimus on työnmittausmenetelmänä nopea. Tämän tutkimuksen arvioinnin pohjalta voidaan sanoa, että havainnointi voi olla tuotantoympäristön tutkimusmenetelmänä hidas tai nopea riippuen tutkittavan toiminnan luonteesta. Tämän tutkimuksen tapauksessa havainnointi osoittautui olevan hieman hidas, mutta toisaalta yksinkertainen ja luotettava tutkimusmenetelmä toteutettavaksi osana diplomityötä.

Henkilötyössä työpäivä tai työjakso jakautuu tekemisaikaan, apuaikaan, häiriöaikaan ja ylimääräiseen tauko-aikaan. Tekemisaika jakautuu edelleen vaiheeseen ja valmistelu-aikaan. Apuaika jakautuu edelleen päivävakiioon sekä aikaan, jossa yhdistyvät henkilökohtainen apuaika ja muu elpymisaika. (Ahokas, Neuvonen et al. 2011, s. 13.) Vaikka vaihe-ajan muodostaa yhdessä valmisteluajan kanssa varsinaisen tekemisajan, tuotantoprosessin ajallinen mittaus ei eritellyt vaihe-ajan ja valmistelu-aikaa, vaan esimerkiksi elementtien nostot laskettiin osana jonkin työvaiheen vaihe-ajan. Apuajat vähennettiin mitattua ajasta, mikäli se sisälsi niitä.

Häiriöaikaa tai ylimääräistä taukoaikaa ei mitattu erikseen, vaan niiden yhdessä muodostama osuus Karrerin (2012) määrittelemästä todellisesta läpäisyajasta laskettiin vähentämällä tekemisaika eli normaali läpäisy aika todellisesta läpäisyajasta. Näin lasketua aikaosuutta käsiteltiin tutkimuksen Lean-kontekstissa hukka-aikana. Aikalajien erittelemättömyys herättää kysymyksen tutkimuksen validiudesta ajallisen mittauksen tarkkuuden kannalta. Tähän liittyy oleellisesti myös mittauksen datan tarkkuus, jolloin esimerkiksi tarkkuus elementtipukillisten eli -kuormien varastoinnin tarkan ajanhetken määrittämisessä vaihteli, koska tätä ei seurattu paketoitipisteellä jatkuvasti. Datana esitystapana käytettiin prosenttiosuutta jo lasketusta vaiheajojen keskiarvosta, jolloin lukija pysyy havaitsemaan mittaustulosten hajontaa ja niiden välisiä suuruussuhteita. Toisaalta lukija ei näe tutkimuksen mittauservoja niiden oikeassa yksikössä eli tunneissa ja minuuteissa. Todellinen läpäisy aika (ACT) oli arvona sama kaikilla elementtityypeillä, koska sen mittauksen otokset käsittivät vain suorakaide-elementtejä. Todellinen läpäisy aika saatiin kuitenkin määritettyä karkeasti eikä asia vaikuta merkittävästi esimerkiksi SCT-läpäisyajan rakenteeseen.

Tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa huomio kiinnittyy myös tuotantoprosessin kuvaustapaan. Prosessien kehittäminen on aina riippuvainen sen määrittelystä ja kuvauksesta. Martinsuon ja Blomqvistin (2010, s. 11) mukaan organisaation jo käyttämiä kuvaustapoja kannattaa käyttää. Elementissä käytettävät tiivisteosat määrittellen tutkimuksen kohdeorganisaatiossa osana eristysvaihetta, mutta tutkimuksessa niiden asennus määrittellen olevan osa tuuletuskoolausvaihetta. Kuvaustavat eroavat ainakin kyseisten osien asennusvaiheen kannalta, mutta tämän vaikutus tutkimustulokseen on vähäinen. Prosessin kuvauksessa on jouduttu ryhmittelemään rakenneosat ja tehtävät sen mukaan, toistetaanko ne useimmissa, ellei jokaisessa projektissa vai onko niiden toistuvuus täysin projektista riippuvainen. Alaluvussa 5.3 sekä liitteissä A, B ja C on pyritty kuvaamaan tuotantoprosessi mahdollisimman yleisellä tasolla, jolloin prosessin annetaan ymmärtää olevan aina kuvatus mukainen. Tutkimusta tehdessä voi kuitenkin olla epäselvää joidenkin osien ja tehtävien osalta, ovatko ne projektikohtaisia vai voidaanko niiden ajatella kuuluvan osaksi vakioprosessia. Tästä johtuen tutkimuksessa on mahdollisesti jouduttu yleistämään joidenkin osien tai tehtävien kuuluminen tai kuulumattomuus yleiseen prosessiin. Tällaisia kokonaisuuksia ovat esimerkiksi rakenteiden liitokset sekä kiinnitystavat. Liitteiden A, B ja C elementtisuunnitelmien mitat kertovat vain tutkimuksen aikana valmistettujen elementtien mitoista, eikä niiden ole tarkoitus kuvata elementtien mittoja yleisellä tasolla.

Osana tuotantojärjestelmän kehittämisprosessia olevaan tuotannon tilan arviointiin voidaan valita joko järjestelmän sisällä työskentelevä tai sen ulkopuolella toimiva henkilö.

Kumpaankin vaihtoehtoon liittyy tietyt hyöty- ja haittapuolet, jolloin arvioinnin suorittava henkilö valitaan tapauskohtaisesti. Järjestelmän sisäinen henkilö voi olla mahdollisesti esimerkiksi koneenkäyttäjä tai tuotantoinsinööri. Valittaessa arviointiin järjestelmän sisäpuolinen henkilö, valinnan hyötypuolena ilmenee se, että tuotantojärjestelmä ja sen organisaatioympäristö on ennestään tuttu arvioijalle. Lisäksi arvioijan on helppo tutkia toimintaa perusteellisesti. Toisaalta valinnan haittapuoli on se, että sisäisen arvioijan on vaikeaa erottaa alkuperäinen ammattirooli ja sekä arvioijan rooli toisistaan. Haittapuolina voivat olla myös se, että järjestelmässä olevat epäonnistumiset laiminlyödään ja onnistumisia korostetaan liikaa sekä arviointikokemusten puute. Kun arviointiin valitaan järjestelmän ulkopuolinen henkilö, on henkilö yleensä esimerkiksi konsultti tai materiaalitoimitaja. Valinnan hyötypuolena on se, että arviointi tehdään tällöin objektiivisesti ja asiantuntevasti ja järjestelmää verrataan muihin järjestelmiin. Haittapuolena ulkoisen arvioijan valinnassa on arvioinnin kohteena olevaan järjestelmään liittyvän asiantuntemuksen sekä osallisuuden puute. Valinnan haittapuolena on myös tulosten käytäntöön soveltamisen vaikeus. (Karlsson 1999; Bellgran & Säfsten 2010, s. 128.) Mainitut hyöty- ja haittapuolet tulivat lievästi ilmi myös tässä tutkimuksessa, jolloin arviointi suoritettiin tieteellisiä käytäntöjä noudattaen, mutta toisaalta etenkin tuotantoprosessikokonaisuuden sisäistäminen tutkimuksen alussa vaati arvioijalta vaivannäköä.

Vesikattopelkiston räystäärakenteiden esivalmistaminen rajoittuu vain rakennuksen kulman kohdan räystääselementteihin, jolloin saattaa herätä kysymys, onko kehitetystä tuotannon parannusvaihtoehdosta hyötyä. Parannuskeinosta on apua, koska etenkin rakennuksen kulmien kohdalla olevat räystäät ovat vaikeat toteuttaa linjastolla. Hyöty kasvaa edelleen, kun räystäiden koko kasvaa. Toisaalta parannuskeinon todellinen hyöty voidaan todeta vasta, kun parannettu tuotantoprosessi on kokeiltu käytännössä.

7.3 Ehdotukset jatkotutkimusten kohteiksi

Tuotannon seurannan aikana ilmeni, että joitakin välttämättömiä tietoja jouduttiin vielä lisäämään elementtisuunnitelmiin, vaikka yleinen käytäntö on, että suunnitelmat jäädytetään kaksi viikkoa ennen tuotantoa. Jos suunnittelun lähtötietoja ei saada ajoissa, elementtien suunnittelu ja valmistus asiakastarpeen mukaiseksi on myöhemmässä vaiheessa vaikeampaa. Varsinkin tuotannossa ilmenee ongelmia elementtien ominaisuuksien muuttuessa kesken toimituksen.

Tutkimuskontekstina tässä diplomityössä oli prosessin virtauttaminen lean-tuotantofilosofian mukaisilla menetelmillä, jolloin tutkimusta suunniteltaessa pohdittiin myös elementtitoimitusprosessissa tuotantoa edeltävien vaiheiden virtauttamista. Tässä kohtaa huomion kohteeksi valikoitui tuotantoa edeltävä elementtisuunnittelu, sillä se oli tuotannon

kannalta merkittävin vaihe ennen elementtien valmistuksen aloittamista. Elementtisuunnitteluprosessin potentiaaliset tutkimusongelmat tutkimuksen suunnitteluhetkellä olivat suunnittelun lähtötietojen parempi saanti sekä prosessin tiedonkulun yleinen parantaminen. Tällöin päädyttiin valintatilanteeseen sen kannalta, otetaanko tutkimukseen tuotantoprosessin lisäksi myös sitä edeltävä elementtisuunnitteluprosessi.

Suunnitteluprosessin tarkastelua ei kuitenkaan sisällytetty osaksi tutkimusta, koska tällöin tutkimus olisi ollut liian laaja diplomityöksi. Elementtisuunnittelun virtauttaminen osoittautui kuitenkin aiheelliseksi jatkotutkimusehdotukseksi tämän tutkimuksen pohjalta. Ehdotettua jatkotutkimusta täsmentävät tutkimuskysymykset voisivat olla mahdollisesti seuraavien kysymysten kaltaisia: Mikä on suunnittelutietojen viivästymisen kokonaisvaltainen vaikutus elementtien tuotantoon? Millaisissa hankkeissa suunnittelutietojen kulku osapuolten välillä on katkonaista? Millaiset suunnittelun lähtötiedot jäävät useimmin suunnittelijoilta saamatta? Tällainen tutkimus yhdessä tuotannon virtauttamistarkastelun kanssa voisivat olla tehokas yhdistelmä teollisen puurakentamisen parantamiseen tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Ahokas, P., Neuvonen, J., Suikki, M. & Tiihonen, J. (2011). Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Teknologiateollisuus r.y. Helsinki. Saatavilla: https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/tyomarkkinat_kannustava_palkkaus_palkkaustapoja_tyontutkimuksen_menettelytavat.pdf 7–25 s.

Alarcon, L.F. (1997). Tools for the identification and reduction of the waste in construction projects. Alarcon, L. (ed.) Lean Construction. Balkema. Rotterdam. 365–377 s.

Andersen, B. & Fagerhaug, T. (2006). Root cause analysis: simplified tools and techniques, ASQ Quality Press. Milwaukee.

Bellgran, M. & Säfsten, K. (2010). Production development design and operation of production systems. Springer. Lontoo. 128 s.

Bradley, J.R. (2016). Improving Business Performance with Lean, 2. painos. Business Expert Press. New York. 29-37 s.

Brenig-Jones, M. & Dowdall, J. (2018). Lean Six Sigma for leaders. John Wiley & Sons. Incorporated. Newark. 13-75 s.

Brue, G. (2015). Six Sigma for Managers, 2. painos. Briefcase Books Series. McGraw-Hill.

Brussee, W. (2012). Statistics for Six Sigma made easy! McGraw-Hill. New York.

Charron, R., Harrington, H.J., Voehl, F. & Wiggin, H. (2014). The Lean Management Systems Handbook. Productivity Press. 49–236 s.

Damelio, R. (2011). Basics of Process Mapping, 2. painos. CRC Press LLC. Portland. 73–88 s.

Emuze, F.A. & Saurin, T.A. (2016). Value and waste in lean construction. CRC Press. Taylor & Francis Grou. Boca Raton.

Gitlow, H.S., Melnyck, R.J. & Levine, D.M. (2015). A guide to six sigma and process improvement for practitioners and students : foundations, DMAIC, tools, cases, and certification. Pearson Education. Old Tappan. New Jersey.

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. (2009). Teollisuustalous, 6. painos. Infacs johtamistekniikka. Tampere. 401 s.

Hendijani, R. (2021). Analytical thinking, Little's Law understanding, and stock-flow performance: two empirical studies. System dynamics review. 125 s.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2008). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press. Helsinki. 186–187 s.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). Tutki ja kirjoita, 15. painos. Tammi. Helsinki. 183–231 s.

Jones, E. (2014). Quality Management for Organizations Using Lean Six Sigma Techniques. CRC Press. Lontoo. 79–80 s.

Karlsson, O. (1999). Utvärdering – Mer än metod. Svenska Kommunförbundets serie, Nr. 3. Tukholma. Saatavilla: <https://www.soch.lu.se/sites/soch.lu.se/files/o-karlsson-utvardering.pdf>

Karrer, C. (2012). Engineering Production Control Strategies A Guide to Tailor Strategies that Unite the Merits of Push and Pull. 1. painos. Springer Berlin Heidelberg. Heidelberg. 48–50 s.

Keskiniva, K., Junnonen, J-M., & Saari, A. (2018). Virtauttamisen toteutuksen periaatteet ja soveltamismahdollisuudet rakennushankkeissa: Rain-tutkimushankkeen osaraportti 1. (Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio. Rakennustuotanto ja -talous. Raportti; Vuosikerta 23). Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio. 51 s.

Kouri, I. (2010). Lean-taskukirja. Teknologiainfo Teknova. Helsinki. 28–29 s.

Koskela, L. (1992). Application of The New Production Philosophy to Construction. Technical Report No. 72. Center for Integrated Facility Engineering (CIFE). Stanfordin yliopisto.

Koskela, L. (2004). Making do: The eight category of waste. Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Kööpenhamina. 2004.

Koskela, L., Bolviken, T. & Rooke, J. (2013). Which are the wastes of construction? Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S. (1997). Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. WSOY Konepajan tuotantotekniikka. Porvoo. s. 53–298

Martinsuo, M, Blomqvist, M., (2010). Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä. Tampereen teknillinen yliopisto. 19 s.

Modig, N., Åhlström, P. (2019). Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin, 8. painos. Rheologica Publishing. 167 s.

Murdock, H. (2018). Auditor Essentials: 100 Concepts, Tips, Tools, and Techniques for Success. Auerbach Publications. Boca Raton.

Ohno, T. (1988). Toyota production system: beyond large-scale production. Productivity Press. Cambridge.

Puusniekka, A., Saaranen-Kauppinen, A. (2012). Tapaustutkimuksen määritelmä. KvaliMOTV. Kvalitatiivisten menetelmien verkko-oppikirja. Saatavilla: https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L5_5.html

Sacks, R., Korb, S., Barak, R. (2018). Building lean, building BIM: improving construction the Tidhar way. Routledge. Taylor & Francis Group. Lontoo. 220–224 s.

Sower, V.E. (2011). Essentials of quality: with cases and experiential exercises. Wiley. Chichester. 119–195 s.

Stevenson, W.J. (2018). Operations management, 13. painos. McGraw Hill. New York. 890 s.

Sutherland, J. & Bennet, B. (2007). The seven deadly wastes of logistics: Applying Toyota production system principles to create logistics value. Center for Value Chain Research (CVCR) White Paper #0701, Lehigh'n yliopisto.

Tekes. (1992). Asiakaslähtöinen teollinen rakentaminen. Teknologian kehittämiskeskus. Helsinki. 35 s.

Zhan, W. & Ding, X. (2016). Lean Six Sigma and statistical tools for engineers and engineering managers. Momentum Press. New York. 51–76 s.

Österholm, J., Tuokko, R. (2001). Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin: Modular function deployment. Metalliteollisuuden keskusliitto. Helsinki. 9–10 s.

LIITE A: SUORAKAIDE-ELEMENTIN ELEMENTTIPIIRUSTUKSET

Tasokuvan kuvaussuunta yläpuolelta
Puutavara: LVL-S / LVL-T / C24
Levy: OSB 3 / Havuvaneri

(A 1/4)

Kuorman aikaluokka keskipitkä, käyttöluokka 2
Levyjen kiinnitys kampakonenaula kuumasinkitty 2,5x65 k150
Levyt sijoitetaan siten, etteivät saumat muodosta ristikuviota
Vasojen C24 42x123 kiinnitys; NL170-2V/O 3+3N4,0x40 nostopisteiden kohdilta
Muut vasat vinonaulaus 3N 3,1x90 KS kampanaula
Päätylevyjen kiinnitys N2,5x65 k50
Elementtien nostaminen elementin valmistajan suunnitelmien mukaan
Elementtien kiinnitys: Elementtiruuvi R6.3x168 heftissä (Esiporaus 8mm)

LapWall LEKO -kattoelementtien valmistustoleranssit	
Valmistusluokka 2: standardi 5978:2014	
Pituus	< 6 m + 0,15 % > 6 m + 10 mm
Leveys	< 3 m + 0,15 % > 3 m + 10 mm
Paksuus	+ 5 mm
Nurkkapisteiden välisten ristimittojen ero	< 6 m + 0,15 %
Suoruus (koko elementin pituus), pituus, leveys	+ 5 mm
Aukkojen sijainti	+ 10 mm

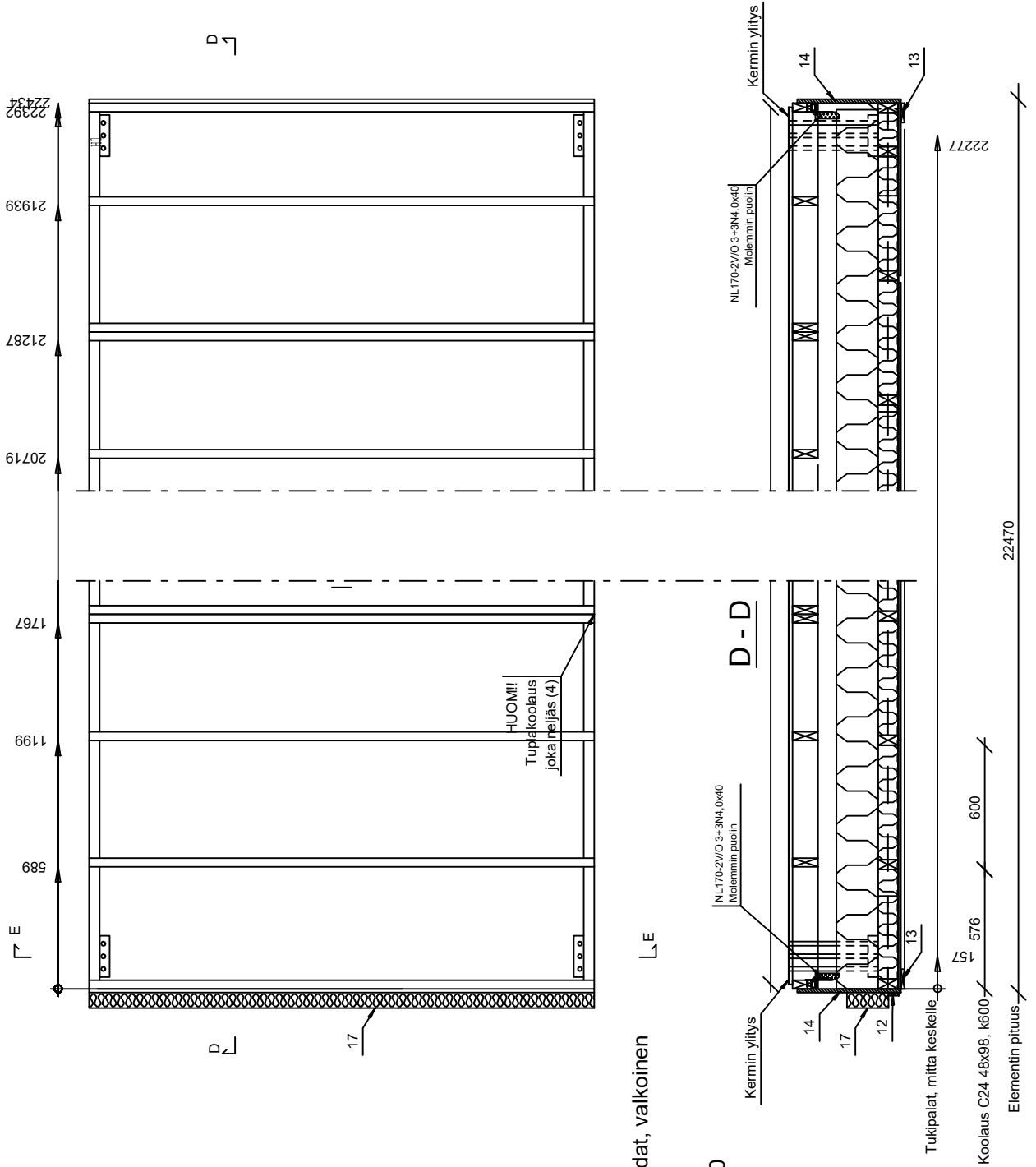
Kermin kiinnitysohje (IWF - T - B40 - 5,2x35):

- Katon nurkka-alueet k305
- Katon reuna-alueet k305
- Katon keskialueet k610

ELEMENTIN PAINO: 2920 kg
ELEMENTIN PINTA-ALA: 55.5 m²

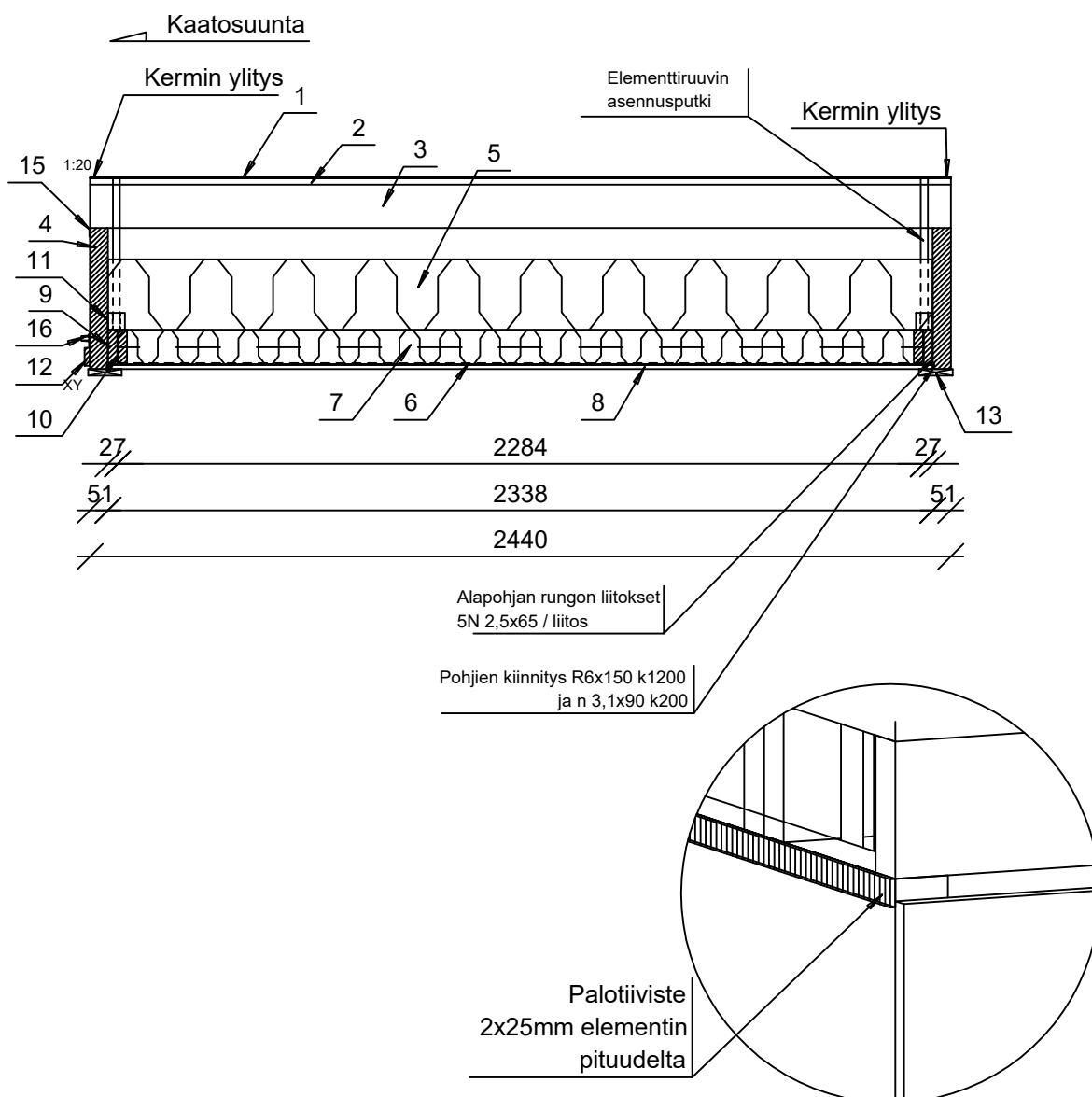
K.osa/Kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisten arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide			Piirustuslaji	Juoks.no	
Rakennuskohteen nimi ja osoite			RAKENNEPIIRUSTUS		
			Piirustuksen sisältö	Mittakaavat	
			Suorakaide-elementin tasopiirustus ja leikkauspiirustus D - D (A 2/4)	1:30	
			Leikkauspiirustus E - E (A 3/4)	1:20	
			Liitos- ja kiinnikedetalji (A 4/4)	1:20	
			Projekti		
			Tekijä:	Piir.nro:	
Suunnittelija	Yritys	Pvm.	Puh.	RAK	

1:30



- 12. Vaneririma 15x50
- 13. ST 18x95 saumalaudat, valkoinen
- 14. Päätylevy 18x500
- 17. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x200

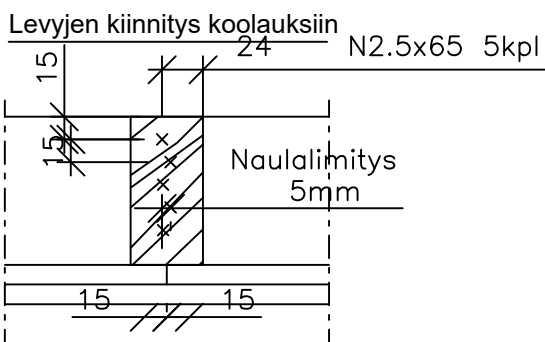
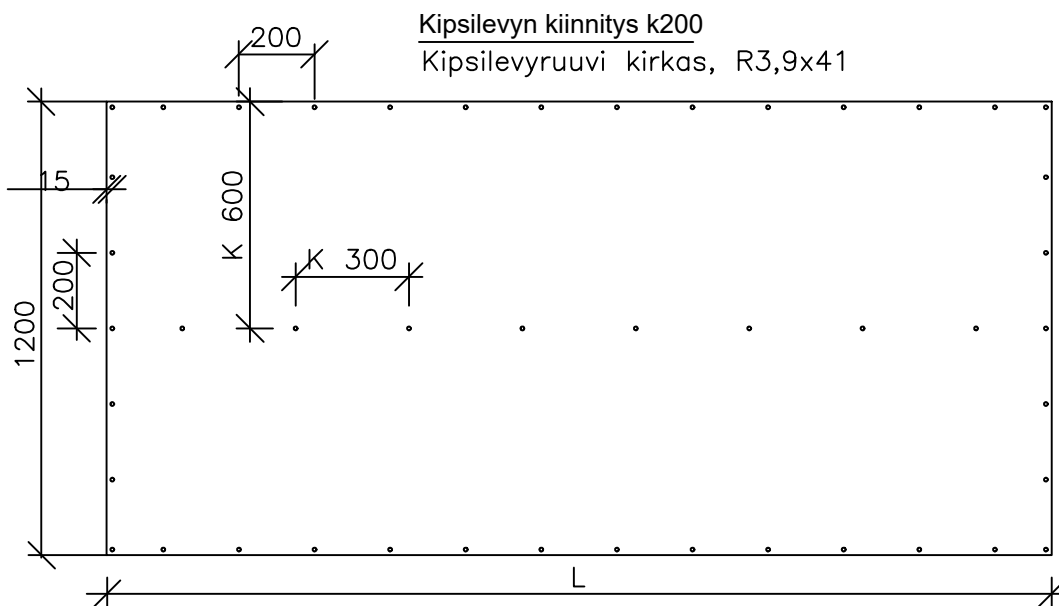
Koulaus C24 48x98, k600
Elementin pituus



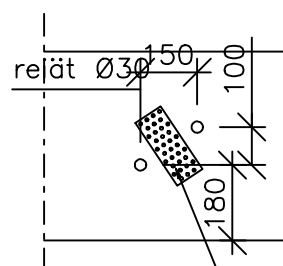
1. Bituminen aluskermi K-MS 170/3000 TL2
2. OSB-levy 18 mm
3. Koolaus C24 42x123 k/k 610 / tuuletusväli
4. LVL-S reunapalkit 51x400
5. Mineraalivilla 0,04 W/mK 200mm, T2
A2-s1,d0, yläpinnan luokitus B-s1,d0
6. Höyrynsulkumuovi
7. Koolaus C24 48x98 k/k 600, mineraalivilla 0,037 W/mK 100mm, T2
A2-s1,d0, yläpinnan luokitus B-s1,d0
8. Kipsilevy 13 mm (tyyppi A), valkoinen
9. LVL-T reunarima 27x98
10. LVL-T tukipuu 27x98
11. Tukipala ST 48x48
12. Vaneririma 15x50
13. ST 18x95 saumalaudat, valkoinen
14. Päätylevy 18x500
15. Palotiiviste 2x25mm elementin pituudelta
16. EPDM 25x40
17. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x200

Liitokset ja kiinnikkeet 1:20

(A 4/4)

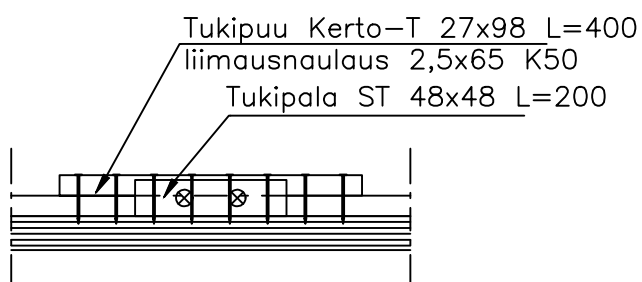


Nostolenkin kiinnitys

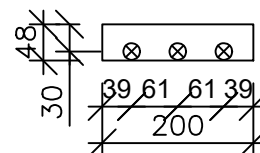
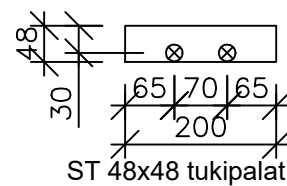


Reiden sisäpuolella:
naulalevy 80x200x2
(1+1) N 4x40 kampan.

Tukipalat keskellä



ST 48x48 tukipalat



LIITE B: RÄYSTÄSELEMENTIN ELEMENTTIPIIRUSTUKSET

Tasokuvan kuvaussuunta yläpuolelta (B 1/5)
 Puutavara: LVL-S / LVL-T / C24
 Levy: OSB 3 / Havuvaneri
 Kuorman aikaluokka keskipitkä, käyttöluokka 2
 Levyjen kiinnitys kampakonenaula kuumasinkitty 2,5x65 k150
 Levyt sijoitetaan siten, etteivät saumat muodosta ristikuviota
 Vasojen C24 42x123 kiinnitys; NL170-2V/O 3+3N4,0x40 nostopisteiden kohdilta
 Muut vasat vinonaulaus 3N 3,1x90 KS kampanaula
 Päätylevyjen kiinnitys N2,5x65 k50
 Elementtien nostaminen elementin valmistajan suunnitelmien mukaan
 Elementtien kiinnitys: Elementtiruuvi R6.3x168 heftissä (Esiporaus 8mm läpi tuotannossa)

LapWall LEKO -kattoelementtien valmistustoleranssit	
Valmistusluokka 2: standardi 5978:2014	
Pituus	< 6 m + 0,15 % > 6 m + 10 mm
Leveys	< 3 m + 0,15 % > 3 m + 10 mm
Paksuus	+ 5 mm
Nurkkapisteen välisten ristimittojen ero	< 6 m + 0,15 %
Suoruus (koko elementin pituus), pituus, leveys	+ 5 mm
Aukkojen sijainti	+ 10 mm

Kermin kiinnitysohje (IWF - T - B40 - 5,2x35):

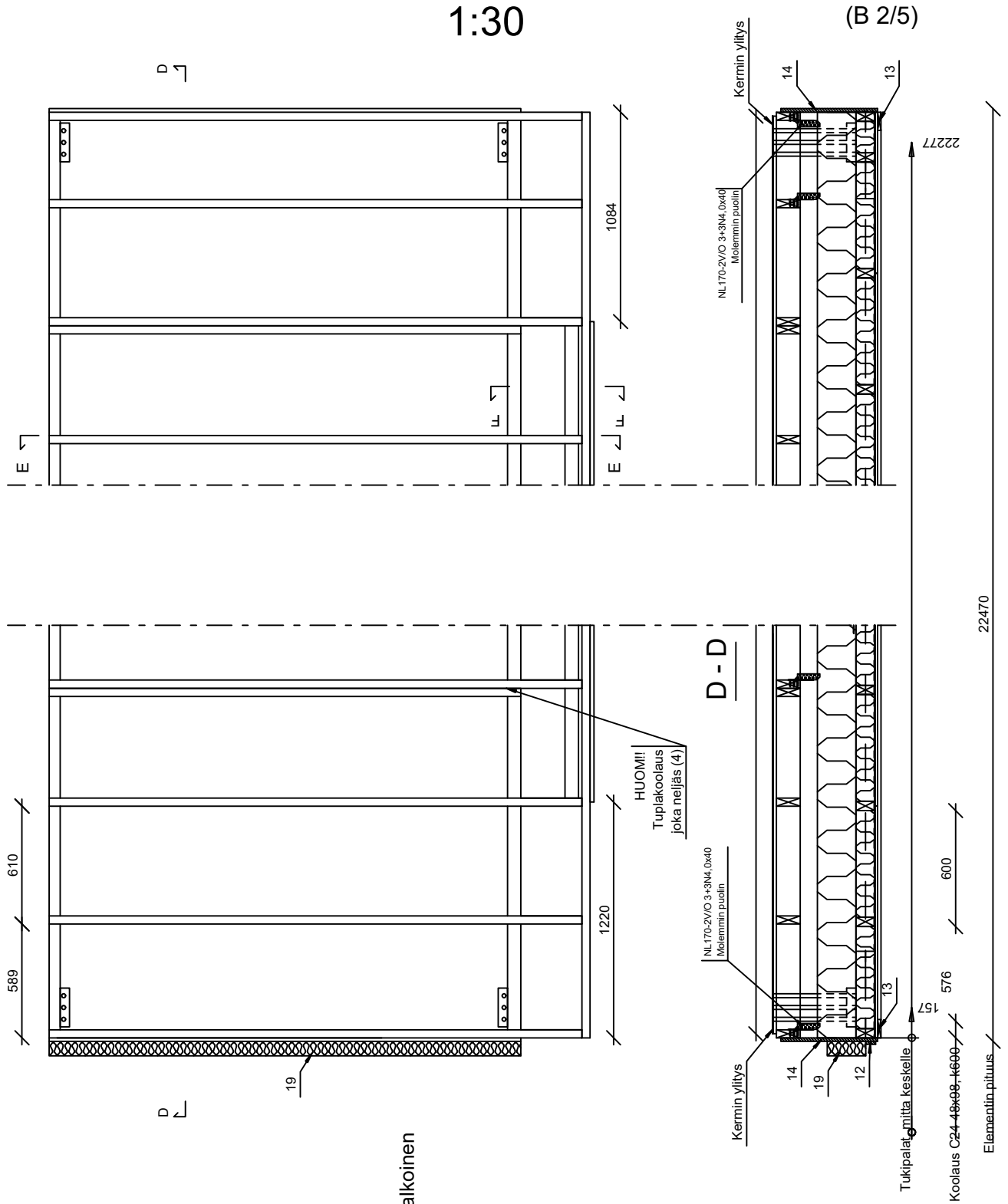
- Katon nurkka-alueet k305
- Katon reuna-alueet k305
- Katon keskialueet k610

ELEMENTIN PAINO: 3400 kg

ELEMENTIN PINTA-ALA: 64.1 m²

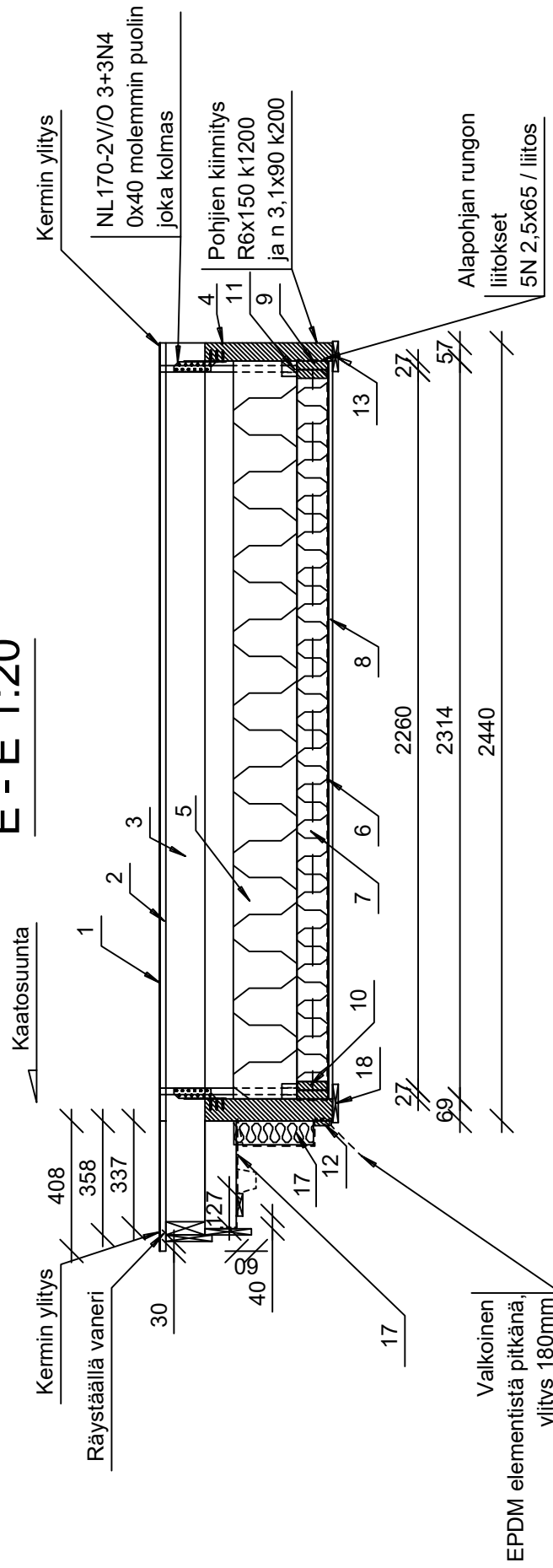
K.osa/Kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisten arkistointimerkintöjä varten	
Rakennustoimenpide			Piirustuslaji	Juoks.no
Rakennuskohteen nimi ja osoite			RAKENNEPIIRUSTUS	
			Piirustuksen sisältö	Mittakaavat
			Räystääselementin tasopiirustus ja leikkauspiirustus D - D (B 2/5)	1:30
			Leikkauspiirustus E - E (B 3/5)	1:20
			Leikkauspiirustus F - F (B 4/5)	1:4
			Liitos- ja kiinnikedetalji (B 5/5)	1:20
			Projekti	
			Tekijä:	Piir.nro:
Suunnittelija	Yritys	Pvm.	Puh.	RAK

- 12. Vaneririma 15x50
- 13. ST 18x95 saumalaudat, valkoinen
- 14. Päätylevy 18x500
- 19. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x200



Koolaus C24.48x98-16600
 Elementin pituus 22470

E - E 1:20

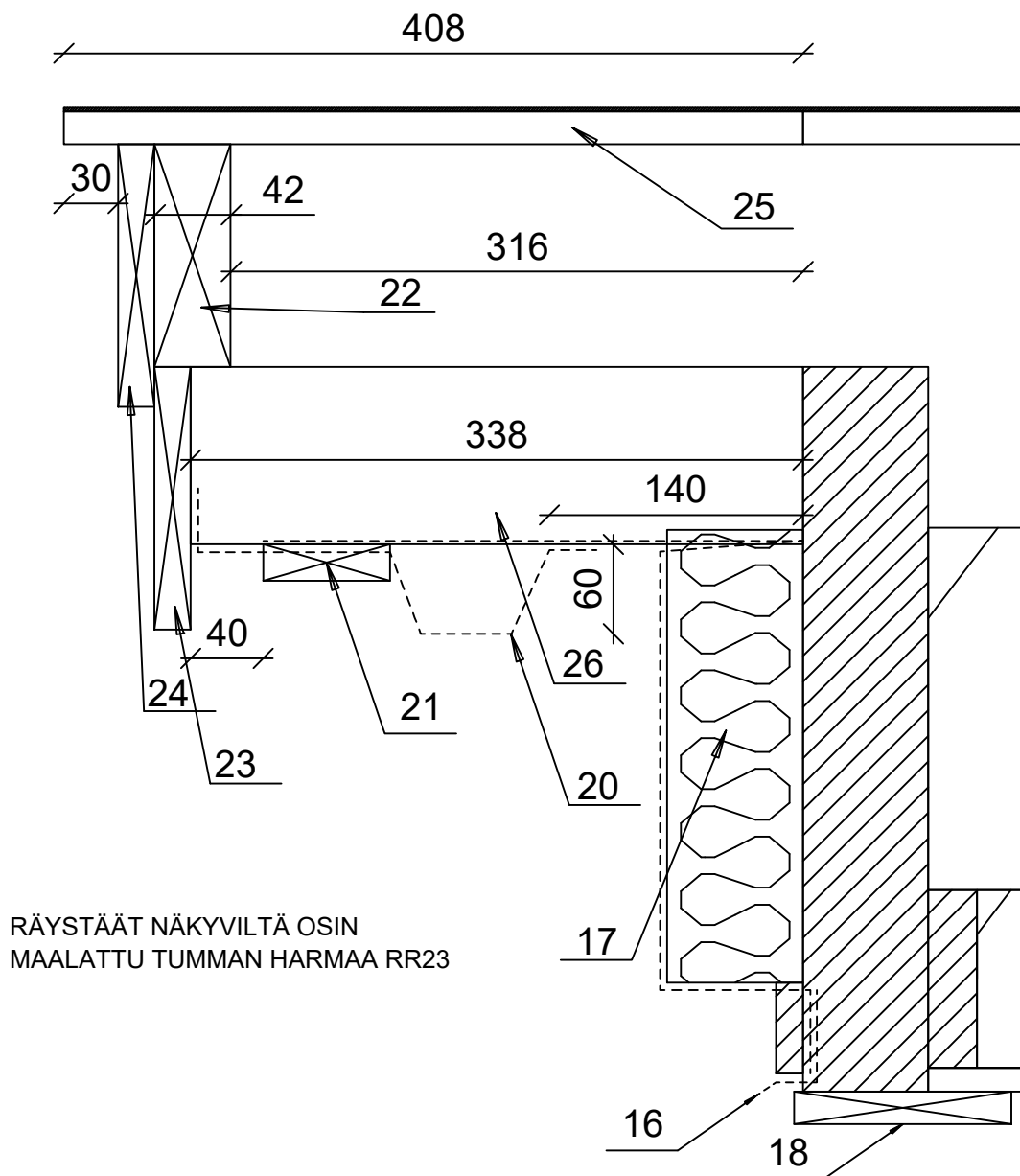


1. Bituminen aluskermi K-MS 170/3000 TL2
2. OSB-levy 18 mm
3. Koolaus C24 42x123 k/k 610 / tuuletusväli
4. LVL-S reunapalkit 69/57x400
5. Mineraalivilla 0,04 W/mK 200mm, T2
A2-s1,d0, yläpinnan luokitus B-s1,d0
6. Höyrynsulkumuovi
7. Koolaus C24 48x98 k/k 600, mineraalivilla 0,037 W/mK 100mm, T2
A2-s1,d0, yläpinnan luokitus B-s1,d0
8. Kipsilevy 13 mm (tyyppi A), valkoinen
9. LVL-T reunarima 27x98

10. LVL-T tukipuu 27x98
11. Tukipala ST 48x48
12. Vaneririma 15x50
13. ST 18x95 saumalaudat, valkoinen
14. Päätylevy 18x500

17. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x250,
Aluskate jatkettuna ST 20x70 taakse
18. ST 18x120 saumalaudat, valkoinen

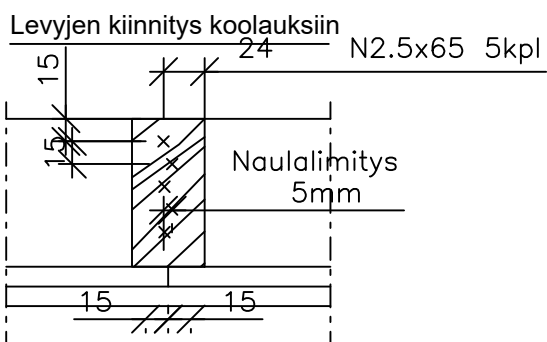
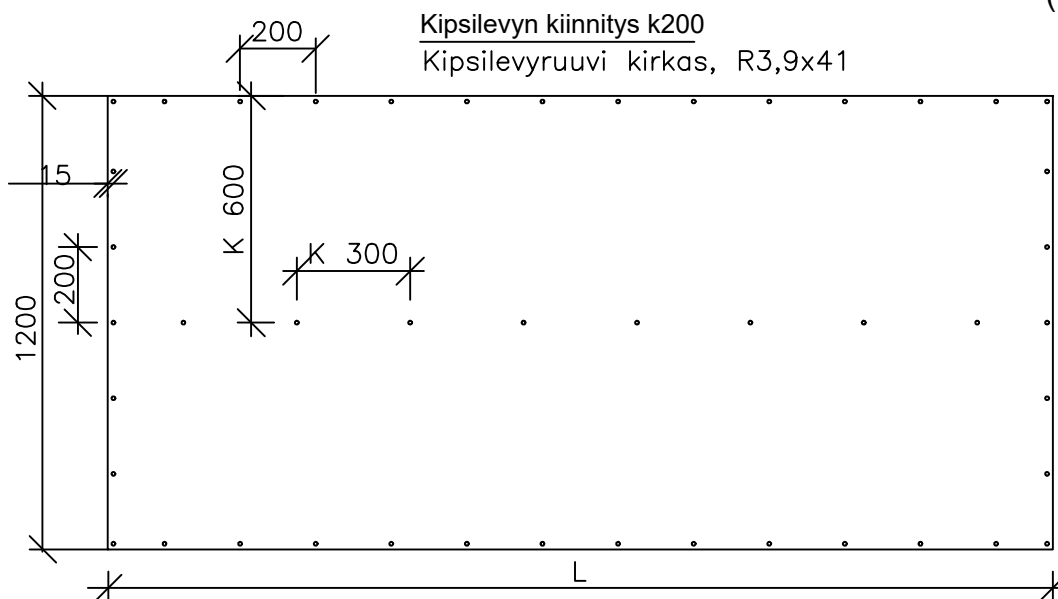
F - F 1:4



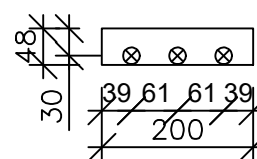
- 16. Valkoinen EPDM elementistä pitkänä, ylitys 180 mm
- 17. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x250
- 18. ST 18x120 saumalaudat, valkoinen
- 20. Pieneläinverkko, ylitys elementin päädysssä 130 mm
- 21. ST 20x70
- 22. C24 42x123
- 23. ST 20x145
- 24. ST 20x145
- 25. Vanerilevy 18 mm
- 26. Rästään tukipuut C24 42x123

Liitokset ja kiinnikkeet 1:20

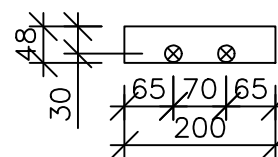
(B 5/5)



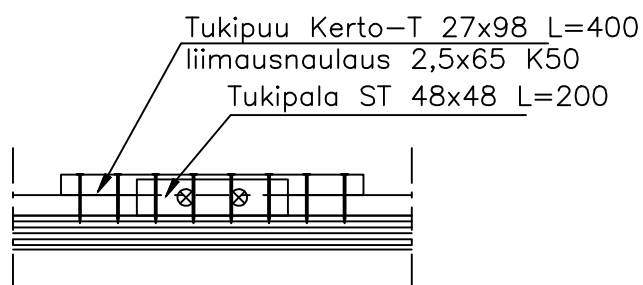
ST 48x48 tukipalat



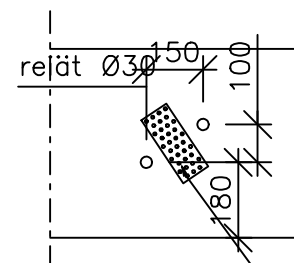
ST 48x48 tukipalat



Tukipalat keskellä



Nostolenkin kiinnitys



Reiden sisäpuolella:
naulalevy 80x200x2
(1+1) N 4x40 kampan.

LIITE C: HARJAELEMENTIN ELEMENTTIPIIRUSTUKSET

Tasokuvan kuvaussuunta yläpuolelta

Puutavara: LVL-S / LVL-T / C24

(C 1/4)

Levy: OSB 3 / Havuvaneri

Kuorman aikaluokka keskipitkä, käyttöluokka 2

Levyjen kiinnitys kampakonenaula kuumasinkitty 2,5x65 k150

Levyt sijoitetaan siten, etteivät saumat muodosta ristikuviota

Vasojen C24 42x123 kiinnitys; NL170-2V/O 3+3N4,0x40 nostopisteiden kohdilta

Muut vasat vinonaulaus 3N 3,1x90 KS kampanaula

Päätylevyjien kiinnitys N2,5x65 k50

Elementtien nostaminen elementin valmistajan suunnitelmien mukaan

Elementtien kiinnitys: Elementtiruuvi R6.3x168 heftissä (Esiporaus 8mm läpi tuotannossa)

LapWall LEKO -kattoelementtien valmistustoleranssit		
Valmistusluokka 2: standardi 5978:2014		
Pituus	< 6 m	+ 0,15 %
	> 6 m	+ 10 mm
Leveys	< 3 m	+ 0,15 %
	> 3 m	+ 10 mm
Paksuus	+ 5 mm	
Nurkkapisteen välisten ristimittojen ero	< 6 m	+ 0,15 %
Suoruus (koko elementin pituus), pituus, leveys	+ 5 mm	
Aukkojen sijainti	+ 10 mm	

Kermin kiinnitysohje (IWF - T - B40 - 5,2x35):

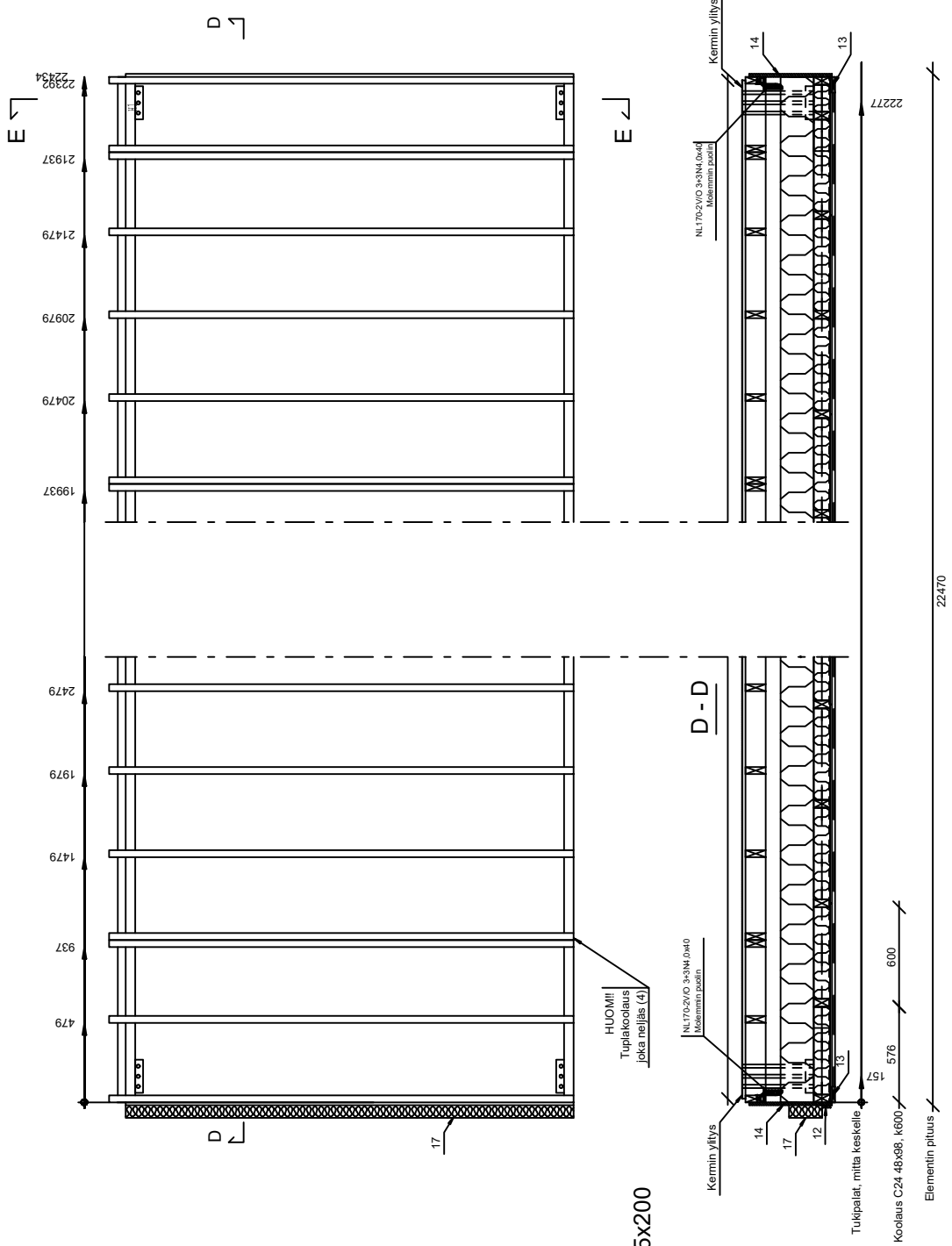
- Katon nurkka-alueet k305
- Katon reuna-alueet k305
- Katon keskialueet k610

ELEMENTIN PAINO: 3440 kg

ELEMENTIN PINTA-ALA: 64.6 m²

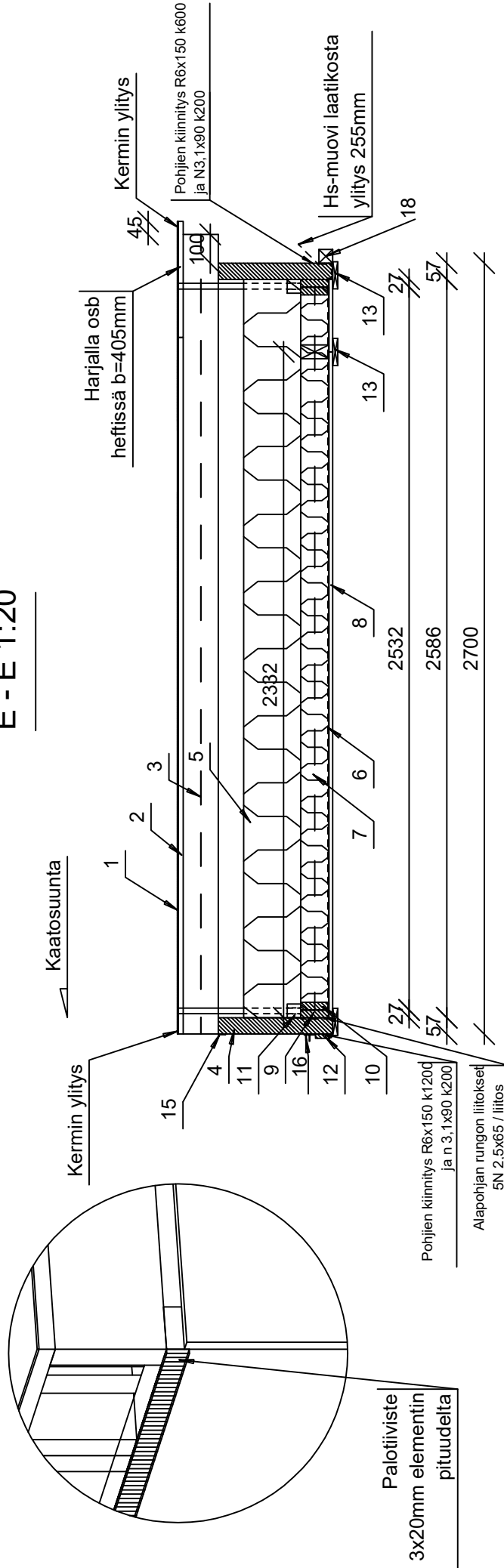
K.osa/Kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisten arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide			Piirustuslaji	Juoks.no	
Rakennuskohteen nimi ja osoite			RAKENNEPIIRUSTUS		
			Piirustuksen sisältö	Mittakaavat	
			Harjaelementin tasopiirustus ja leikkauspiirustus D - D (C 2/4)	1:40	
			Leikkauspiirustus E - E (C 3/4)	1:20	
			Liitos- ja kiinnikedetalji (C 4/4)	1:20	
			Projekti		
			Tekijä:	RAK	Piir.nro:
Suunnittelija	Yritys	Pvm.	Puh.		

1:40



- 12. Vaneririma 15x50
- 13. ST 18x95 saumalaudat, valkoinen
- 14. Päätylevy 18x500
- 17. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x200

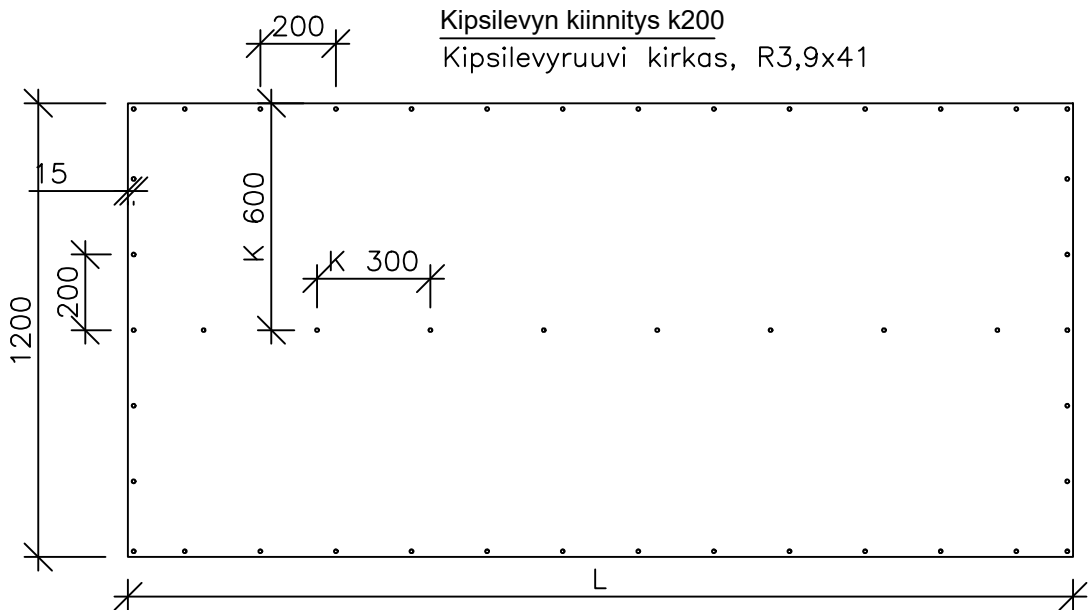
E - E 1:20



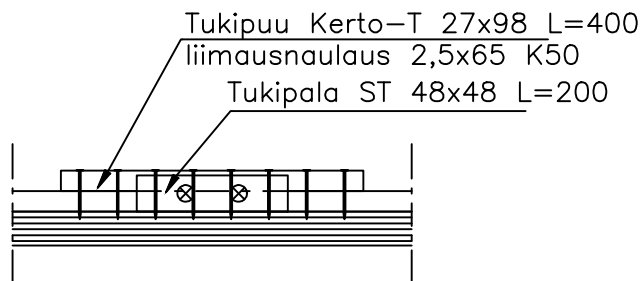
1. Bituminen aluskermi K-MS 170/3000 TL2
 2. OSB-levy 18 mm
 3. Koolaus C24 42x123 k/k 500 / tuuletusväli
 4. LVL-S reunapalkit 57x400
 5. Mineraalivilla 0,04 W/mK 200mm, T2 A2-s1,d0, yläpinnan luokitus B-s1,d0
 6. Höyrynsulkumuovi
 7. Koolaus C24 48x98 k/k 600, mineraalivilla 0,037 W/mK 100mm, T2 A2-s1, d0, yläpinnan luokitus B-s1, d0
 8. Kipsilevy 13 mm (tyyppi A), valkoinen
 9. LVL-T reunarima 27x98
 10. LVL-T tukipuu 27x98
 11. Tukipala ST 48x48
 12. Vaneririma 15x50
 13. ST 18x95 saumalaudat, valkoinen
 14. Päätylevy 18x500
 15. Palotiiviste 3x20mm elementin pituudelta
 16. EPDM 25x40
 17. Aluskatteen sisällä mineraalivilla 75x200
 18. C24 48x48 Valkoinen
- Kiinnitys: N3, 1x90 k200 + R6x100 k1200

Liitokset ja kiinnikkeet 1:20

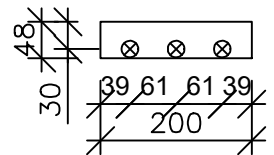
(C 4/4)



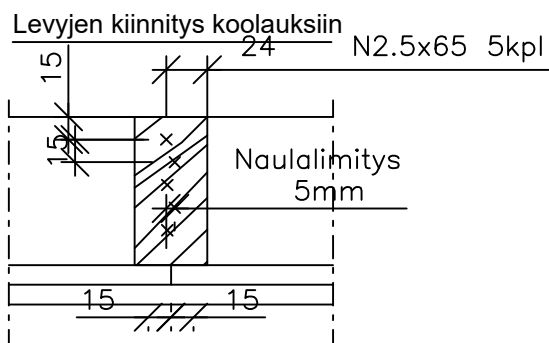
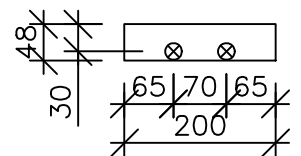
Tukipalat keskellä



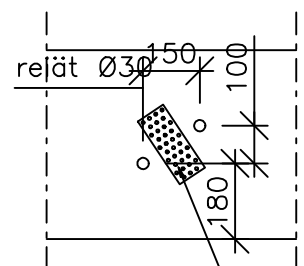
ST 48x48 tukipalat



ST 48x48 tukipalat



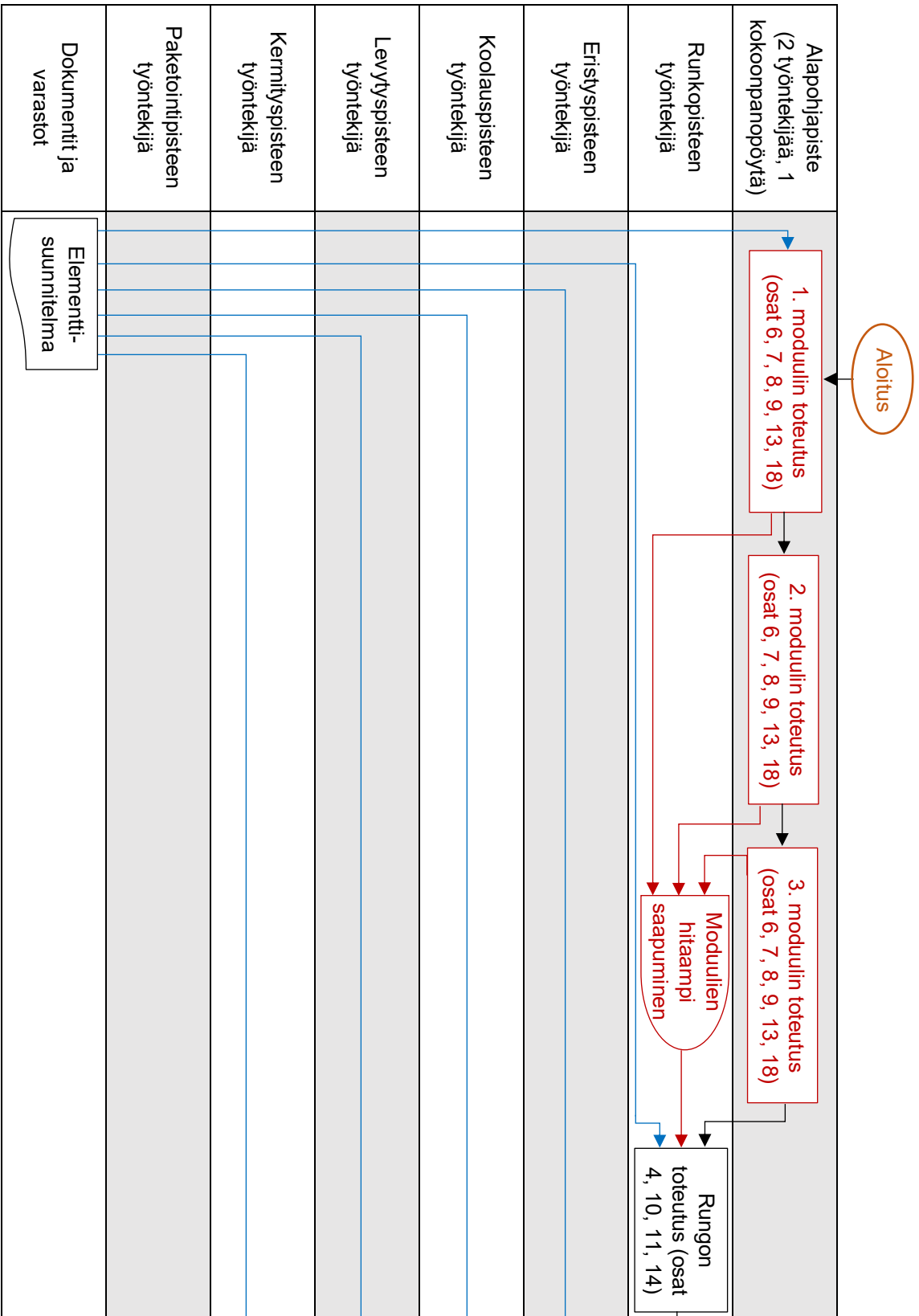
Nostolenkin kiinnitys

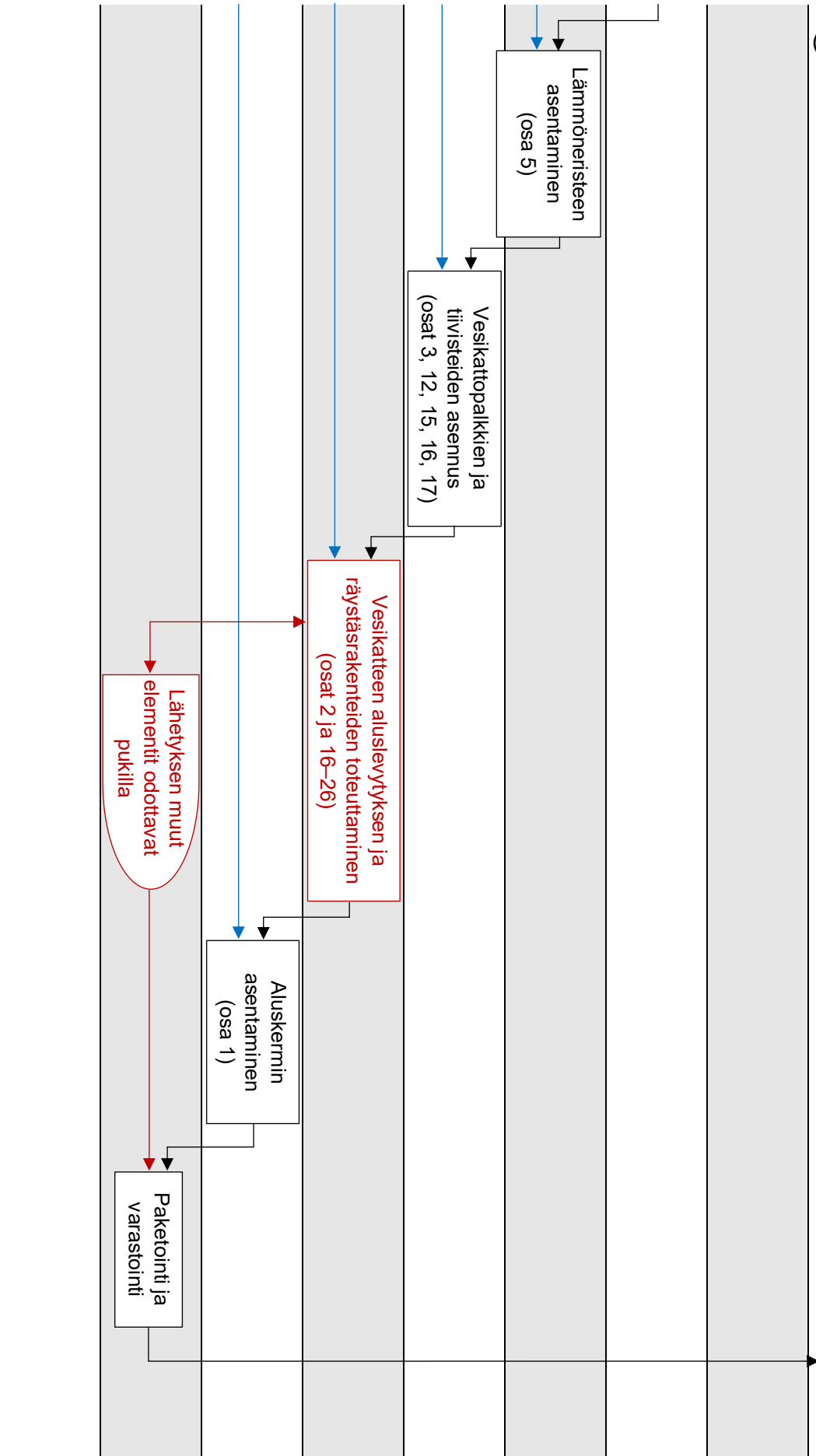


Reiden sisäpuolella:
naulalevy 80x200x2
(1+1) N 4x40 kampan.

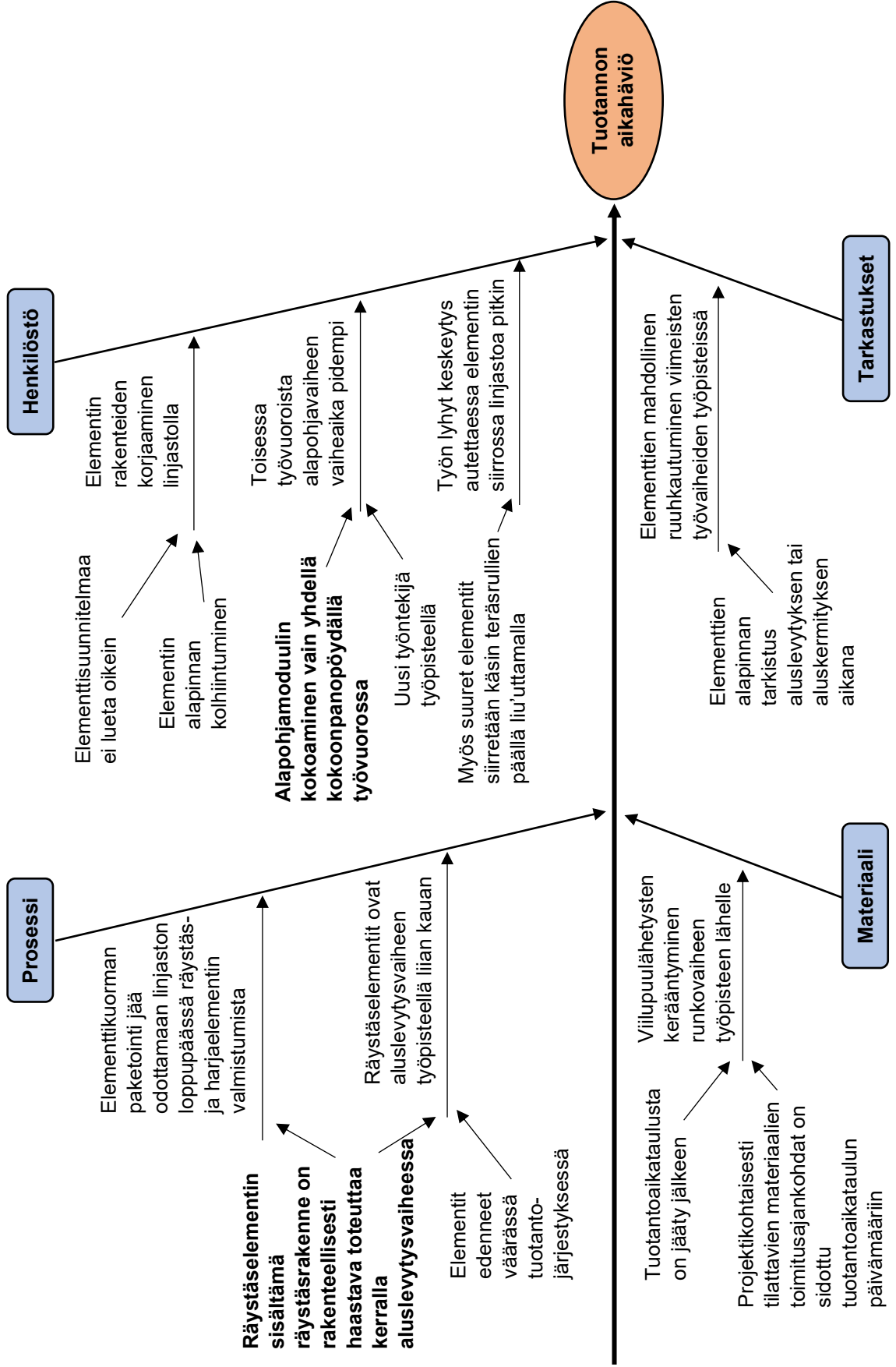
LIITE D: RÄYSTÄSELEMENTIN TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILAN KUVAUS

(D 1/2)





LIITE E: TUOTANNON HÄIRIÖIDEN JUURISYÄNÄLYYS



LIITE F: RÄYSTÄSELEMENTIN TUOTAN- (F 1/2) TOPROSESSIN TAVOITETILAN KUVAUS

