



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OLLI KUMPULAINEN
TUOTANNONSUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN OFFSITE-
TOIMITUSPROJEKTEISSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Minna Lanz,
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Teknis-
ten tieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 30. elokuuta 2017

TIIVISTELMÄ

Olli Kumpulainen: Tuotannonsuunnittelun kehittäminen offsite-toimitusprojekteissa
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 92 sivua, 6 liitesivua
Elokuu 2017
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Tuotantotekniikka ja -automaatio
Tarkastaja: Professori Minna Lanz

Avainsanat: tuotannonsuunnittelu, tuotannonohjaus, projektit, offsite-rakentaminen, tietomallinnus, Last Planner

Diplomityön kohdeyrityksen tuotteet koostuvat avaimet käteen –periaatteella toimitetuista innovatiivisista rakennelmista kuten tekosaarista ja kelluvista huviloista. Kohdeyrityksellä ei ole lainkaan omaa tuotantoyksikköä tai -organisaatiota tuotannonjohdon lisäksi. Yritys rakentaa tuotteensa aina offsite-tuotantomenetelmällä poissa kohteen loppusijainnista aivan viimeisiä viimeistelytyöitä lukuun ottamatta. Yritys kokoaa jokaiselle projektilleen siihen sopivan tuotantojärjestelmän kumppaneihinsa tukeutuen. Projektien tuotantovaiheessa yritys johtaa alihankkijaverkoston työtä työmaalla.

Diplomityön tavoitteena on kehittää yritykselle systemaattinen tuotannonsuunnittelun malli, jota pystytään käyttämään ohjenuorana aina projektin myyntivaiheesta tuotteen luovutukseen asti. Lisäksi tarkastellaan, pystytäänkö ehdotettua tuotannonsuunnittelun mallia tukemaan tietomallinnusohjelmistojen avulla.

Diplomityö sisältää kolme pääosuutta: teoriaosuuden, nykyisten prosessien ja siinä ilmenevien ongelmien tunnistamisen sekä uuden tuotannonsuunnittelumallin kehittämisen nykyisten ongelmien korjaamiseksi. Teoriaosuudessa käsitellään offsite-rakentamista ja toimitusprojekteja liiketoiminnan välineinä, jotta voidaan ymmärtää paremmin yrityksen liiketoimintaympäristön luonnetta. Teoriaosuudessa käsitellään tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen työkaluja sekä viimeisenä perehdytään tietomallinnuksen teoriaan. Teoriaosuuden lopussa käsitellään työn tutkimusmenetelmien teoriaa. Tutkimusmenetelminä toimii puolistrukturoitu teemahaastattelu, vertailututkimus sekä ohjelmistotestaus.

Nykytilan prosessien ja ongelmien kartoitus perustuu puolistrukturoituun teemahaastatteluun. Vertailututkimuksessa paneudutaan tietomallinnuksen työkaluihin tuotannonsuunnittelun apuna. Ohjelmistotestaus pitää sisällään tietomallinnuksen konkreettisen soveltuvuuden testauksen kohdeyrityksen tarpeisiin.

Haastattelututkimuksessa esille tullessiin nykyprosessin ongelmiin löydetään ratkaisumalli soveltamalla teoriaviitekehyksen tarjoamia työkaluja. Työn tuloksena syntyy systemaattinen tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen malli, jota voidaan käyttää johtamisen apuna ja toiminnan kehittämiseen. Tietomalliohjelmistojen toiminnallisuus ei yrityksen toimintamallilla tuota merkittävää hyötyä tuotannonsuunnittelun työkaluna.

ABSTRACT

Olli Kumpulainen: Development of production planning in offsite-production projects

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 92 pages, 6 Appendix pages

August 2017

Master's Degree Programme in Mechanical engineering

Major: Production engineering and automation

Examiner: Professor Minna Lanz

Keywords: Production Planning, Production Management, Projects, Offsite-production, Building Information Modeling, Last Planner

The Subject company of this Master's Thesis produces innovative turnkey construction projects e.g. floating artificial islands and floating villas. The Company doesn't possess own production facilities nor production organization except production management organization. The Company manufactures its projects by offsite-production method away from the final installation site excluding the very finishing tasks on-site. The Target company gathers own production organization and production facilities in cooperation with partners just to ensure the most suitable facilities and organization to the needed purposes. During the production phase the target company leads the production operations but the partner companies take care of the tasks included.

The Goal of the Master's Thesis is to develop a systematic model for production planning and management which can be used as a guideline always from the sales phase to the commissioning phase of the projects. The Guideline can be used as a help of management operations and it provides a platform for continuous development. Another goal of the Thesis is to evaluate how to use building information modeling as a tool for production planning if possible.

The Thesis includes three phases: theory, present production planning processes and the challenges confronted in current practices and development of the new model for production planning and management. In theory phase, offsite-production and type of the target company's project business environment are introduced. Theory phase includes also demonstration about production planning and management guidelines and tools. The theory focus also on the tools of building information modeling. The last part of theory demonstrates the research methods: theme interview, benchmarking and software testing.

The survey about present production planning processes and challenges is based on theme interview. Benchmarking focuses on the use of building information modeling as a production planning tool. Software testing gives a concrete opportunity to test the features of building information modeling to the needs of the target company.

As a result of the Master's Thesis there is a systematic guideline for production planning and management introduced. It can be used as a guideline by management and it provides a platform for continuous improvement. According to the results the building information modeling is not a suitable tool for enhancing production planning in the projects of the target company.

ALKUSANAT

Haluan kiittää diplomityön toimeksiantajayrityksen edustajia mahdollisuudesta osallistua erittäin mielenkiintoisen projektiympäristön kehittämiseen. Diplomityön lähtöasetelma, jossa lähestulkoon puhtaalta pöydältä aloitettiin rakentamaan toimintamalleja tuotannosuunnittelun toteutukselle, osoittautui haastavaksi, mutta erittäin mielenkiintoiseksi tutkimuskohteeksi. Kiitän yrityksen henkilökuntaa lukuisista neuvoista ja osallistumisesta diplomityön haastatteluihin. Erityisen kiitoksen ansaitsee diplomityön ohjannut suunnittelujohtaja Suvi Ruuska, jonka ammattitaitoisista neuvoista oli työtä tehdessä korvaamaton apu. Kiitokset kuuluvat myös diplomityön tarkastajalle professori Minna Lanzille.

Diplomityö on lopulta vain pieni osa opintoja. Sen vuoksi suuren kiitoksen haluan osoittaa avopuolisolleni Sannille, joka on ollut tärkeä ja kärsivällinen tuki läpi koko yliopistotempuilujen. Viimeiseksi haluan kiittää vanhempiani, jotka ovat auttaneet ja tukeneet minua läpi opintieni.

Turussa, 15.9.2017

Olli Kumpulainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset	2
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -aineistot	3
1.4	Työn rakenne.....	4
2.	OFFSITE-TOIMITUSPROJEKTIT LIIKETOIMINNAN VÄLINEINÄ.....	6
2.1	Toimitusprojektit liiketoiminnan välineenä	6
2.1.1	Projektin määritelmä	6
2.1.2	Tilaus-toimitusprojekti.....	7
2.1.3	Projektin tavoitteet	8
2.1.4	Projektin elinkaari	9
2.2	Rakentaminen on projektiliiketoimintaa	10
2.3	Offsite-rakentaminen.....	12
2.3.1	Terminologia ja määritelmä	12
2.3.2	Offsite-rakentamisen hyödyt.....	13
2.3.3	Offsite-rakentamisen haasteet:	17
3.	TOIMITUSPROJEKTIEEN TUOTANNONSUUNNITTELU.....	19
3.1	Toimitusprojektien tuotannonsuunnittelu	19
3.1.1	Tuotannonsuunnittelun perusteet	19
3.1.2	Tuotannonsuunnittelun merkitys projektin tavoitteisiin	22
3.1.3	Tuotannonsuunnittelun elinkaari ja tasot	23
3.2	Projektisuunnittelun taso (Taso 1).....	24
3.2.1	Tuoterakenne ja työn ositus	24
3.2.2	Aikataulun hallinta.....	29
3.2.3	Resurssien hallinta	33
3.3	Tuotannon ennakoivan suunnittelun ja ohjauksen tasot (Tasot 2 ja 3)	34
3.3.1	Valmisteleva suunnittelu.....	36
3.3.2	Viikkosuunnittelu.....	37
3.3.3	Toteuman seuranta	38
3.3.4	Aikaisempi kokemus Last Planner-menetelmästä	38
4.	TIETOMALLINNUS TUOTANNONSUUNNITTELUN TYÖKALUNA.....	41
4.1	Tietomallinnuksen perusteet	41
4.2	Tietomallien hyödyntämismahdollisuudet	42
4.2.1	Hyödyt tilaajalle ennen rakennusvaihetta	43
4.2.2	Hyödyntämismahdollisuudet suunnitteluvaiheessa	43
4.2.3	Hyödyntämismahdollisuudet rakentamisessa ja osavalmistuksessa 44	
4.2.4	Rakennusvaiheen jälkeiset hyödyt	45
4.2.5	Koetut hyödyt ja haasteet tietomallinnuksesta toimitusprojektien toteutuksessa.....	45

5.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	48
5.1	Kirjallisuuskatsaus	48
5.2	Tapaustutkimus	48
5.3	Puolistrukturoitu teemahaastattelu	49
5.3.1	Teemahaastattelun teoria.....	49
5.3.2	Teemahaastatteluiden toteutus	50
5.3.3	Teemahaastattelun aineisto	51
5.4	Ohjelmistotestaus	53
5.5	Vertailututkimus.....	53
6.	TULOKSET	56
6.1	Haastattelun tulokset	56
6.1.1	Työmaaryhmä	56
6.1.2	Projektinjohtoryhmä.....	62
6.2	Ohjelmistotestauksen tulokset.....	67
6.3	Vertailututkimuksen tulokset	69
7.	ANALYYSI	71
7.1	Ehdotus tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen mallista.....	71
7.1.1	Nykyinen prosessi	71
7.1.2	Ehdotus uudesta mallista.....	73
7.2	Tuotannosuunnittelun tehostaminen tietomallien avulla.....	82
7.3	Ehdotetun mallin käyttöönotto kohdeyrityksessä	84
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET	86
8.1	Tutkimustavoitteiden toteutuminen.....	86
8.2	Tutkimuksen toteutuksen ja luotettavuuden tarkastelu	87
8.3	Jatkotutkimuskohteet.....	89
	LÄHTEET.....	92

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

LIITE B: OHJELMISTOTESTAUKSEN RUNKO

LIITE C: VERTAILUTUTKIMUKSEN RUNKO

LIITE D: ESIMERKKI MYYNTIVAIHEEN TUOTERAKENTEESTA

LIITE E: ESIMERKKI MYYNTIVAIHEEN TUOTERAKENTEESTA JOHDETUSTA
TYÖN OSITUSRAKENTEESTA JA AIKATAULUSTA

LIITE F: ONGELMAKARTTA

LYHENTEET JA MERKINNÄT

IFC-malli	IFC (Industry Foundation Classes) on tiedostomuoto, jolla voidaan yhdistää eri suunnittelualojen mallit yhteiseen tiedostomuotoon.
Last Planner	Lean-periaatteisiin pohjautuva tuotannonohjausmenetelmä.
Lean	Toyotan tuotantosysteemiin pohjautuva tuotantofilosofia.
Mock-up-malli	Täysikokoinen prototyyppi tuotteesta, jota käytetään erilaisten demonstraatioiden tekemiseen ja suunnittelupäätösten arviointiin.
Offsite-tuotanto	Tuotantotoiminnan muoto, jossa rakennelma tuotetaan osakokonaisuuksina tehdasolosuhteissa poissa lopullisesta loppusijainnistaan ja lopulta tuodaan kokonaisuutena tai kootaan loppusijaintipaikkaansa.
OKP-yritys	One-of-a-Kind -yritys valmistaa erittäin pitkälle asiakaskohtaisesti räätälöidyt tuotteensa yksittäisinä tai erittäin lyhyinä sarjoina asiakkailleen. Esimerkkinä risteilijöitä valmistavat telakat.
PBS	Tuoterakenne (engl. Product Breakdown Structure)
Projektin ositus	Projektin kokonaisuuden pilkkominen pienemmiksi paremmin hallittaviksi kokonaisuuksiksi.
S-Käyrä	Työkalu projektien toteuman seuraamiseen.
BIM	Tietomallinnus (engl. Building Information Modeling) on mallinnusteknologia, jonka avulla luodaan, analysoidaan ja kommunikoidaan eri suunnittelumalleja.
Toimitusprojekti	Projektin tuotoksena toimitettava ratkaisu asiakkaalle.
WBS	Työn ositusrakenne (engl. Work Breakdown Structure).
Tuotannosuunnittelu	Toimintaa, jonka tarkoituksena on varmistaa toteutukseen vaadittujen materiaalien, työvoiman ja muiden tarvittavien resurssien saatavuus oikea-aikaisesti, oikeaan paikkaan ja oikean laatuina.
Puolistrukturoitu teemahaastattelu	Haastattelu, joka kohdennetaan ennalta määriteltyihin teemoihin, eikä se rajoitu pelkästään yksityiskohtaisiin kysymyksiin.
Vertailututkimus	Kehittämiskäytäntö, jossa ei keksitä asioita uudelleen, vaan tunnistetaan markkinoilta tuotteisiin, palveluihin tai prosesseihin liittyvät parhaat käytännöt ja niiden tekijät. Kun parhaat tekijät on tunnistettu, vertaillaan toimintatapoja, pyritään oppimaan ja kehittämään omaa toimintaansa kohti parhaiksi havaittuja käytäntöjä.
Offsite production	Offsite-tuotanto, offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa.
Offsite fabrication	Offsite-valmistaminen, offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa.
Offsite manufacturing	Offsite-tuotanto, offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa.
Offsite construction	Offsite-tuotanto, offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa.
Pre-assembly	Esiasennus, offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa.
Prefabrication	Esivalmistus, offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa.
Volymetrinen kokoonpano	Kokoonpano, joka muodostaa suljetun tilan, mutta ei itsenäisesti ole valmis tila. Esimerkiksi kylpyhuonemoduuli.

Ei-volymetrinen kokoonpano

Tietomalli	Kokoonpano, joka ei kuitenkaan muodosta itsessään suljettua tilaa. Toimii jaettuna informaatiolähteenä kohteen fyysisistä ja toiminnallisista ominaisuuksista, muodostaen luotettavan pohjan päätöksenteolle kohteen elinkaaren eri vaiheissa.
Tietomallinnus	Tietomallikuvauksen luominen tuotoksen fyysisistä ja toiminnallisista ominaisuuksista digitaalisten työkalujen avulla. Peruslähtökohta tietomallinnukselle on mahdollistaa sidosryhmien välinen reaaliaikainen yhteistyö kohteen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Tietomallinnus mahdollistaa rinnakkain tapahtuvan kohteeseen liittyvän tiedon lisäämisen, käyttämisen, päivittämisen ja muokkaamisen eri sidosryhmien toimesta.
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (eng. Enterprise Resource Planning).
PDCA-sykli	Jatkuva kehittämismenetelmä, jossa jatkuu vaiheet suunnittelu, toimenpiteet, toimenpiteiden vaikutusten tarkastelu sekä tarvittavat korjaukset (eng. Plan, Do, Check, Act).
As-Built-malli	Malli, joka vastaa lopullisesti toteutunutta toteutusta.

1. JOHDANTO

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tausta sekä kuvataan motivaatio tutkimuksen toteuttamiselle. Luvussa esitellään tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusongelmat, joiden kautta tutkimusta lähdetään rakentamaan. Myöhemmin luvussa kuvataan diplomityön rajaukset, esitellään tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät sekä tutkimusaineistot. Diplomityön rakenne on kuvattu luvun lopussa.

1.1 Työn tausta

Kohdeyritys on offsite - rakentamiseen erikoistunut yritys, joka valmistaa tuotteensa toimitusprojekteina avaimet käteen – periaatteella asiakkailleen. Yrityksellä ei ole lainkaan omaa tuotantoyksikköä tai -organisaatiota, vaan se kokoaa jokaiseen projektiin oman tuotanto-organisaationsa yhteistyössä alihankkijaverkostonsa kanssa.

Vaikka tuotantotoiminnot on ulkoistettu kumppaneille ja alihankkijoille, yritys vastaa projektinsa johdosta ja on vastuussa projektikohtaisesti tuotannosuunnittelusta ja ohjauksesta. Yrityksen tuotteita leimaavat erityisen pitkälle asiakaskohtaisesti räätälöidyt ratkaisut, joille on asetettu erittäin korkeat laatuvaatimukset, asiakkaan toimesta tuotelaadulle sekä eri paikallisten viranomaisten toimesta erilaisina teknisinä vaatimuksina. Laaja alihankkijaverkosto sekä offsite-rakentaminen tuovat omat erikoispiirteensä yrityksen toimintaan.

Yrityksen tuoteportfolio jakaantuu Marine- ja Construction-sektoreihin. Marine-sektorin tuotteet koostuvat kelluvista rakennuksista sekä veden päälle paalujen varaan rakennetuista rakennuksista. Construction-sektori koostuu moduulirakennuksista sekä valmiiksi kokoonpannuista huonemuoduuleista.

Yritys on suhteellisen nuori ja se on kasvanut viime vuosina erittäin voimakkaasti. Yritys on historiansa aikana toteuttanut vasta muutamia projekteja. Luonnollista on, että yrityksen kaikkia prosesseja ei ole vielä määritelty tai dokumentoitu riittäväällä tarkkuudella. Yhteisten ja sovittujen toimintamallien puuttuminen aiheuttaa yksittäisten projektin toteutuksiin virheitä ja eri projektien välillä on eroa käytännöissä, mikä taas osaltaan aiheuttaa haasteita useammassa projekteissa toimivalle henkilöstölle.

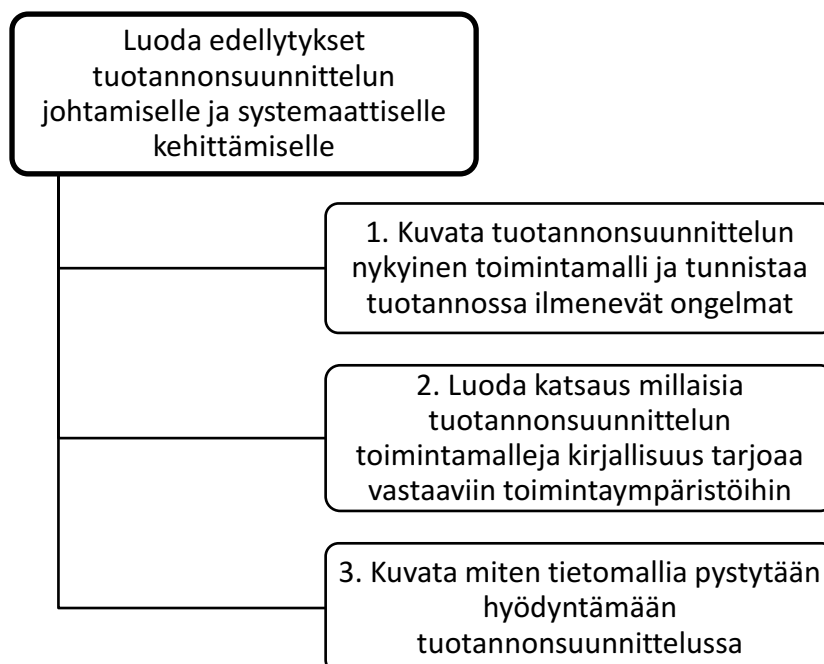
E erityisenä kehityskohtena yrityksessä nähtiin järjestelmällisten tuotannosuunnittelutoimintojen määrittäminen ja dokumentointi. Diplomityön lähtötilanteessa tuotannosuunnittelun toimintoja ei ollut määritelty, vakioitu eikä dokumentoitu. Tuotannosuunnittelulle ei ollut määritelty systemaattista toteutusmallia

eikä yrityksessä ollut selkeää käsitystä mitä projektin tuotantoon ja toteutukseen liittyvää suunnittelua tulisi lopulta toteuttaa projektin elinkaaren eri vaiheissa. Tästä syystä yrityksessä nähtiin tarve koko tilaus-toimitusprosessin läpi kulkevalle tuotannosuunnittelun viitekehykselle, jossa kuvataan millä tavoin, millaisin työkaluin ja missä projektin elinkaaren vaiheissa tuotannosuunnittelua tulee toteuttaa. Tämän diplomityön tarkoitus onkin luoda systemaattinen viitekehys tuotannosuunnittelutoimintojen johtamiselle, joka luo myös pohjan tulevalle tuotannosuunnittelun kehitystyölle.

Diplomityön tutkimushetkellä yrityksessä oli käynnissä toisiaan sivuavia rinnakkaisia kehitysprojekteja yrityksen eri osastoilla. Näistä kehitysprojekteista yksi oli tietomallinnusohjelmiston valinta ja käyttöönottoprojekti. Tähän kehitysohjelmaan oli tehty ennen diplomityön aloittamista huomattavia panostuksia erityisesti yrityksen tuotesuunnittelutoimintoihin liittyen. Yrityksessä haluttiin, että tuotannosuunnittelulle kehitettävää viitekehystä voidaan jatkossa kehittää siten, että tietomalleja voidaan käyttää tuotannosuunnittelun apuna. Yritys asetti diplomityön yhdeksi tavoitteeksi implementointisuunnitelman valmistelun tietomallien käyttämiseksi tuotannosuunnittelun työkaluna.

1.2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Diplomityön ylätason päätavoitteena on *luoda perusedellytykset tuotannosuunnittelun johtamiselle ja systemaattiselle kehittämiselle*. Tähän päätavoitteeseen päästään kolmen alatavoitteen avulla. Diplomityön pää- ja alatavoitteet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Diplomityön pää- ja alatavoitteet.

Diplomityön ensimmäisenä alatavoitteena on kuvata tuotannonsuunnittelun nykyiset käytännöt ja toimintamallit sekä tunnistaa millaisia ongelmia tällä hetkellä toteutettavat suunnitelmat tai niiden puutteet aiheuttavat projektin elinkaaren tuotantovaiheessa.

Diplomityön toisena alatavoitteena on selvittää kirjallisuuteen perustuen millaisia ratkaisumalleja tuotannon nykytilan ongelmiin olisi sovellettavissa. Ensimmäisen ja toisen alatavoitteen avulla pystytään luomaan tuotannonsuunnittelulle viitekehys, jossa nykytilan toimintamallia ja käytäntöjä pystytään kehittämään ja täydentämään kirjallisuuteen perustuen nykytilan ongelmien poistamiseksi.

Kolmantena alatavoitteena on kuvata, miten tietomalleja voidaan hyödyntää apuna tuotannonsuunnittelussa, sekä kartoittaa miten tietomallit olisivat sovellettavissa diplomityössä luotavan tuotannonsuunnittelun viitekehysten tukena.

Esiteltyjen tavoitteiden avulla pystytään loogisesti määrittelemään diplomityölle tutkimuskysymykset:

- 1.) Mitkä ovat kohdeyrityksen kriittisimmät kehityskohteet toimitusprojektin toteutuksessa?
- 2.) Miten kirjallisuudesta löytyviä työkaluja voidaan käyttää hyväksi yrityksen projektien elinkaaren eri vaiheissa?
- 3.) Miten tietomallit ovat sovellettavissa yrityksen tuotannonsuunnittelun työkaluina?

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineistot

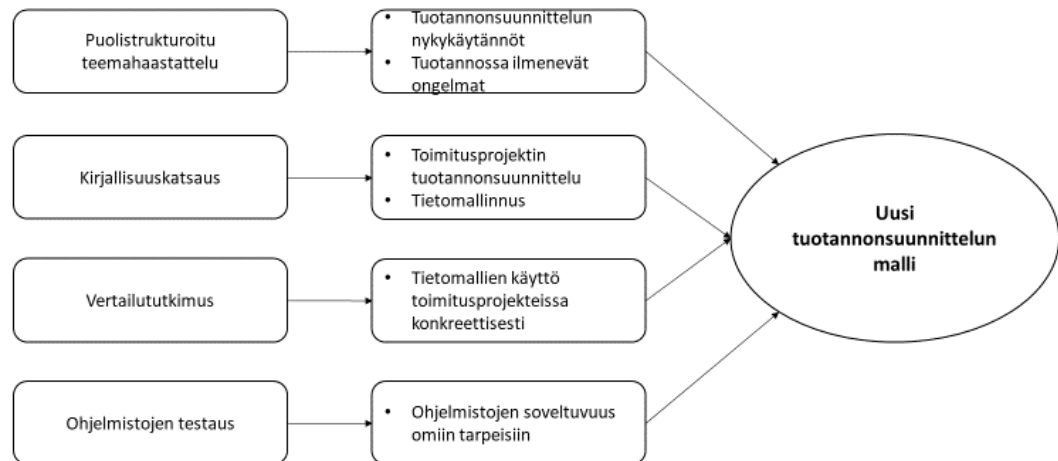
Tämä diplomityö on luonteeltaan kvalitatiivinen tapaustutkimus. Tapaustutkimuksen kohdeprojektina toimi kymmenen kelluvan huvilan, kahden kelluvan ravintolan ja yhden kelluvan jahtiklubin muodostama toimitusprojekti. Projekti valittiin tapaustutkimuksen kohteeksi, sillä projekti tuotoksineen kuvaavat hyvin yrityksen tyypillistä toimitusprojektia ja vastaavanlaisia projekteja odotetaan käynnistyvän myös tulevaisuudessa. Lisäksi projektin toteutus sijoittui aikataulullisesti sopivasti diplomityöhön liittyvän tutkimuksen kanssa.

Diplomityön tutkimusmenetelmät ja perustelut, miksi eri tutkimusmenetelmät on valittu työhön ja mitä niiden käytöllä tavoitellaan, on esitelty kuvassa 2.

Puolistrukturoitua teemahaastattelua on käytetty diplomityössä hyväksi tuotannonsuunnittelun nykyisten toimintamallien ja käytäntöjen kartoittamiseen. Menetelmän avulla on selvitetty myös tuotannon nykytoimintamallissa ilmenevät ongelmat.

Kirjallisuuskatsauksen avulla työssä on perehdytty toimitusprojektien tuotannonsuunnitteluun vastaavissa toimintaympäristöissä ja haettu hyviä käytäntöjä,

jotka olisivat sovellettavissa myös kohdeyrityksen toimintamalleihin. Kirjallisuuskatsauksen avulla on myös perehdytty tietomallien käyttöön toimitusprojekteissa.



Kuva 2. Diplomityössä käytettävät tutkimusmenetelmät.

Vertailututkimuksen avulla on perehdytty kumppanuusyrityksen tekemiin havaintoihin tietomallien käyttömahdollisuuksista ja pyritty syventämään ymmärrystä tietomallintamisen käyttömahdollisuuksista toimitusprojektien tuotannosuunnittelun apuna.

Diplomityön puitteissa on toteutettu tietomallinnusohjelmistolle testauksia, joissa on konkreettisesti päästy kokeilemaan ohjelmiston toiminnallisuutta ja tarkastelemaan, pystytäänkö niillä toteuttamaan kohdeyritykselle tarpeellisia tuotannosuunnittelun toimenpiteitä.

1.4 Työn rakenne

Diplomityö jakautuu neljään osaan: 1.) **teoriaosuuteen** 2.) **tutkimusmenetelmien esittelyyn** 3.) **tutkimuksen tuloksiin**, sekä 4.) **tulosten tarkasteluun**.

Teoriaosuus koostuu kolmesta luvusta. **Luvussa 2** käsitellään toimitusprojekteja liiketoiminnan välineinä sekä rakennustoiminnan toimintaympäristön vahvaa suuntautumista projektiliiketoimintaan. Tämän lisäksi käsitellään offsite-rakentamisen erityispiirteitä perinteisiin rakennusmenetelmiin verrattuna. Luku 2 luo johdatuksen diplomityön kohdeyrityksen liiketoimintaympäristöön ja luo perusteet ymmärtää kohdeyrityksen melko ainutlaatuistakin toimintaympäristöä. Aihepiirit muodostavat loogisen jatkumon kuvaten yritykseen kohdistuvat erityispiirteet vahvassa

projektipainotteisessa offsite-rakentamisympäristössä. Näiden erityispiirteiden ymmärtäminen on keskeistä työn kannalta, jotta eri teorioita osataan soveltaa yrityksen toimintamalleihin. **Luku 3** käsittelee toimitusprojektien tuotannosuunnitteluun liittyvää teoriaa. Luvussa esitellään tuotannonohjauksen

hierarkkinen malli, jonka avulla tuotannosuunnittelujen käyttö pystytään kohdistamaan toimitusprojektin elinkaaren eri vaiheisiin. Tämän lisäksi esitellään eri elinkaaren vaiheissa toteutettavat tuotannosuunnittelun toimenpiteet.

Luvussa 4 esitellään tietomallinnuksen perusteet ja perusterminologia. Luvussa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen avulla tietomallien käyttömahdollisuuksia projektin elinkaaren eri vaiheissa sekä tutkitaan, millaisia hyötyjä ja haasteita tietomallien käytössä on kohdattu.

Luvussa 5 esitellään diplomityön tutkimusmenetelmät sekä niiden käyttö. Luvussa esitetään puolistrukturoidun teemahaastattelun teoriaa ja sitä, miten haastattelu diplomityön puitteissa toteutettiin. Lisäksi luvussa käsitellään diplomityöhön liittyneen vertailututkimuksen teoria sekä kyseisen tutkimusmenetelmän käyttö ja toteutus tämän diplomityön puitteissa. Luvussa esitellään perustelut ohjelmistotestauksen valinnalle yhdeksi tutkimusmenetelmistä ja selostetaan, miten menetelmää hyödynnettiin.

Luvussa 6 on objektiivinen esitys eri tutkimusmenetelmien tuottamista tuloksista. Kappaleessa kuvataan tuotannosuunnittelun nykyiset toimintamallit, kuvataan nykyisen toimintamallin aiheuttamat ongelmat sekä esitellään ohjelmistotestauksen ja vertailututkimuksen tuottamat tulokset.

Luvussa 7 analysoidaan mitkä ovat nykyisien ongelmien juurisyitä ja pohditaan, kuinka kirjallisuuskatsauksessa löydettyillä työkaluilla ongelmat olisivat korjattavissa. Tältä pohjalta luodaan ehdotus tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen viitekehyykseksi. Luvussa käydään myös keskustelu millä keinoin tuotannosuunnittelun mallia pystyttäisiin tehostamaan tietomallin avulla.

Luvussa 8 tuotetaan yhteenveto diplomityölle. Kappaleessa pohditaan työn tavoitteiden onnistuminen, arvioidaan työn toteutuksen luotettavuus, sekä pohditaan mahdollisia jatkotutkimuskohteita.

2. OFFSITE-TOIMITUSPROJEKTIT LIIKETOIMINNAN VÄLINEINÄ

Diplomityön kohdeyrityksen tuotteet koostuvat asiakkaille yksittäisesti räätälöidyistä toimitusprojekteista, jotka tuotetaan offsite rakennusprojekteina. Yrityksen tuotteiden räätälöintiaste on erittäin korkea ja tuotantojärjestelmältä odotetaan erityistä joustavuutta. Tällaisen tuotantoyksikön perustamiseen vaadittaisiin merkittäviä investointeja. Yrityksellä ei ole kuitenkaan omaa tuotantoyksikköä, vaan tuotantostrategiana on rakentaa tuotantoyksikkö projektikohtaisesti yhteistyössä alihankkijaverkoston kanssa. Näin ollen yrityksen tuotantoyksikkö ei ole myöskään maantieteellisesti sidottu mihinkään kohteeseen, vaan verkosto voi toimia missä tahansa. Yrityksen liiketoiminta on siis tuotannollisestikin erittäin voimakkaasti projektiliiketoimintaa. Diplomityön kannalta on keskeistä ymmärtää projekteihin liittyvät käsitteet, projektien rooli liiketoiminnan välineinä yrityksen strategian toteuttamiselle sekä offsite-tyyppisen tuotantotoiminnan tuomat erityispiirteet projektin johtamiselle ja kannattavalle toteutukselle.

Tässä kappaleessa käsitellään työn kannalta keskeiset projektiliiketoiminnan käsitteet ja tavoitteet. Lisäksi kappaleessa kuvataan projektin elinkaaren eri vaiheet. Elinkaaren vaiheet kuvataan, jotta teorettinen viitekehys pystytään työn soveltavassa osiossa yhdistämään yrityksessä projektin eri vaiheissa sovellettuihin projektinjohtamisprosesseihin. Kappaleessa kuvataan projektien rooli yritysten liiketoiminnallisten tavoitteiden työkaluina ja se, miten toimitusprojektit voidaan käyttää työkaluina yrityksissä strategisten tavoitteiden saavuttamiseksi.

Kappaleessa kuvataan rakennusliiketoimintaa, jota kohdeyrityksen toiminta osaltaan myös on, vahva projektiliiketoiminnallinen luonne sekä esitellään offsite-rakentamisen tuottamat erityispiirteet.

2.1 Toimitusprojektit liiketoiminnan välineenä

Tässä kappaleessa käydään läpi projektien teoriaviitekehukset.

2.1.1 Projektin määritelmä

Projekti tähtää aina ennen toteutusta määriteltyyn päämäärään, jolla pyritään luomaan muutos nykyiseen tilanteeseen (Artto et al., 2008). Päämäärä yhdistää projektin tilaajan ja toimittajan liiketoiminnallisiin tavoitteisiin. Päämäärä tarkentuu sitä myötä, kun projekti etenee. Alussa päämäärä on hyvin yleistasonen, mutta lopulta saavuttaa selkeän kuvan. Projektille keskeinen ominaisuus on sen ainutkertaisuus. Projekti eroaa aina

edellisistä projekteista jollain tavalla. Vaikka projektin tuotoksena toteutettava tuote olisikin samanlainen, projekti poikkeaa aikaisemmista siitä huolimatta vähintään toteutustapansa, työtapojensa tai olosuhteidensa vuoksi.

Projektille on Artto et al. (2008) mukaan luotu määritelmä, joka kuuluu seuraavasti:

”Projekti on ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, monimutkaisten ja toisiinsa liittyvien tehtävien muodostama ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu ainutkertainen kokonaisuus.”

Law (2016b) määrittelee projektin seuraavasti:

”Projekti koostuu määritellyllä aikavälillä toteutettavista toiminnoista, jotka tähtäävät tietyn tuotoksen toteuttamiseen. Toiminnot ovat toisistaan riippuvia ja ne tulee toteuttaa tietyssä ennalta määritellyssä järjestyksessä.”

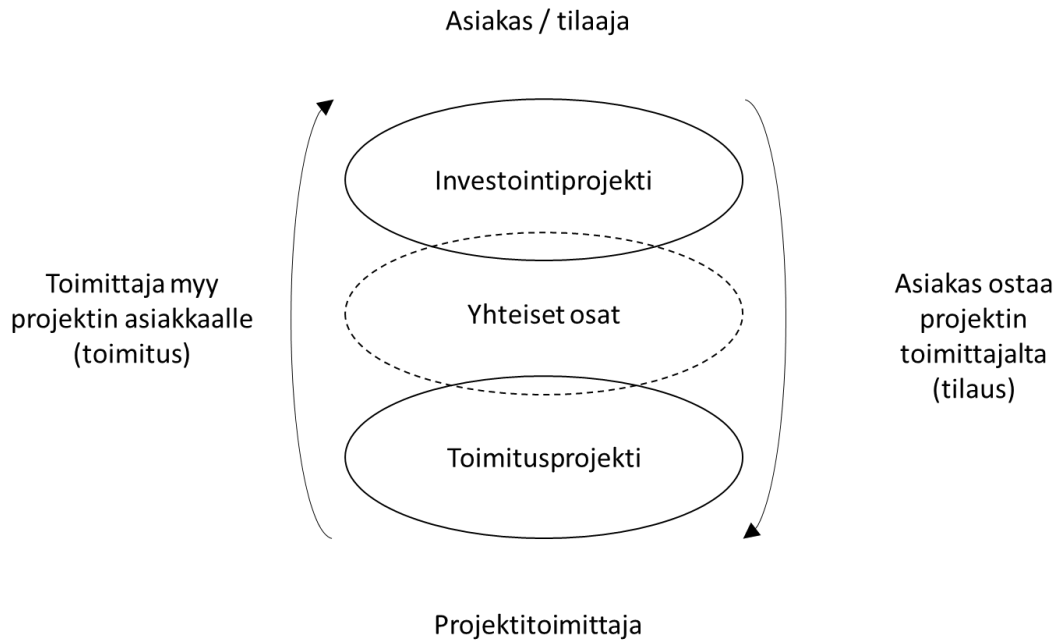
Munns et al. (1996) määritelmä projektista kuuluu seuraavasti:

”Projektin voidaan määritellä olevan määriteltyyn tavoitteeseen tähtäävä tuotos, jonka tuottamiseksi tulee toteuttaa tietyt resurssit kuluttavat toiminnot. Toiminnot tulee toteuttaa tietyssä järjestyksessä. Toteutuksen suoritukselle on ennalta määritelty alku ja loppu.”

Eri määrittelyistä voidaan havaita, että ne sisältävät aina tietyt yhteiset osat. Yhteistä kaikissa määrittelyissä on se, että projekti tähtää aina johonkin tiettyyn päämäärään, projektissa on määritelty suoritukselle aikajänne, sekä projekti koostuu toisistaan riippuvista tietyssä järjestyksessä toteutettavista tehtävistä. Ainoastaan Artto et al. (2008) korostaa projektin ainutkertaisuutta ja huomioi projektin kustannusnäkökulman. Näiden määritelmien avulla voidaan kuitenkin todeta, että projekti tähtää aina tiettyyn tavoitetilaan, johon pyritään ennalta määrättyjen tehtävien toteuttamisella. Projektilla on aina määritelty alku ja loppu, se on ajaltaan, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu, sekä jokainen projekti poikkeaa aina jotenkin edeltäjistään.

2.1.2 Tilaus-toimitusprojekti

Merkittävin projektityyppi tämän työn puitteissa on projektin tuotoksena toimitettava ratkaisu asiakkaalle eli *toimitusprojekti*. Toimitusprojekteista puhuttaessa on ymmärrettävä, että yhteiseen lopputulokseen tähtäävä projekti on samanaikaisesti sekä investointiprojekti että toimitusprojekti (Artto et al., 2008). Näkökulma riippuu siitä miten eri osapuolet sijoittuvat projektin toteutukseen. Tilanne on havainnollistettu kuvassa 3.

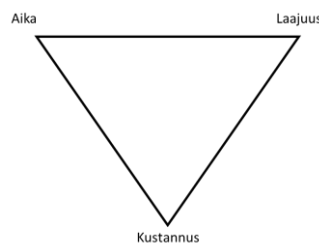


Kuva 3. *Toimitus- ja investointiprojektin välinen yhteys (mukaillen Artto et al., 2008).*

Kuva 3 kuvaa kuinka näkökulma projektin käsittelyyn riippuu siitä, tarkastellaanko tilannetta tilaajan- vai toimittajan näkökulmasta. Samaan lopputulokseen tähtäävä projekti on asiakkaalle investointiprojekti ja toimittajalle toimitusprojekti. Artto et al. (2008) kuvailee *toimitusprojektit* tuotannon ja liiketoiminnan välineiksi, joilla voidaan tuottaa arvoa asiakkaalle välittömän asiakkaalle räätälöidyn ratkaisun avulla.

2.1.3 Projektin tavoitteet

Projektiliiketoiminnassa toiminnan tulee palvella yrityksen strategiaa ja liiketoiminnallisia tavoitteita. Projektien tuotteena pyritään saamaan aikaan muutoksia lähtötilanteisiin asiakkoitaisten ratkaisujen avulla. Projektin toteutuksen tulee tuottaa hyötyä toimittajalle tietystä ajanhetkestä eteenpäin. Toimittajan näkökulmasta projektin tuottojen tulee olla projektin toteuttamiseen uppoavia kustannuksia suuremmat. Projektin tuottovaatimukset asettavat projektille aikataulurajoitteet ja budjetin. Projektin päämääränä olevan tuotteen, sekä aikataulu- ja budjettirajoitteiden avulla voidaan johtaa projektin kolme tavoitetta: laajuus, aika ja kustannus (Artto et al., 2008). Projektin tavoitteet ja niiden keskinäinen riippuvuus on kuvattu kuvassa 4.



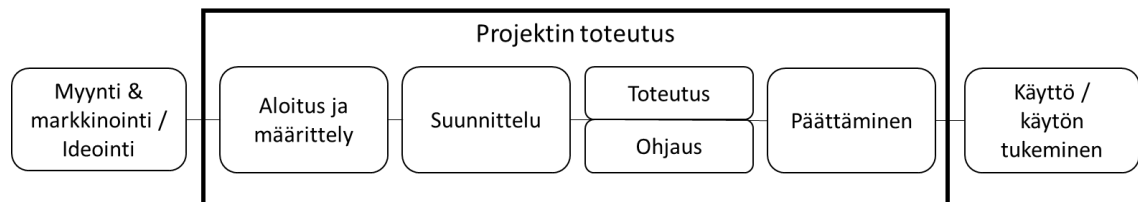
Kuva 4. *Projektin tavoitteet (mukaillen Artto et al., 2008).*

Projektin laajuus kuvastaa projektin tuloksena syntyvää tuotetta ja sen ominaisuuksia (Artto et al., 2008). Projektin kolmesta tavoitteesta *laajuustavoite* kuvaa suunnittelun ja määrittelyiden noudattamista. Projektin laajuustavoite kuvataan projektin tuotteena ja siihen spesifioituilla vaatimuksilla. Tuotteen spesifikaatiot määrittellään tuotteen fyysisinä tai toiminnallisina esityksinä, kuten tuoterakenteena. Laajuustavoitteella kuvataan siis tuotteen tekniset, toiminnalliset ja laadulliset ominaisuudet. *Aikatavoite* kuvaa nimensä mukaisesti projektin ajallista rajausta. Projekteilla on aikataulu, jonka puitteissa projektin tuotteen tulee olla valmis ja asiakkaan hyödynnettävissä. Projekti tulee toteuttaa sille määritetyssä budjetissa ja sitä kuvaa projektin *kustannustavoite*.

Projektin kolmen tavoitteen muodostama kolmio, kuvassa 4, kuvaa Artto et al. (2008) mukaan sitä, että kaikki projektin tavoitteet ovat toisistaan riippuvaisia ja sitä, että projektin lopputulos muodostuu kolmen tavoitteen yhteisvaikutuksesta. Esimerkiksi aikaa ei sellaisenaan voi lisätä, mutta yksittäisiä työvaiheita voidaan nopeuttaa lisäämällä niihin resursseja, mutta sillä on välitön vaikutus projektin kustannuksiin.

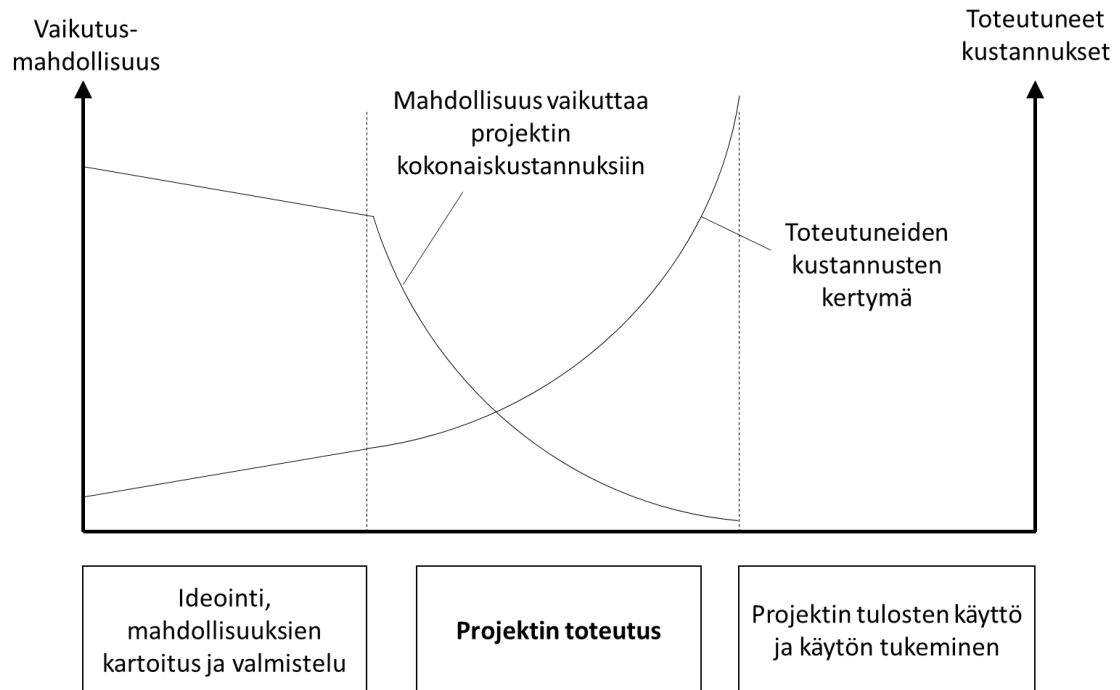
2.1.4 Projektin elinkaari

Projekti koostuu eri vaiheista, joita kutsutaan projektin elinkaaren vaiheiksi. Projektin elinkaaren vaiheet ovat Artto et al. (2008) mukaan a.) projektin markkinointi ja myynti / projektin ideointi, b.) aloitus ja määrittely c.) suunnittelu d.) toteutus ja ohjaus e.) päättäminen, sekä f.) käyttö ja käytön tukeminen. Projektin eri elinkaaren vaiheet on kuvattu kuvassa 5.



Kuva 5. Projektin elinkaaren vaiheet (mukailten Artto et al., 2008).

Projektin elinkaaren vaiheista voidaan tunnistaa kolme ylemmän tason kokonaisuutta: toteuttamista edeltävä vaihe, toteutusvaihe sekä toteutuksen jälkeiset vaiheet. Toimitusprojekteja toteutettaessa merkittävää on huomioida se, että ennen projektin toteutetusta myynti- ja ideointivaiheessa toteutettavat päätökset ratkaisuisista ja toteutuksesta sanelevat pitkälti projektin toteutuksessa tuotettavan tuotoksen sisällön (Artto et al., 2008). Kuvassa 6 on hahmoteltu, miten projektin kustannuksiin pystytään vaikuttamaan projektin elinkaaren eri vaiheissa ja missä vaiheessa projektin elinkaarta kustannukset todella realisoituvat.



Kuva 6. Mahdollisuus vaikuttaa projektin kustannuksiin, sekä projektin kustannusten muodostuminen projektin elinkaaren eri vaiheissa. (mukaillen Artto et al., 2008).

Kuvasta 6 voidaan havaita, että valtaosa projektin kustannuksista määräytyy jo projektin myynti ja ideointivaiheessa, vaikka kustannukset realisoituvatkin vasta projektin toteutusvaiheessa (Artto et al., 2008). Projektitoimittajan näkökulmasta suunnitteluratkaisujen ja tuotantoratkaisujen kustannusten huono tuntemus tai kustannusten aliarviointi tarjousvaiheessa ajaa toimittajan liian alhaiseen myyntihintaan ja tästä seuraa jo lähtökohtaisesti tappiollinen projekti. Kustannuksiin vaikuttamisen mahdollisuus pienenee projektin edetessä merkittävästi. Tämän vuoksi suunnittelu ja toteuttamisratkaisujen arvioinnin tulee olla laadukasta projektin valmisteluvaiheessa.

2.2 Rakentaminen on projektiliiketoimintaa

Nykyään projekteja ei käsitellä yrityksissä vain yksittäisinä kokonaisuuksina, vaan korostetaan useiden rinnakkaisten projektien toteuttamista, niiden hallintaa ja jatkuvaa projekteista oppimista. Projektit sidotaan osaksi yritysten laajempaa liiketoimintaympäristöä ja ne ovat yrityksille keino toteuttaa määritettyä strategiaansa. Artto et al. (2008) määrittelee projekteihin liittyvän johdetun ja tavoitteelliseen toiminnan, jolla tavoitellaan yrityksiä tavoitteiden toteutumista, *projektiliiketoiminnaksi*.

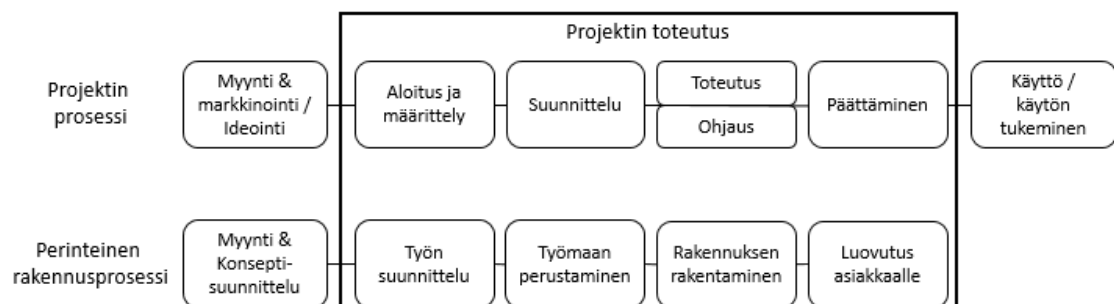
Rakentaminen on Junnonen et al. (2017) mukaan projektiliiketoimintaa ja se eroaa monella tapaa jatkuvasta tehdastuotannosta. Rakentamista leimaa hankkeiden ainutkertaisuus ja eri osapuolten korkea vaihtuvuusaste eri projektien välillä. Tuotteet suunnitellaan yksilöinä ja toteutusorganisaatiot muuttuvat, joten projekteista oppiminen

ja toiminnan toistaminen hankaloituvat. Peltonen et al. (1998) on listannut rakennusliiketoiminnan ja tehdastuotannon välisiä eroja ja ne on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakennustoiminnan ja tehdastuotannon välisiä erityispiirteitä (Peltonen & Kiiras, 1998).

Tehdastuotanto	Rakennustoiminta
Suunnittelun, tuotannon ja markkinoinnin päätäntävalta yksissä käsissä.	Päätäntä jakautunut rahoittajille, rakennuttajalle, suunnittelijoille, paikallisille viranomaisille ja urakoitsijoille.
Suunnittelu- ja tuotantotiimien sekä alihankkijoiden vaihtuvuus on melko vähäistä ja myös näiden välillä on yhteistyötä.	Suunnittelu- ja rakennustiimit kootaan jokaiseen hankkeeseen erikseen, eivätkä osapuolet ole tottuneet toimimaan yhdessä.
Toistuvuus ja standardointi ovat korkealla tasolla.	Jokainen hanke suunnitellaan erikseen.
Tyypillisen tuotteen tuottamiseen tarvitaan vähäinen määrä yksinkertaistettuja toimintoja.	Tyypillisen rakennusprojektin toteuttamiseen tarvitaan suuri määrä käsityötä. Toiminta on työvoimavaltaisempaa kuin tehdasteollisuus.
Kaikki toiminta suoritetaan yhdessä pysyvässä toimipaikassa.	Toiminta hajotettu useisiin tilapäisiin kohteisiin.
Lyhyet valmistusajat ja suuret tuotantosarjat mahdollistavat tuotteen jatkokehittelyn prototyyppien avulla.	Pitkä rakennusprosessi ja jokaisen hankkeen ainutkertaisuus vaikeuttavat saatujen kokemusten ja palautteen hyödyntämistä jatkossa.

Hairstans (2015) mukaan rakennusprojektin toteutusprosessi voidaan pilkkoa viiteen osakokonaisuuteen 1.) Myynti & konseptisuunnittelu, 2.) Työn suunnittelu, 3.) Työmaan perustaminen, 4.) Rakennuksen rakentaminen ja 5.) Luovutus asiakkaalle. Rakennusprojektin tuotantoprosessi on kuvattu kuvaan 7.



Kuva 7. Rakennusprojektin tuotantoprosessi mukailten Junnonen et al. (2017), Hairstans (2015) ja Artto et al. (2008).

Kuvasta 7 voidaan myös havaita, että rakennusprojektin vaiheet ovat yhtenevät edellä kuvatun Artto et al. (2008) mukaisen projektin elinkaaren vaiheiden prosessin kanssa.

2.3 Offsite-rakentaminen

Tässä kappaleessa esitellään offsite-toimintaan liittyvä terminologia ja määritellään offsite-rakentaminen. Tämän lisäksi kappaleessa esitellään kirjallisuudessa esiintyvät offsite-menetelmään liittyvät hyödyt ja haasteet.

2.3.1 Terminologia ja määritelmä

Offsite-rakentamiseen liittyvää terminologiaa ei ole vakioitu ja offsite-rakentamiseen liittyvässä kirjallisuudessa esiintyy poikkeavia termejä, joilla kuitenkin tarkoitetaan pitkälti samaa asiaa. Goodier et al. (2007) on tutkinut offsite-rakentamisen kirjallisuudessa esiintyvää terminologiaa ja he ovat koonneet yhteen käytettyjä termejä. Offsite-terminologia on esitelty taulukossa 2.

***Taulukko 2.** Kirjallisuudessa käytetyt Offsite-rakentamiseen viittaava terminologia (mukaillen Goodier & Gibb, 2007).*

Englanninkielinen termi	Lyhenne
Offsite production	OSP
Offsite fabrication	OSF
Offsite manufacturing	OSM
Offsite construction	OFC
Pre-assembly	-
Prefabrication	-

Terminologian vaihtelusta huolimatta voidaan havaita, että offsite-rakentaminen kuitenkin määritellään hyvin yksiselitteisesti:

- Blismas et al. (2006) mukaan offsite-rakentaminen voidaan määritellä rakennuksen keskeisten osakokonaisuuksien valmistamiseksi valmiiksi tehdasolosuhteissa ennen niiden toimitusta työmaalle.
- Goodier et al. (2007) määrittelee offsite-rakentamisen komponenttien, elementtien ja moduulien valmistamiseksi ja esikokoonpanemiseksi poissa työmaalta ennen niiden asentamista lopulliselle paikalleen.
- Boyd et al. (2013) määrittelee offsite-rakentamisen toiminnaksi, jossa rakennuksen eri moduulit rakennetaan tehdasolosuhteissa ajallisesti rinnakkain työmaalla toteutettavan perustustyön kanssa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tässä työssä käytettävällä offsite-rakentamiseen termillä tarkoitetaan rakennuksen komponenttien, elementtien ja moduulien rakentamista tehdasolosuhteissa, joista ne kuljetetaan myöhemmin lopulliseen asennuspaikkaansa. Kohdeyrityksen toiminnan voidaan katsoa olevan offsite-toimintaa, vaikkei tuotantoympäristö aina olekaan varsinainen tehdasympäristö vaan telakka. Telakan voidaan kuitenkin katsoa olevan paras mahdollinen tuotantoympäristö raskaiden teräslohkojen rakentamiseen, kokoonpanoon ja asentamiseen.

Offsite-rakentaminen voidaan jakaa neljään eri tasoon sen mukaan, miten pitkälle esivalmistetut komponentit, elementit ja moduulit ovat varusteltuja (Gibb, 2001). Neljä tasoa ovat 1.) komponenttien valmistus ja alikokoonpano, 2.) ei-volumetrinen alikokoonpano 3.) volumetrinen alikokoonpano, sekä 4.) Modulaariset rakennukset.

Komponenttien valmistuksella ja alikokoonpanolla tarkoitetaan kaikkia pienen mittakaavan alikokoonpanoja, jotka ovat olleet perinteisestikin aina tehdasolosuhteissa valmistettavia osakokonaisuuksia. Esimerkiksi talotekniset laitteistot ovat aina vaatineet valmistamista tehdasolosuhteissa (Gibb, 2001).

Ei-volumetrisella alikokoonpanolla tarkoitetaan tuotteita, jotka ovat valmistettu tehtaassa ennen työmaalle toimitusta. Nämä voivat sisältää useampia alikokoonpanoja ja muodostaa merkittäviä osia rakennuksen rakenteesta, mutta eivät muodosta kuitenkaan itsenäisinä tiloja rakennuksesta. Esimerkiksi kattotuolit ja seinäelementit ovat esimerkkejä ei-volumetrisesta kokoonpanosta (Gibb, 2001).

Volumetrinen alikokoonpano sisältää tehtaassa alikokoonpannut osakokonaisuudet, jotka muodostavat jo itsessään rakennukseen tilan. Nämä osakokonaisuudet sisältävät yleensä useita alikokoonpanoja, niillä on oma kantava rakenne ja lopullisessa asennuspaikassaan muodostavat merkittävän osan rakennuksen kokonaisuudesta. Nämä ovat tavallisesti jo tehdasolosuhteissa varusteltu pinnoiltaan ja kalusteiltaan valmiiksi. Esimerkki tällaisesta osakokonaisuudesta on rakennuksen sisälle asennettava wc- tai kylpyhuonemuoduli (Gibb, 2001).

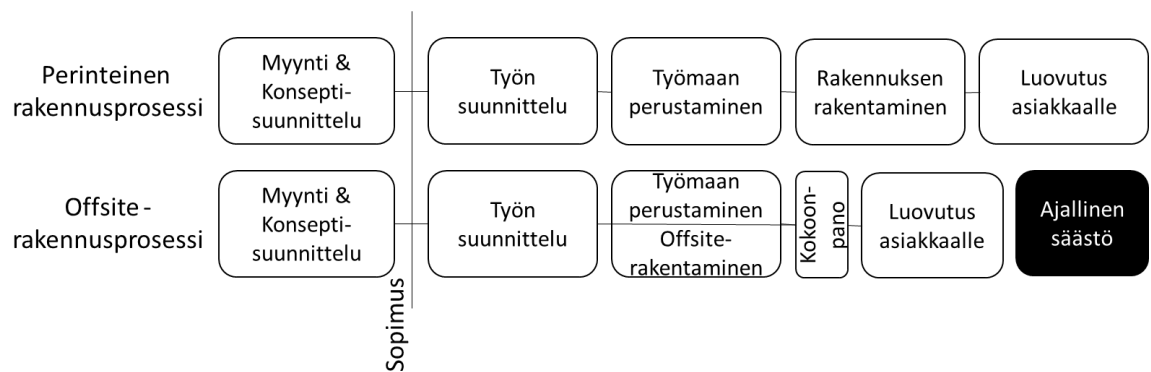
Modulaariset rakennukset ovat samankaltaisia kuin volumetriset alikokoonpanot, mutta modulaariset rakennukset muodostavat yhteen kokoonpantuina käytettävän tilan. Liitettävät moduulit ovat viimeistelytyötä (kuten moduulien välisiä liitospintoja) lukuun ottamatta valmiita käyttövalmiita tiloja. Esimerkkinä tällaisesta ovat itsekantavat modulaariset talot (Gibb, 2001).

2.3.2 Offsite-rakentamisen hyödyt

Offsite-rakentamisen hyötyjä on tutkittu laajasti eri tutkijoiden toimesta. Merkittävimpiä hyötyjä offsite-rakentamisessa verrattuna perinteisiin rakennusprojekteihin saavutetaan rakennusprosessin kestossa, tuotelaadussa, työolosuhteissa, työvoiman käytössä, sekä

työmaalogistiikassa. Näiden lisäksi offsite-mallilla voidaan saada myös etua rakennusprojektien rahoitukseen (Boyd et al., 2013).

Offsite-rakentamisella ollaan pystytty lyhentämään rakentamisprosessien kokonaiskesto merkittävästi, jossain tapauksissa jopa 50 - 60 prosenttia perinteiseen rakennusprosessiin verrattuna (Boyd et al., 2013). Rakennusprosessin nopeutuminen perustuu offsite-rakentamisen rinnakkaisiin prosesseihin. Offsite-rakentamisessa työmaan perustamisen ja rakennuksen perustusten tekemisen kanssa samaan aikaan pystytään tehdasolosuhteissa valmistamaan rakennuksen offsite-osia, esimerkiksi rakennusmoduuleja. Hairstans (2015) on havainnollistanut offsite-rakentamisen nopeutumista kuvan 8 avulla. Siinä havainnollistetaan, miten offsite-rakenteet voidaan valmistaa rinnakkain työmaan perustamisen kanssa ja tämän avulla voidaan lyhentää rakennusprosessin kokonaiskesto.



Kuva 8. Offsite-rakentamisen prosessi perinteiseen verrattuna. (mukaillen Hairstans, 2015).

Boyd et al. (2013) mukaan työmaan rakennusvaiheen kokonaiskeston lyhentymisen myös lyhentää rakennusprosessiin tarvittavien koneiden ja laitteiden käyttöaikoja ja näin niihin uppoavat kustannukset jäävät pienemmiksi. Tämän lisäksi nopeutunut prosessi vaikuttaa alentavasti projektin henkilöstö- ja työmaanvalvontakustannuksiin. Näillä voi olla merkittävä kustannusvaikutus projektin toteutukseen.

Offsite-rakentamisen merkittävänä piirteenä on se, että rakennusprojektin työmaavaihe on perinteistä mallia huomattavasti lyhyempi. Näin ollen rakennusprojektin vaikutukset työmaan ympäristölle ja ympärillä olevalle toiminnalle, kuten liikennejärjestelyille, ovat kevyemmät ja työmaa aiheuttaa vähemmän häiriötä välittömälle ympäristölle (Boyd et al., 2013).

Rakennusmoduulien rakentaminen tehdasolosuhteissa mahdollistaa helpomman ja systemaattisemman laadunvarmistustoiminnan työmaaolosuhteisiin verrattuna (Boyd et al., 2013). Näin ollen tehtaassa valmistetut kokoonpanot ovat laadultaan korkealuokkaisempia kuin paikallaanrakennetut rakenteet. Tämän lisäksi tehtaassa rakenteille voidaan asettaa korkeampia valmistustoleransseja sekä varmistaa luotettavasti

rakenteiden yhdenmukaisuus. Tehdasolosuhteissa voidaan rakenteiden valmistukseen käyttämään enemmän aputyökaluja, kuten hitsausjigettä, joka osaltaan vaikuttaa tuotelaatuun myönteisesti. Tehdasolosuhteissa myös testaaminen ennen työmaalle toimitusta on mahdollista.

Yhdeksi merkittäväksi offsite-rakentamisen eduksi on listattu työturvallisuuden parantuminen (Boyd et al., 2013). Tehtaassa työskentelypaikat voidaan rakentaa sellaiseksi, että työskentely on turvallisempaa ja työasennot ovat ergonomisempia. Lisäksi tehdasolosuhteissa voidaan työpisteet rakentaa siten, että oikeanlaiset työ- ja apuvälineet ovat aina läsnä työpisteen välittömässä läheisyydessä. Tämän lisäksi olemassa olevat työtaturmariskit ovat pienemmät, sillä moduulitehtaassa ei voi esimerkiksi pudota korkealta toisin kuin rakennustyömaalla. Lisäksi tehdasolosuhteissa ei työskennellä kerroksittain, joten tavaroiden putoaminen ei aiheuta vaaraa alla työskenteleville henkilöille.

Ympäristöolosuhteet eivät aiheuta tehdasolosuhteissa rajoitteita valmistamiselle, vaan työolosuhteet voidaan ympäristönkin puolesta pitää aina optimaalisena tiettyjen työvaiheiden toteuttamiselle. Ulkona rakentaminen vaatii paljon suojauksia, jotta jo asennetut rakenteet eivät vahingoittuisi sääolosuhteiden vuoksi. Esimerkiksi valaminen ja laatoitus vaativat tiettyä lämpötilaa, jota ei ulkona työskennellessä voida aina taata, toisin kuin tehdasolosuhteissa (Boyd et al., 2013).

Moduulitehdas voidaan sijoittaa siten, että se on helposti työvoiman saavutettavissa, jolloin työntekijöiden ei tarvitse seurata työmaan sijaintia, kuten perinteisessä rakennusmallissa. Näin työvoiman matka- ja asumiskustannukset vaihtuvien työmaiden takia jäävät pienemmiksi offsite-toiminnassa. Tehdasolosuhteissa suoritettava työ voidaan myös järjestää linjatyyppiseksi kokoonpanotyöksi. Tällä voidaan laskea työn vaatimusluokkaa, sillä kokoonpanotyö ei vaadi niin laajaa ammattitaitoa kuin isojen kokonaisuuksien rakentaminen, mikä osaltaan helpottaa sopivan henkilöstön löytämistä. Alempi vaadittava ammattitaitotaso ja työn vaativuusluokan lasku osaltaan madaltavat toiminnan henkilöstökustannuksia (Boyd et al., 2013).

Toisinaan rakenteita ja kokonaisrakennuksia joudutaan toimittamaan kohteisiin, joissa infrastruktuuri on erittäin alkeellinen, työvoimaa ei ole saatavissa tai työskentelyolosuhteet ovat muuten rajalliset tai huonot. Tällaisissa kohteissa koko rakentamisen infrastruktuurin rakentaminen, ammattitaitoisen henkilöstön hankkiminen ja ylläpito sekä lopulta paikallaan rakentaminen on vaikeaa, kallista ja joskus jopa mahdotonta. Offsite-toimintamalli tarjoaa kustannustehokkaan ratkaisun toimittaa vaativia rakenteita vaikeisiin olosuhteisiin kuitenkin laatuominaisuuksista tinkimättä (Boyd et al., 2013).

Materiaalienhallintaprosessi ja logistiikka voidaan järjestää tehdasolosuhteissa paremmaksi kuin työmaaolosuhteissa, joissa kaikki rakennelmat ovat yleensä

väliaikaisvarastoja. Tehdasolosuhteissa myös kestävän tuotannon periaatteet ovat paremmin toteutettavissa: materiaalinkäyttö saadaan tehtaassa tehokkaammaksi kuin paikallaan rakennettaessa ja materiaalien keräys ja kierrätys ovat helpommin toteutettavissa. Tämän lisäksi ympäristöön ajautuvat rakennusmateriaalit jäävät offsite-toimintamallia käytettäessä pienemmäksi ja näin ollen rakentamisen kuormitus ympäristölle on huomattavasti kevyempää tehdasolosuhteissa (Boyd et al., 2013).

Boyd et al. (2013) mukaan offsite-toimintamallia käyttämällä, pystytään parantamaan projektin rahoitusmallia. Perinteisen rakentamisen maksupostit on sidottu usein rakentamisen etenemisasteeseen, kun taas Offsite-rakentamisessa maksupostit on sidottu usein moduulien valmistumisen mukaan. Koska offsite-mallissa moduulien valmistus etenee nopeammin kuin perinteinen rakennusprosessi, projektin maksuposteja pystytään etupainoistamaan perinteiseen malliin verrattuna.

Goodier et al. (2007) on tutkimuksessaan selvittänyt miten rakennusalalla toimivat ammattilaiset tehtävissään kokevat offsite-rakentamisen hyödyt ja mitkä näistä hyödyistä on merkittävimpiä. Kyselytutkimuksessa toteutettiin Iso-Britanniassa yhteensä 75 tutkimustapahtumaa, joista 39 oli rakennushankkeiden toimeksiantajia, 13 urakoitsijoita sekä 23 oli offsite-toimittajia ja valmistajia. Yli 90 % vastaajista oli toteuttanut offsite-rakennustoimintaa aikaisemmin. Tutkimuksen tulokset on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. *Ammattiharjoittajien offsite-rakentamisesta koetut hyödyt (Goodier & Gibb, 2007).*

Hyöty	Toimeksiantajat	Urakoitsijat
	% - vastauksista	% - vastauksista
Lyhentynyt rakennusaika	87	92
Laadun paraneminen	79	77
Kehittyneempi rakennusprosessi	79	69
Tuotteiden yhdenmukaisuuden kasvu	77	54
Arvon lisääntyminen	51	23
Parantunut kestävä ajattelu	49	31
Pienemmät aloituskustannukset	44	15
Pienentyneet elinkaarikustannukset	41	15
Joustavuuden lisääntyminen	33	15
Kasvanut kustomoinnin mahdollisuus	33	0
Komponenttien käyttöiän kasvu	28	15
Muut	18	8

Taulukosta 3 voidaan havaita, että Goodier et al. (2007) tutkimuksessa merkittävimmäksi offsite-rakentamisen hyödyksi mainittiin lyhentynyt rakentamisaika. Tämä oli selkeästi tärkein ja yhtenevä hyöty niin toimeksiantajille (87 %) kuin urakoitsijoillekin (92 %). Toimeksiantajista seuraavaksi tärkeimmäksi nähtiin rakentamisen laadun parantuminen ja rakennusprosessin kehittyminen. Nämä edut olivat yhtä yleisiä vastauksissa (79 %). Laadun parantuminen nähtiin urakoitsijoiden toimesta hieman tärkeämpänä etuna (77 %)

kuin rakennusprosessin kehittyminen (69%). Tärkeänä hyötynä offsite-rakentamisessa koettiin myös tuotteiden yhdenmukaisuuden parantuminen, toimeksiantajat (77 %) ja urakoitsijat (54 %).

2.3.3 Offsite-rakentamisen haasteet:

Boyd et al. (2013) mukaan merkittävin este offsite-rakentamiseen siirtymisessä on moduulitehtaan perustamiseen vaadittava korkea pääoma. Hairstans (2015, p. 9) mukaan offsite-rakentamisen todetuista hyödyistä huolimatta moduulitehtaiden investointeihin vaaditaan tavallisesti kattavampia selvityksiä rahoituksen saamiseksi kuin perinteiseen rakennusteollisuuteen liittyviin investointeihin.

Goodier et al. (2007) on koonnut tutkimuksessaan taulukon 4 mukaiset tulokset offsite-rakentamisen käyttämiseksi koetuista haasteista ammattiharjoittajien parissa.

Taulukko 4. *Ammattiharjoittajien offsite-rakentamisesta näkemät esteet* (Goodier et al., 2007).

Este	Toimeksiantajat	Urakoitsijat
	% - vastauksista	% - vastauksista
Perinteistä rakennustapaa kalliimpi	67	77
Projektin aloituksen pidentynyt kesto	46	62
Asiakkaiden vastustus	38	31
Ohjeistuksen ja neuvonnan puute	33	46
Riskien kasvaminen	36	15
Vähäinen standardoinnin aste	33	23
Muu	31	15
Rakennustavan negatiivinen imago	28	46
Ei ole paikallisesti saatavilla	18	15
Ei aikaisempaa kokemusta	18	38
Rahoituksen saaminen	18	8
Ammattitaitoisen työvoiman puute	21	23
Huonompi laatu	13	15
Tiukat määräykset	13	31

Goodier et al. (2007) tutkimuksessa yleisimmin ilmentyneenä haasteena sekä toimeksiantajien (67 %), että urakoitsijoiden (77 %) kokemuksen mukaan on offsite-rakentamisen kalliimpi hinta perinteiseen rakentamiseen verrattuna. Toiseksi eniten esteeksi koettiin molempien ryhmien toimesta projektin aloittamisen pidentynyt kesto, toimeksiantajat 46 % ja urakoitsijat 62 %. Edellä kuvatut offsite-rakentamisen esteet koettiin merkittävästi useammin kuin muut esteet. Muita esille tulleita esteitä on asiakkaiden vastustus, ohjeistuksen ja neuvonnan puute, rakentamisen korkeammat riskit sekä standardoinnin matala taso (Goodier et al., 2007).

Goodier et al. (2007) on tutkimuksessaan havainnut, että ammattiharjoittajien mukaan merkittävin este offsite-rakentamisen käytölle on sen kalleus perinteiseen rakennustapaan verrattuna, toisaalta kuitenkin merkittävä osa vastaajista mainitsi pienentyneen

alkupääoman ja pienentyneet elinkaarikustannukset merkittäviksi hyödyiksi offsite-rakentamiselle. Goodier et al. (2007) mukaan tulisi tutkia taloudellisista lähtökohdista tarkemmin onko offsite vai perinteinen tapa rakentaa kokonaiskustannuksiltaan todella halvempi. Goodier et al. (2007) mukaan perinteisessä rakentamisessa ei huomioida esimerkiksi laatukustannuksia (kuten työn uudelleen tekemisen kustannuksia), samalla tavoin kuin tehdasoloissa valmistetuissa offsite-rakennuksissa voidaan huomioida.

Blismas et al. (2006) mukaan iso tekijä offsite-menetelmän vastustamiselle markkinoilla on sen huono tuntemus asiakkaiden ja urakoitsijoiden toimesta ja menetelmän todellista arvontuottokykyä ei ymmärretä. Offsite-rakentamiseen liittyviä päätöksiä tehdään usein myös olettamuksiin perustuen tarkkojen laskelmien sijasta.

Martinez et al. (2008) mukaan haasteena offsite-rakentamisen käytölle taulukon 4 lisäksi on pitkälle varusteltujen ja suhteellisten kookkaiden rakennusmoduulien kuljetuslogistiikan monimutkaisuus, kalleus ja vaikeus. Erikoiskuljetuksia vaativat kuljetukset kasvattavat kustannuksia, sillä ne vaativat kuljetukselta erityistä reittisuunnittelua ja liikennejärjestelyitä sekä erikoiskuljetuskaluston käyttö on tavanomaista kuljetuskalustoa kalliimpaa.

3. TOIMITUSPROJEKTIEIN TUOTANNONSUUNNITTELU

Kappaleessa 3 esitellään tuotannonsuunnittelun käsitteet, perusteoriat sekä tuotannonsuunnittelun merkitys toimitusprojektien onnistumiselle. Näiden lisäksi kappaleessa kuvataan tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen työkalut, joita toimitusprojektien toteuttamisessa voidaan soveltaa.

3.1 Toimitusprojektien tuotannonsuunnittelu

Kappaleessa 3.1 esitellään tuotannonsuunnittelun määritelmä, tuotannonsuunnittelun merkitys toimitusprojektien tavoitteiden onnistumiselle sekä esitellään tuotannonsuunnittelun kolmitasoinen hierarkkinen malli.

3.1.1 Tuotannonsuunnittelun perusteet

Tuotannonsuunnittelu määritellään toiminnaksi, jonka tarkoituksena on varmistaa toteutukseen vaadittujen materiaalien, työvoiman ja muiden tarvittavien resurssien saatavuus oikea-aikaisesti, oikeaan paikkaan ja oikean laatuksina (Law, 2016a).

Junnonen (2010) määrittelee tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen tehtävät seuraavasti:

- Asetettujen tavoitteiden ja vaatimusten toteuttamiseen tarvittavien keinojen suunnitteleminen
- Suunnitella tuotannollisten tekijöiden (työ, materiaalit, resurssit) mahdollisimman tehokas käyttö
- Tuotannollisten poikkeamien ennalta ehkäisy
- Poikkeamatapauksessa tehokkaasti palauttaa tuotanto suunnitelmaan takaisin.

Pitkälle räätälöityjen tuotteiden kysyntä on ollut jatkuvasti kasvavaa. Siitä huolimatta asiakkaat vaativat entistä nopeampia toimitusaikoja. Nopeista toimitusaikavaatimuksista huolimatta projekteista maksettava hinta ei ole kasvanut samassa suhteessa toimitusaikojen nopeuduttua, vaan markkinoilla on paine tuottaa räätälöityjä tuotteita saman suuruusluokan kustannuksilla kuin massaräätälöityjä tuotteita. Tällaiset vaatimukset vaativat tuotantoyrityksiltä edellytyksiä nopeaan ja halpaan tuotantoon, laadusta tinkimättä. (Tu et al., 2011)

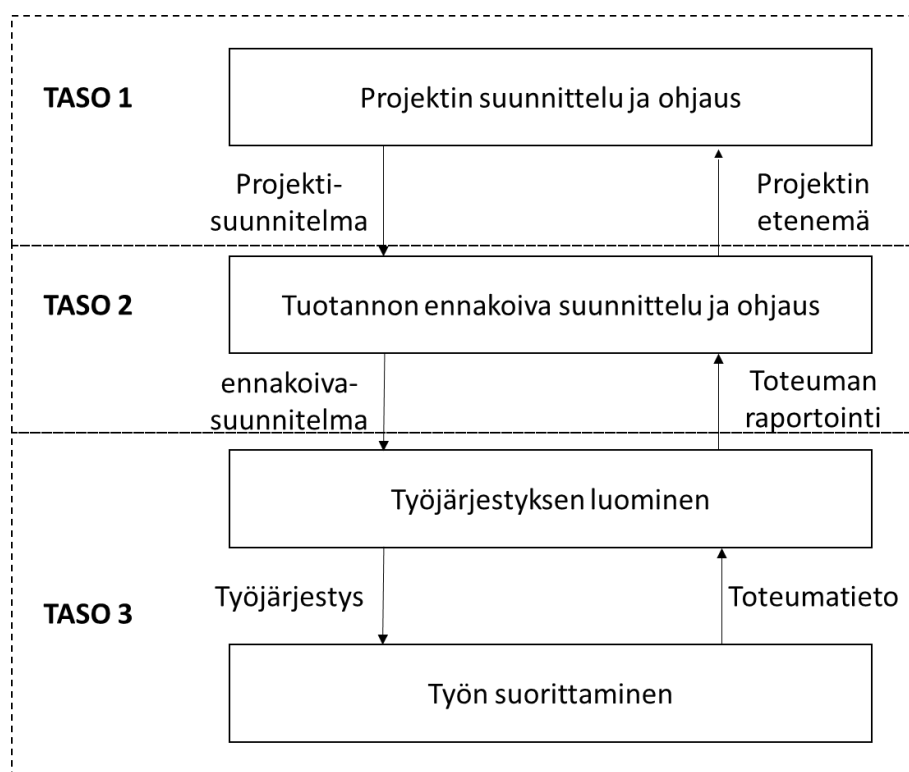
Tu et al. (2011) on määritellyt yrityksille, jotka valmistavat erittäin pitkälle räätälöityjä tuotteita yksittäisinä tai pieninä erinä, oman käsitteen, ”ainutkertainen tuotanto” (one-of-a-kind-production, (OKP)). Esimerkki tällaisesta yrityksestä Tu et al. (2011) mainitsee

risteilijöitä valmistavat telakat, jotka suunnittelevat ja valmistavat laivansa asiakaskohtaisesti räätälöitynä, yhteistyössä asiakkaan kanssa suunniteltuina täydellisesti asiakkaan tarpeisiin vastaten. Tällaiset yritykset eivät rajoitu pelkästään laivanrakennukseen, vaan kaikkiin yrityksiin, jotka toimivat samanlaisten periaatteiden mukaisesti. OKP-yritysten keskeisiin ominaispiirteisiin lukeutuvat korkea asiakaskohtainen räätälöinti, tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen suuri epävarmuus, monimutkaiset ja dynaamiset toimitusketjut, sekä dynaamiset tuotantojärjestelmät.

Zong et al. (2012), mukaan sellaisten yrityksiin, jotka suunnittelevat ja valmistavat tilauksesta pitkälle asiakaskohtaisesti räätälöityjä tuotteita, tuotantoa ei voi suunnitella ja ohjata samoilla periaatteilla kuin jatkuvaa tuotantotoimintaa harjoittavien yrityksiin tuotantoa. Perinteisen tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen periaatteet ja työkalut perustuvat kuukausittaisiin ennusteisiin ja tuotteiden erävalmistukseen. Jotta tuotantoa voidaan tehokkaasti suunnitella ja ohjata, tulee OKP-yrityksiin tuotannossa ratkaista seuraavat haasteet:

- Keskipitkän ja lyhyen aikavälin tuotannosuunnittelu ja -ohjaus on rajoitettu yhden projektisuunnitelman puitteisiin.
- Tuotantojärjestelmän eri työpisteet valmistavat lukuisia erilaisia välituotteita pienissä erissä. Näin ollen työpisteiden työkuormaa voidaan tasoittaa vain säätämällä eri tuotteiden kokonaismäärää sen sijasta, että ohjattaisiin tuotantoa mitoittamalla valmistuserien kokoa (esimerkiksi toisin kuin perinteisessä kanban-ohjauksessa).
- Tuotantoa on ohjattava tärkeimpien resurssien käyttöasteen mukaan, jotta kaikki resurssit saadaan mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön.
- Resurssien tasaamiseksi tulee löytää joustavuutta tuotteen valmistuksen vaiheistukseen, kuitenkin siten, että tuote etenee tuotannossa riittävällä nopeudella.

Zong et al. (2012) on esitellyt toimitusprojekteja toimittaville OKP-yrityksille hierarkkisen ohjausmallin, joka koostuu tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen kolmesta tasosta. Tasot ovat ylhäältä lähtien 1.) Projektin suunnittelu ja ohjaus - taso, 2.) tuotannon ennakoiva suunnittelu ja ohjaus - taso, sekä 3.) työjärjestys - taso. Hierarkkinen malli on esitelty kuvassa 9.



Kuva 9. Tuotannonsuunnittelun kolmitasoinen hierarkkinen malli (mukaillen Zong et al., 2012).

Zong et al. (2012) mukaan toimitusprojektien tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus perustuu pohjimmiltaan projektille luotuun projektisuunnitelmaan. Projektisuunnitelma lukitaan yleensä sopimuksen yhteydessä. Projektisuunnitelmassa määritellään projektin aikataulu ja tärkeimmät virstanpylväät, laajuus, sekä projektin hinta. Zong et al. (2012) mukaan tätä tuotannonsuunnittelun tasoa kuvaa taso 1. Projektisuunnitelma on projektin korkeimman tason suunnittelua ja sen suunnitteluhorisontti on aina useista kuukausista vuosiin projektin laajuudesta riippuen. Projektin suunnittelua ja ohjausta toteutetaan perinteisen projektinhallinnan työkaluin. Tämän tason suunnittelua käytetään erityisesti yleisjohdon käyttöön, tilaajan informointiin, sekä rahoituksen hallintaan.

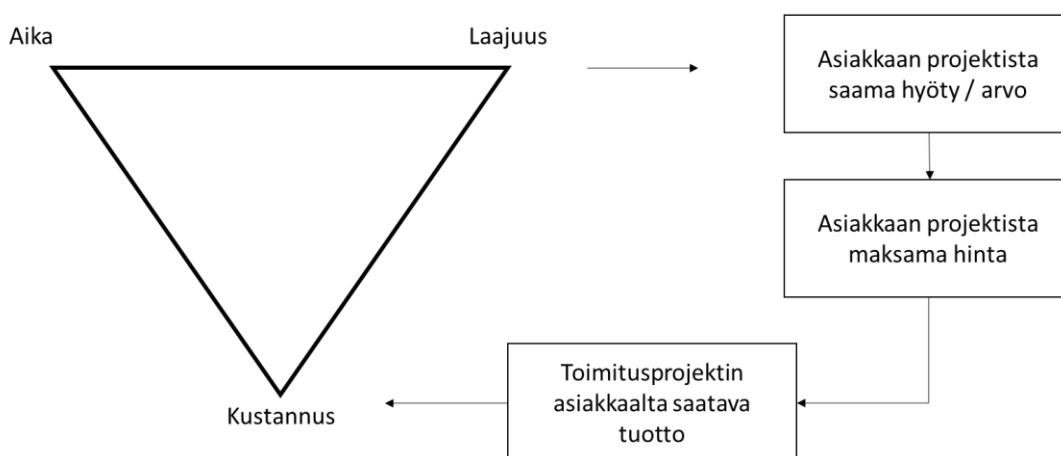
Tasoon 2, tuotannon ennakoivaan suunnitteluun ja ohjaukseen, sisältyy projektin keskipitkän aikavälin tuotannonsuunnittelu. Tämän tason ennakoivan suunnittelun horisontti on muutamasta viikosta kuukauteen. Ennakoivaa keskipitkän suunnittelua toteutetaan, koska projektien tuotanto aloitetaan ennen kuin koko projektin tuotesuunnittelu on valmis, eikä koko tuotteelle pystytä toteuttamaan tuotantosuunnitelmaa ennen tuotannon aloittamista. Näin ollen suunnittelua tarkennetaan sitä mukaan kuin projektiin liittyvät suunnitelmat tarkentuvat. Tason 2 ennakoiva suunnittelu luo myös raamit lyhyemmän aikavälin suunnittelulle ja työnohjaukselle (Zong et al., 2012).

Työjärjestystaso eli taso 3 sisältää lyhyen aikavälin tuotannonsuunnittelun aina viikkotasolta päivätason työjärjestykseen asti. Tason 3 suunnitelmat perustuvat

ennakoivaan suunnitelmaan ja siinä määritettyyn etenemistarpeeseen. Resurssit sopeutetaan hienokuormituksella näihin etenemistavoitteisiin. Taso 3 pitää sisällään myös työn suorittamisen toimeenpanon ja vastaavasti työn toteuman seurannan. Raportointi tasolta 3 johdetaan takaisin ylöspäin tason 2 kautta tasolle 1, jossa toteumatietoa jalostetaan eri tasojen tarpeisiin (Zong *et al.*, 2012).

3.1.2 Tuotannosuunnittelun merkitys projektin tavoitteisiin

Liiketoiminnalle asetetaan aina tuottotavoitteita. Ainoastaan tuloksellinen toiminta mahdollistaa kilpailukykyisten palkkojen maksamisen, kilpailukykyisten sopimusten neuvottelemisen toimittajien kanssa ja voiton maksamisen rahoittajille, sekä omistajilleen (Suomala *et al.*, 2011). Projektin kolmesta tavoitteesta kustannustavoite sisältää suoraan liiketoimintaan linkitetyn tuottotavoitteen. Toimitusprojektin vastaanottajana asiakas maksaa toimitusprojektin tuloksena syntyvästä tuotteesta kokemansa arvon verran rahaa, joka muodostaa toimitusprojektin hinnan. Toisaalta toimitusprojektin toimittaminen vaatii kustannuksia sen valmistavalta projektitoimittajalta. Kustannusten ja asiakkaan maksaman hinnan erotus on projektin toimittajalle jäävä kate. Projektin kustannusarviota laatiessaan toimittajan tulee huomioida budjettiin myös tietty tuotto-odotus (Artto *et al.*, 2008). Kuvassa 10 on kuvattuna asiakkaan arvon ja näin ollen tuotteesta maksamansa hinnan, sekä kustannustavoitteen välistä yhteyttä.



Kuva 10. Projektin tavoitteiden, asiakkaan maksaman hinnan, sekä saadun tuoton välinen yhteys (mukaiillen Artto *et al.*, 2008).

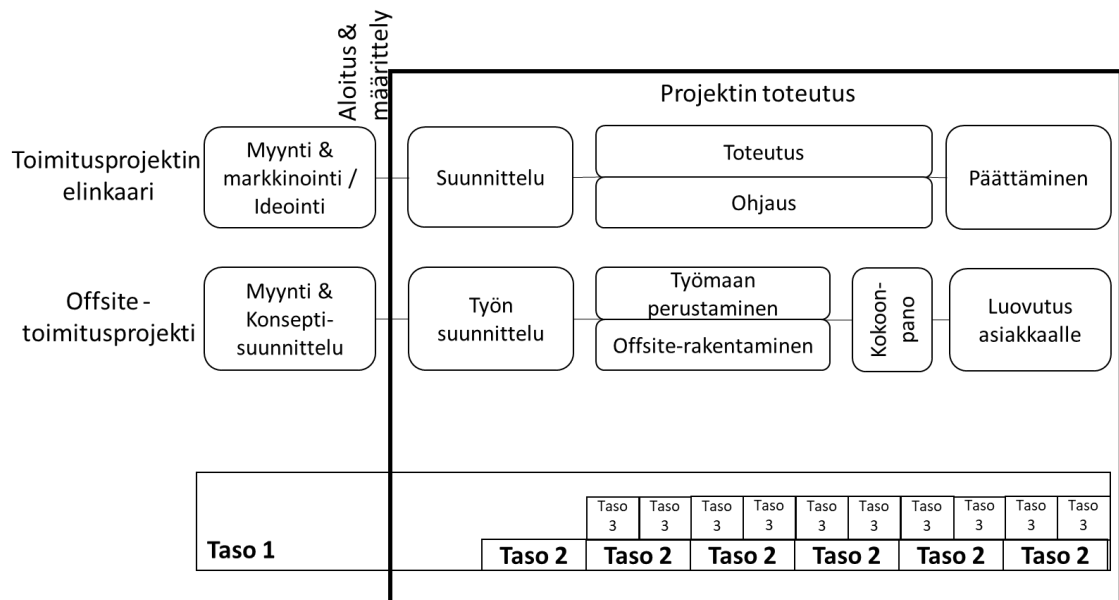
Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus luovat rakennusprojektille edellytykset tavoitteiden saavuttamiselle. Tuotannosuunnittelun keskeisin osa on projektin ajallinen suunnittelu ja ohjaaminen, joka perustuu projektin työnositukseen. Ajallinen suunnittelu luo pohjan muulle suunnittelulle ja paljastaa tehokkaasti suunnitelmien epäkohdat, sekä suunnitelmista poikkeamisen (Koskenvesa *et al.*, 2015). Tuotannosuunnittelulla pyritään osaltaan varmistamaan, että projektin toimitus sujuu mahdollisimman sujuvasti ja

kustannustehokkaasti tuotannon näkökulmasta sekä näin maksimoimaan projektin tuotto toimittavalle yritykselle.

3.1.3 Tuotannosuunnittelun elinkaari ja tasot

Edellä kuvattu Hairstans (2015) mukainen offsite-rakentamisen prosessi on pääosiltaan yhtenevä Artto et al. (2008) mukaisen projektin elinkaaren prosessin kanssa. Tämä on kuvattu kuvaan 11. Kuvassa 11 on myös kuvattu miten Zong et al. (2012) mukaiset tuotannosuunnittelun tasot sijoittuvat projektin toteutuksen eri vaiheisiin.

Offsite-prosessin *työn suunnittelu* on analoginen vaihe toimitusprojektin *suunnittelun* kanssa, *työmaan perustaminen*, *offsite-rakentaminen* ja *kokoonpano* ovat analogiset toimitusprojektin *toteutuksen* ja *ohjauksen* kanssa, sekä *luovutus asiakkaalle* on yhtenevä projektin *päättämisen* kanssa.



Kuva 11. *Offsite-toimitusprojektin yhteys toimitusprojektin elinkaaren vaiheisiin ja tuotannosuunnittelun tasoihin.*

Projektin suunnitteluvaihe on projektin määrittelevä vaihe. Siinä projektin toimittaja sopii projektin tavoitteet, sisällön, toteutustavat, resurssit, sekä muut projektin toteutukseen liittyvät yksityiskohdat yhdessä asiakkaan ja muiden vaadittavien sidosryhmien kanssa (Artto et al., 2008).

Kuva 11 havainnollistaa, miten tuotannosuunnittelun kolme tasoa (Zong et al., 2012) sijoittuvat toimitusprojektin elinkaaren eri vaiheisiin.

3.2 Projektisuunnittelun taso (Taso 1)

Projektin suunnittelua toteutetaan usein osana myyntityötä ja usein suunnitteluun tässä vaiheessa sisällytetään projektin tekniset ja taloudelliset toteutettavuusanalyysit. Projektin suunnittelutyön tuotoksena syntyy projektille varsinainen *projektisuunnitelma*. Projektisuunnitelma toimii projektin elinkaaren ajan keskeisenä projektin ohjenuorana, sillä siinä kuvataan projektin sisältö, tavoitteet, tehtävä työ, ohjeistetaan toimintatavat, sekä johtamisperiaatteet. Projektisuunnitelma tulee optimaalisessa tilanteessa laatia yhdessä asiakkaan ja merkittävimpien sidosryhmien kanssa. Tällä tavoin projektisuunnitelmaa voidaan osaltaan käyttää apuna projektiryhmän vastuiden viestimiseen, sekä sidosryhmien sitouttamiseen yhteisiin tavoitteisiin (Artto et al., 2008).

Projektisuunnitelma ei ole kerralla valmis raportti, vaan se tarkentuu projektin suunnittelun edetessä. Ensimmäiset karkeat versiot projektisuunnitelmasta toteutetaan myyntivaiheessa osana projektista tehtävää tarjousta. Tarjouksen myötä neuvotellaan projektille toimitusaikataulu, myyntihinta, veloituseriaatteet, sekä projektiin kuuluva toimituslaajuus. Projektin suunnittelun edetessä näitä sopimuksen osana luotavia suunnitelmia tarkennetaan varsinaisen toimitusprojektin tuotteen suunnittelun myötä. Lisäksi projektin toteutuksen edetessä toteumaa seurataan ja projektisuunnitelmaa päivitetään toteuman mukaan. Projektisuunnitelma toimiikin näin myös osana projektin viestintää (Artto et al., 2008).

Artto et al. (2008) ehdottaa projektisuunnitelmaan kahtatoista sisältöaluetta, jotka ovat 1.) tausta ja hyödyt, 2.) päämäärä ja tavoitteet, 3.) riskienhallinta, 4.) projektiorganisaatio ja -vastuut, 5.) laajuuden hallinta, 6.) työn ositus, 7.) aikataulun hallinta, 8.) resurssien hallinta, 9.) hankintojen hallinta, 10.) budjetti ja kustannustenhallinta 11.) raportointi ja viestintä, sekä 12.) täydentävät osiot ja liitteet. Tämän työn kannalta näistä aihealueista keskeisimpiä sisältöalueita ovat *laajuudenhallinta, työn ositus, aikataulun hallinta, sekä resurssien hallinta*.

3.2.1 Tuoterakenne ja työn ositus

Projektin laajuudenhallinnan tarkoituksena on varmistaa, että projektin tuotoksena syntyvä tuote täyttää määritellyt kriteerit. Tuotannonsuunnittelun kannalta laajuuden hallinnassa on tärkeää, että tuotteelle määritetyt vaatimukset tulee projektin edetessä toteutettua mahdollisimman tehokkaasti organisoituna ilman ylimääräistä työtä tai unohduksia sekä ajallisesti tehokkaasti toteutettuna (Artto et al., 2008).

Projektin laajuus esitetään teknisten ja toiminnallisten suunnitelmien ja vaatimusmäärittelyiden avulla. Alkuperäiset tekniset suunnitelmat tarkentuvat projektin tuotteen suunnittelun myötä. Tarkentuvien suunnitelmien vuoksi laajuuden hallinnan yhteydessä tulee kuvata toimintamallit muutosten hallintaan (Artto et al., 2008).

Laajuuden hallitsemiseksi projekti tulee pilkkoa pienempiin osakokonaisuuksiin. Osakokonaisuuksien avulla kokonaisuutta pystytään hallitsemaan paremmin. Projektin jakamisessa osakokonaisuuksiin Artto et al. (2008) puhuu *tuoterakenteen* (englanniksi Product Breakdown Structure, PBS) laatimisesta. Tuoterakenteessa tuote jaetaan osiin hierarkkisesti ylhäältä alas, alkaen projektin tuotoksesta ja jatkuen tarvittaessa aina komponenttitasolle saakka. Tuoterakenne havainnollistaa lopputuotteen laajuutta, mutta ei ota kantaa projektin vaatimaan kokonaistyöhön. Tuoterakenne toimii lähtökohtana projektin myöhempään tuotannosuunnitteluun ja työn määrittelyyn. Tuoterakenteen laatiminen tulee aloittaa jo myyntivaiheessa ensimmäisiä tuoteluonnoksia laatiessa, jotta työn laajuutta pystyttäisiin hahmottamaan mahdollisimman aikaisesta vaiheesta alkaen.

Projektin toteuttamiseen vaadittavan työn suunnittelemiseksi tulee projektille toteuttaa *työn ositus* (englanniksi Work Breakdown Structure, WBS). Työn osituksessa esitetään projektin tuotokseen vaadittavat työtehtävät tuoterakenteen jatkeena. Työn ositus jaetaan työpaketeiksi projektin tuotoksen toteuttamiseksi. Työn ositusta voidaan aloittaa määrittelemään, kun projektin tuotoksen suunnitelmat ja tuoterakenne alkavat muodostua. Työpaketit voidaan projektien edetessä pilkkoa pienemmiksi osiksi aina tehtävätasolle saakka. Työrakenteen luomisessa tärkeää on Artto et al. (2008) mukaan, että osakokonaisuudet ovat:

1. *Hallittavia*, niille tulee pystyä kohdistamaan vastuuhenkilöt tai -organisaatiot.
2. *Toisistaan riippumattomia*, rajapinnat tulee pitää mahdollisimman yksinkertaisina.
3. *Kokonaisuuden kannalta olennaisia*, kokonaisuuden on hahmotuttava osiensa summana.
4. *Mitattavia*, työvaiheiden etenemistä pitää pystyä seuramaan.

Työn ositus on projektin keskeisimpiä työvälineitä, sillä se luo pohjan kaikkien muiden osa-alueiden suunnitteluun (Artto et al., 2008), kuten:

- Projektin laajuuden varmistamiseen
- Projektin ja osaprojektien toteutuksen suunnitteluun ja etenemän raportointiin
- Budjetointiin, kustannusten ohjaukseen sekä kustannusten raportointiin
- Aika- ja resurssitarpeiden määrittämiseen ja niiden seuraamiseen
- Projektin tavoitteiden ja resurssien yhteensovittamiseen
- Projektin seurantaan ja sidosryhmäverkoston luomiseen
- Vastuiden kohdistamiseen
- Rahoituksen ja sopimusten suunnitteluun

Junnonen *et al.* (2017) mukaan rakennusprojektin tuoterakenteen ja työn osittelun tavoitteena on a.) projektin jakaminen hallittaviin osakokonaisuuksiin ja vastuualueisiin, b.) projektin yleisaikataulun jakaminen osa-aikatauluiksi ajallisen ohjauksen mahdollistamiseksi, c.) luoda pohja projektin kustannusten ohjaamiselle ja kustannusten

valvonnalle sekä d.) määrittää projektille riittävät resurssit ja e.) muodostaa projektin eri osien välille hierarkkinen yhteys.

Projektin osittelu tulee toteuttaa projektin sisällön ja läpiviennin mallintamiseksi (Junnonen et al., 2017). Osittelu kokonaisuudessaan kuvaa koko projektin, mutta se myös nivoo yhteen sen, miten tuotteen eri osakokonaisuudet liittyvät toisiinsa niin teknisesti, toiminnallisuudeltaan, aikatauluiltaan, kustannuksiltaan kuin myös vastualueiltaan.

Työn osituksen tärkeys korostuu myös siinä, että projektin ositukseen jääneet puutteet heijastuvat kaikkialle projektiin. Toisaalta osituksen onnistumisella on vastakkainen positiivinen vaikutus (Arto et al., 2008). Työn ositus tulee toteuttaa ylhäältä alaspäin eli liikkeelle lähdetään projektin yleisestä tuotteesta ja sitä tarkennetaan alaspäin aina yksityiskohtaisiin työtehtäviin asti.

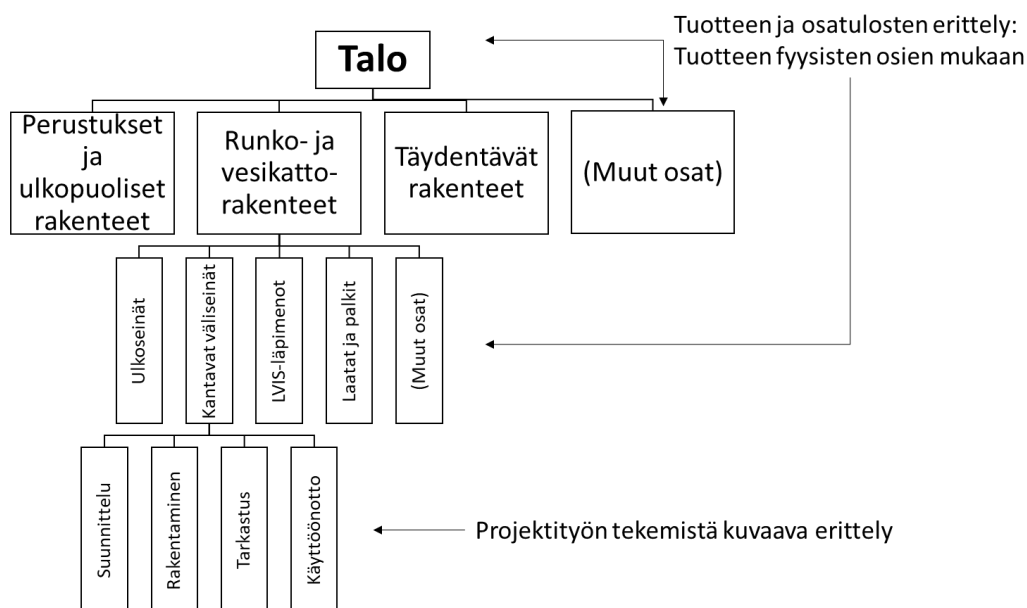
Ositusperiaatteet

Arto *et al.* (2008) mukaan projektin ositus riippuen projektityypistä voidaan toteuttaa neljän erilaisen ositusperiaatteen avulla. Nämä ositusperiaatteet ovat:

1. Tuotteen ja osatulojen ositus.
2. Projektityön tekemistä kuvaava ositus.
3. Maantieteellinen ositus.
4. Osastokohtainen ositus.

Tuotteen ja osatulojen osituksessa tuote jaetaan fyysisiin ja toiminnallisiin osiinsa. Tällaisessa erittelyssä tyypillistä on, että eri osat ilmaistaan substantiivilla, esimerkiksi perustukset, runkorakenteet, sähköjärjestelmät. *Projektityön tekemistä kuvaavassa osituksessa* projekti jaetaan osiin tekemisten ja tehtävien perusteella. Tällaisessa erittelytavassa on tyypillistä, että eri osat kuvataan verbein, esimerkiksi kantavien rakenteiden asentaminen tai automaatiojärjestelmän käyttöönotto.

Maantieteellisessä osittelussa projekti jaetaan niiden alueiden perusteella, jossa tehtäviä toteutetaan. Esimerkki tällaisesta on kansainvälinen tuotekehitysprojekti, jota toteutetaan useissa eri paikoissa. Alueellinen jako muodostaa kuitenkin vasta hierarkian ylemmät tasot, jonka jälkeen projektia on vielä jaettava kahden edeltävän periaatteen mukaisesti, jotta kokonaisuus todella on ositeltu ja hallittavissa. *Osastokohtaisen osittelun* ajatuksena on jakaa projekti yrityksen sisällä osastokohtaisiin vastualueisiin. Tämä vastaa maantieteellistä erittelyä ja näin ollen myös osastokohtainen erittely vaatii lisäositusta osatulojen osituksen ja projektityön tekemistä kuvaavien ositusten muodossa (Arto et al., 2008).



Kuva 12. Projektin osittelu tuotteen ja osatulojen erittelyn ja projektityön tekemistä kuvaavan erittelyn avulla (mukaillen Artto et al., 2008).

Kuvassa 12 on esimerkki talonrakennusprojektin osittelusta, jossa on käytetty apuna tuotteen ja osatulojen ositusta, sekä projektityön tekemistä kuvaavaa ositusta. Esimerkissä on kuvattu eri tehtäväkokonaisuuksia, jotka muodostavat itsessään *työpaketteja* (Artto et al., 2008).

Junnonen et al. (2017) kuvaa rakennusprojektin ositusta toiminnaksi, jossa samat asiat kuvataan monelta eri näkökulmalta. Junnonen et al. (2017) mukaan rakennusprojekti voidaan jakaa osiin seitsemän erittelyperiaatteen mukaisesti:

1. Rakenteellinen osittelu.
2. Tuotannollinen osittelu.
3. Sijainnin mukainen osittelu.
4. Hankintaosittelu.
5. Vastuualueosittelu.
6. Kustannusosittelu.
7. Vaiheittainen osittelu.

Rakenteellisessa osittelussa kuvataan rakennuksen fyysiset rakenteet, osat tai järjestelmät. *Tuotannollisessa osittelussa* kuvataan rakennusprojektin valmistus erilaisina tehtäväluetteloina, tuoterakenteina ja työpaketteina. *Sijainnin mukaisessa osittelussa* projektin tuote jaetaan tuotantolohkoihin ja niiden avulla osa- ja työkohteisiin. *Hankintaosittelulla* kuvataan projektille vaadittavien suunnittelu-, materiaali-, tarvike- ja työpanoksien hankintakokonaisuuksien yhdistelmät. *Vastuualueosittelulla* kuvataan projektin organisaatioiden ja eri henkilöiden vastuualueet. *Kustannusosittelun* avulla

kuvataan kustannuspaikat, joiden avulla voidaan ohjata kertyviä kustannuksia. *Vaiheittaisen osittelun* avulla kuvataan projektin vaiheet ajallisen etenemän mukaisesti ja näiden eri vaiheiden väliset riippuvuudet.

Koskenvesa et al. (2015) mukaan suomalaisessa rakennusteollisuudessa käytetään tyypillisesti rakennusprojektien ositteluun *lohkojako*. Lohkot ovat rakennuskohteen fyysisiä osakokonaisuuksia, esimerkiksi erillinen rakennus tai osa rakennuksesta, joissa siihen kohdistetut työt toteutetaan valmiiksi yhtenä kokonaisuutena. Työkohteet ovat lohkojen osia, joissa toteutetaan yhtä ainoaa työkohteen sitovaa työtehtävää kerrallaan.

Lohkojen määrittelyyn käytetään rajapintoja, jotka eroavat toisistaan tuotantoteknisiltä ratkaisuiltaan, suunnitteluratkaisuiltaan, fyysiseltä sijainniltaan tai sitten kerroksien osalta. Tyypillisinä lohkorajapintoina käytetään moduulilinjoja, sekä työ- ja liikuntasauvoja. Lohkojaon avulla pyritään rakennusajan lyhenemiseen. Kun edelliset työvaiheet saadaan lohkoissa valmiiksi, voidaan siellä aloittaa jo seuraava työvaihe, eikä tarvitse odottaa edellisen työvaiheen valmistumista kaikkialla rakennuksessa (Koskenvesa et al, 2015).

Tehtävien määrittely

Hierarkkisesti rakennettu työn ositusrakenne, WBS, muodostaa projektin ylemmälle tasolle ensin *työpaketteja*, jonka jälkeen ne tarkentuvat konkreettisiksi työtä kuvaaviksi *tehtäviksi*. Työpaketit ovat ylemmän tason kokonaisuuksia, jotka koostuvat useista eri tehtävistä. Tehtävät toimivat myös aikataulua laadittaessa elementteinä, joiden kestoja ja niihin vaadittavia resursseja määritellään. Projektin toteutuksen aikainen ohjaus ja toteuman seuranta tapahtuvat usein tehtävätasolla. Työpakettien muodostaminen tapahtuu silmällä pitäen osakokonaisuuksien valmistus- ja hankintavastuiden jakamista. Työpakettien tulee myös palvella tavoitteiden asettamista, toteuman seuranta, sekä projektin raportointia. Työpakettien vastuu tulee pystyä siirtämään eri henkilöiden, osastojen tai alihankkijoiden vastuulle. Näin ollen työpaketin määrittelyssä on vähintäänkin ilmaistava työpaketilta odotettava tulos. Vastuunsiirron yhteydessä työpaketilta odotettava tuotos on kyettävä ilmaisemaan, niin selkeästi ettei mitään jää toteuttamatta (Artto et al., 2008).

Yleensä työpakettiin kuuluvia tehtäviä tai niiden tuloksia ei pystytä kuvaamaan projektin alussa kovinkaan tarkasti keskeneräisen tuotesuunnittelun takia, vaan työpaketin lopullinen vastuuhenkilö tarkentaa työpaketin tehtävien ja niiden tulosten sisällöt oman suunnittelutyönsä puitteissa. Myöskään yksittäisten tehtävien etenemää ei yleensä tarvitse seurata koko projektin tasolla, vaan riittää, että työpaketin toteuma tunnetaan. Alemmalla tasolla työpakettia voidaan kuitenkin ohjata ja seurata tehtävä-, resurssi- ja aikataulumielessä kuten kokonaisprojektiakin.

3.2.2 Aikataulun hallinta

Aikataulusuunnittelun tarkoituksena on varmistaa projektin toteutettavuus sovitussa aikataulussa. Aikataulusuunnittelu on vahvasti sidoksissa työn osituksen kanssa. Osituksen lisäksi aikataulujen hallinta perustuu tehtävien keskinäisten riippuvuuksien, työpakettien ja tehtävien kestojen tuntemiseen. Nämä kaikki luovat edellytykset aikataulun ohjaukselle (Artto et al., 2008). Lisäksi aikataulutus linkittyy vahvasti *resurssien hallintaan*, sillä resurssien määrä, oikea aikainen saatavuus, sekä resurssien riittävyys ovat keskeisiä tekijöitä aikataulun toteutumisen kannalta.

Luotettavan kokonaisaikataulun luomiseksi vaaditaan työpakettien ja niiden tehtävien yksityiskohtainen määrittäminen, tiedot tehtävien kestoista, sekä toteutettavien työtehtävien järjestyksen tunteminen. Lopulta aikataulu on kuitenkin aina arvio ja arviointi päättyy lopulta asetettuun aikataulutavoitteeseen (Artto et al., 2008).

Artto et al. (2008) mukaan aikataulusuunnittelulle on kaksi lähtökohtaista perustumistapaa: 1.) yksityiskohdista kokonaisaikatauluun ja 2.) tavoiteaikataulusta yksityiskohtiin. Ensimmäisessä tapauksessa aikataulu lasketaan yksittäisten tehtävien ja työpakettien keston avulla ja niihin perustuen luodaan projektille kokonaisaikataulu ja luotettava aikataulutavoite. Tapauksessa kaksi projektin vaiheille ja työpaketeille määritetään tavoiteaikataulut ja niiden resurssit suunnitellaan siten, että projekti toteutuu aikataulussa. Aikataulusuunnittelu perustuu projektille määritettyihin tavoitteisiin, työn ositukseen, sekä tehtävien määrittämiseen. Ensimmäiset versiot ovat aina karkeita versioita, joita täsmennetään suunnitelmien tarkentuessa. Lopulta aikataululle tulee suorittaa toteutettavuuden arviointi, että projekti on aikataulullaan myös kustannuksiltaan ja resursseiltaan kannattavasti suoritettava projekti. Projektin reaalisuuden tarkastuksen jälkeen projektille voidaan asettaa todellinen aikataulutavoite, joka jäädytetään ja sovitetaan muihin tavoitteisiin.

Yleisaikataulusuunnittelu

Aikataulusuunnittelun ensimmäisessä vaiheessa luodaan projektille yleisaikataulu. Yleisaikataulusuunnitelman avulla kuvataan koko projektin tuotannon suunniteltu työjärjestys vähintään työpaketteina ja niiden välinen työnkulku (Koskenvesa et al., 2015). Yleisaikataulussa mitoitetaan tuotannossa tarvittavat pääresurssit ja näin ollen se luo pohjan tarvittavan työvoiman mitoittamiselle, kalusto- ja työmaaympäristövaatimuksille, sekä hankinnalle. Yleisaikataulu luo myös raamit alemman tason aikatauluille kuten rakentamisvaihe aikatauluille ja viikkosuunnitelmille.

Yleisaikataululla on kolme eroavaa muotoa, jotka eroavat keskenään laadinta-ajankohdaltaan, sisällön tarkkuudeltaan ja käyttötarkoitukseltaan. Nämä muodot ovat: *alustava yleisaikataulu*, *sopimusyleisaikataulu* ja *työaikataulu*. (Koskenvesa et al., 2015).

Alustava yleisaikataulu on kohteesta tarjousvaiheessa luotava karkeantason yleisaikataulu. Siinä esitetään projektissa vaadittavat kriittiset työvaiheet ja -menetelmät, eri vaiheiden kestot karkealla tasolla, sekä resurssien karkeat kuormitustasot (Koskenvesa et al., 2015).

Sopimusyleisaikataulu on sopimusneuvotteluissa alustavan yleisaikataulun pohjalta tehty aikataulu. Siihen on yleensä kirjattu projektin merkittävimmät virstanpylväät ja se liitetään osaksi sopimusta. Joskus sopimusaikataulua tarkennetaan vastaamaan tarkentuneita suunnitelmia, mutta usein sopimusaikataulu on kuitenkin sidottu (Koskenvesa et al., 2015).

Työaikataulu on projektin toimittajan sopimusyleisaikataulusta tarkentama suunnitelma. Työaikataulussa sovitetaan yhteen eri alihankkijoiden työaikataulut ja työaikataulun tarkoituksena on toimia rakennusprosessin läpi vievänä ohjenuorana. Työaikataulua on kutsuttu työmaalla usein yleisaikatauluksi. Tässä diplomityössä tarkoitetaan jatkossa yleisaikataululla nimenomaan työaikataulua. Työmaalla eri sidosryhmien keskeisimpänä informaation jakamisen työkaluna toimii työaikataulu. Työaikatauluun pohjautuu myös työmaan toteuman seuranta ja valvonta. Projektin onnistuneen toteutuksen kannalta on merkittävää, että suunnittelu-aikataulu, hankinta-aikataulu ja rakentamisaikataulu linkittyvät keskenään (Koskenvesa et al., 2015).

Rakentamisvaihesuunnittelu ja -aikataulu

Rakentamisvaihe-aikataulu on yleisaikataulusta (eli työaikataulusta) edelleen tarkennettu versio. Rakennusvaihe-aikataululle tyypillinen suunnittelujakso on kahdesta kuuteen kuukauteen. (Koskenvesa et al., 2015).

Koskela et al. (2016) toteaa, että *rakentamisvaihesuunnittelu* on paras toteuttaa yhteistyössä eri työpakettien vastuuhenkilöiden kanssa. Rakentamisvaihesuunnittelussa tarkastellaan lähemmin mitä tehtäviä kussakin työpaketissa pitäisi tehdä. Yhdessä toteutetulla rakentamisvaihesuunnittelulla on kolme motivaatiota:

1. Eri osapuolien näkemyksen ja ammattitaidon tuominen mukaan vahvistamaan suunnittelun lähtötietoja.
2. Eri osapuolten osallistuminen projektin toteutuksen suunnitteluun sitouttaa projektiryhmään asetettuihin tavoitteisiin paremmin.
3. Yhteinen suunnitteluprosessi tutustuttaa eri toimijat keskenään ja näin ollen yhteistyö syventyy ja kommunikaatio projektin edetessä on luonnollisempaa.

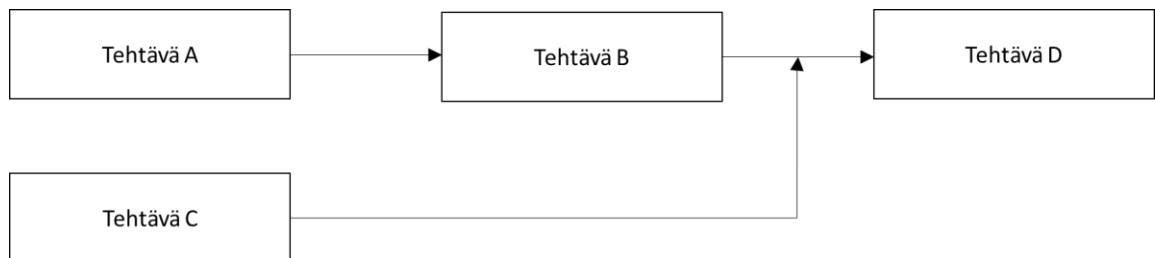
Tuotantoympäristöt ovat aina täynnä muuttuvia tekijöitä, näin ollen tehtäville ei voida määrittellä yksiselitteisesti absoluuttista tai objektiivista kestoja. Kuitenkin tehtävien realistisen ja tarkan aika-arvion tuottaminen on tärkeää. Yritykset kehittyvät projektiansa aika-arvioiden luomisessa projekteista oppimalla, mutta tehtävien kestoja voidaan arvioida monin eri keinoin. Tehtävien keston ennakoimista voidaan parantaa Artto *et al.*

(2008) mukaan asiantuntija-arvioilla ja käyttämällä hyväksi aikaisempaa historiatietoa, sekä asiantuntijaryhmiä kestojen arviointiin.

Rakentamisvaihesuunnittelu tulee toteuttaa imuperiaatteella lähtien liikkeelle rakentamisvaiheen lopputilanteesta. Tuote- ja työrakenteen (PBS ja WBS) pohjalta rakennetun ja yhteisesti katselmoidun työjärjestyksen pohjalta töille määritetään kestot. Kukin työpaketin vastuuhenkilö määrittää osakokonaisuuteensa vaadittavat työvaiheet ja ne kirjataan aikajanalle työjärjestyksessä. Vaiheet, jotka vaativat erityisiä valmiuksia edeltäviltä työvaiheilta, merkitään ja viestitään edellisten vaiheiden vastuuhenkilöille, näin ollen saadaan myös projektin kriittinen polku muodostettua. (Koskela et al., 2016).

Tehtäväverkon luominen ja kuvaaminen

Aikataulutuksessa tarvitsee usein selvittää eri tehtävien väliset suhteet, jotta projektin aikataulusta voidaan tunnistaa mahdollisuudet aikataulun nopeuttamiseen tai mahdolliset joustopaikat. Tehtävien välisten suhteiden selvittäminen voi olla jopa edellytys, että tehtävät pystytään sijoittamaan janakaavioon oikealle paikalleen. Yksi yleisimmistä tehtävien välisten suhteiden määrittämistekniikoista on *kriittisen polun menetelmä* (Critical Path Method, CPM), jonka avulla voidaan muodostaa projektin toteutukselle *tehtäväverkko*. Tehtäväverkko projektin toteutukseen vaadittavien tehtävien ja niiden välisten suhteiden graafinen esitystapa. Tehtäväverkon luominen pohjautuu puhtaasti projektin työn ositukseen (WBS). Tehtäväverkoissa projektin tehtävät on kuvattu toisistaan riippuvaisina sarjoina ajallisessa järjestyksessä vasemmalta oikealle (Arto et al., 2008), esimerkki tehtäväverkosta kuvattu kuvassa 13.



Kuva 13. Tehtäväverkon kuvaustapa (mukaillen Arto et al., 2008).

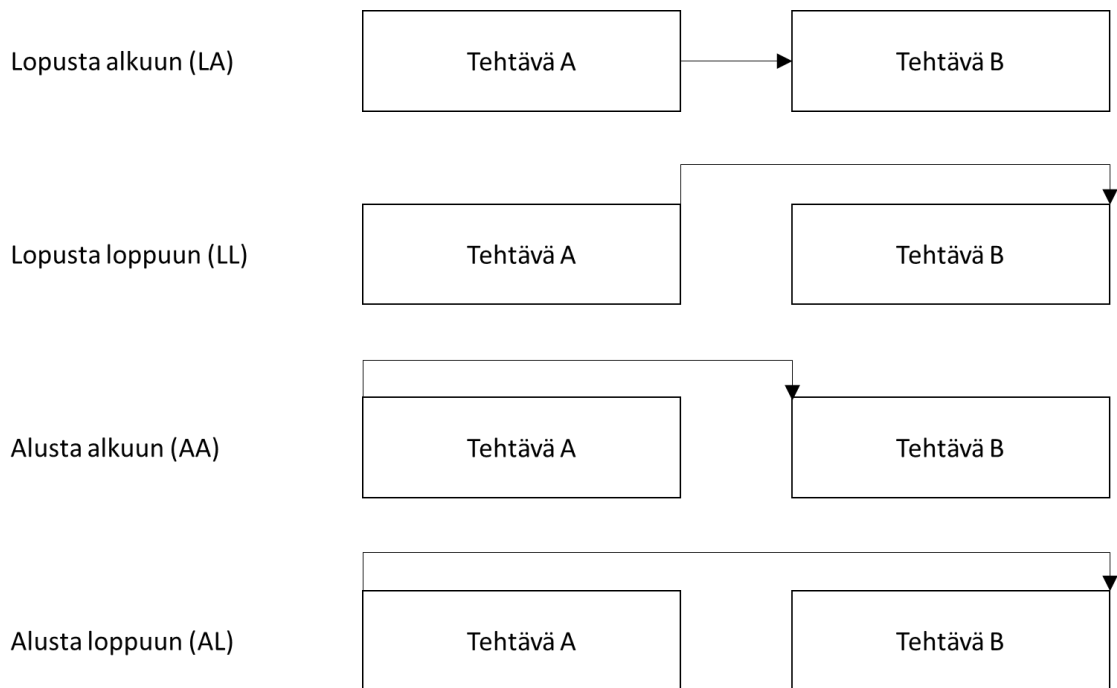
Tehtäväverkkojen rakentamiseen liittyvät tärkeimmät termit on määritelty seuraavassa Arto et al. (2008) mukaan:

- *Tehtävä*: Projektiin kuuluva työkokonaisuus, joka on ajallisesti ja resursseiltaan määritelty. Tehtävät voidaan tarvittaessa jakaa osatehtäviin.
- *Kriittinen tehtävä*: Projektin kokonaiskestoan vaikuttava tehtävä, joka tulee suorittaa tiettyinä ajanhetkenä projektiaikataulun pitämiseksi. Kriittisellä tehtävällä ei ole pelivaraa.

- *Kriittinen polku*: Tehtäväverkon kriittisten tehtävien muodostama jatkumo. Määrää projektin kokonaiskeston. Jos mikään työvaiheista myöhästyy, projekti myöhästyy.
- *Pelivara*: Yksittäisen tehtävä aloituksen joustoväli, jonka välille tehtävä voidaan määritellä alkavaksi ilman, että projekti myöhästyy.
- *Virstanpylväs*: Projektissa tärkeä tapahtuma, joka on merkattu tehtäväverkkoon. Sillä ei ole ajallista kestoa, eikä vaadittuja resursseja.

Tehtäväverkossa olevilla tehtävillä on neljää erityyppistä keskinäistä riippuvuussuhdetta. Riippuvuudet merkitään tehtäväverkossa nuolin. Seuraavassa on kuvattu eri riippuvuustyypit ja niiden väliset merkitsemistavat kuvaan 14 Artto *et al.* (2008) mukaan:

- Lopusta alkuun (LA): A:n loppuessa, B voi alkaa.
- Lopusta loppuun (LL): A:n loppuessa, B voi loppua.
- Alusta alkuun (AA): A:n alkaessa, B voi alkaa.
- Alusta loppuun (AL): A:n alkaessa, B voi loppua.



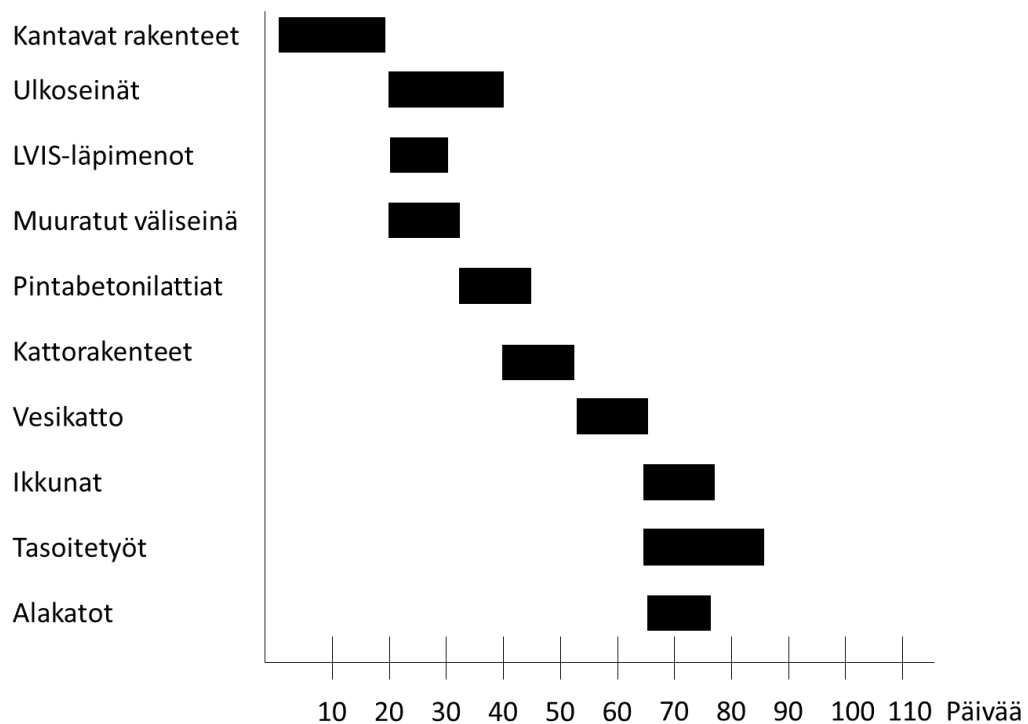
Kuva 14. Tehtäväverkon erilaiset riippuvuussuhteet (mukaiillen Artto *et al.*, 2008).

Lopusta alkuun – riippuvuudessa tehtävän A tulee olla kokonaan valmiina ennen kuin tehtävän B voim aloittaa. Esimerkiksi seinärakenteiden asennusta ei voi aloittaa ennen kuin perustukset ovat valmiita. Lopusta loppuun – riippuvuus tarkoittaa sitä, että tehtävä A ei voi loppua ennen kuin tehtävä B on loppunut. Esimerkiksi moduulien nostot eivät voi olla valmiita ennen kuin moduulilukot ovat kaikki asennettu. Alusta alkuun – riippuvuudessa tehtävä B voidaan aloittaa, kun A on aloitettu. Esimerkiksi

moduulirajapintojen tiivistys voidaan aloittaa, kun moduuliasennus on aloitettu. Alusta loppuun – riippuvuudessa tehtävä B ei voi loppua ennen kuin A on alkanut.

Janakaavio

Janakaavion (myös Gantt-kaavio) tarkoituksena on esittää tehtäväverkon tehtävät ajoitettuina projektin aika-akseliin sidottuina janoina (Artto, Martinsuo and Kujala, 2008, p. 123). Janakaavion tehtävät perustuvat työn osituksessa määritettyihin tehtäviin ja tehtäväverkossa määritettyihin tehtävien välisiin suhteisiin. Esimerkki janakaaviosta on kuvassa 15. Janakaavio toimii erinomaisena viestintävälineenä projektitiimin, aliurakoitsijoiden, asiakkaan, sekä muiden sidosryhmien välillä.



Kuva 15. Janakaavio (mukaiillen Artto et al., 2008).

Janakaavion käytölle tulee löytää sopiva projektikohtainen tarkkuustaso, sillä pitkiä aikajaksoja on vaikeaa hallita ja liian lyhyet jaksot ovat erittäin työläitä ylläpitää. Artto *et al.* (2008) ehdottaakin, että aikataulusuunnittelu jaettaisiin projektissa eri tasoille sopiviksi eri toimintoja palveleviksi.

3.2.3 Resurssien hallinta

Tehtävien kestot ovat suoraan verrannolliset käytössä olevien resurssien määrän kanssa. Näin ollen myös resurssien suunnittelu on merkittävä osa toteutettavaa projektin tuotannonsuunnittelua (Artto et al., 2008). Projektin suunnitteluvaiheessa toteutukseen tarvittavat resurssit arvioidaan yleensä karkealla tasolla, mutta lopulta

resurssisuunnitelmia tulee tarkentaa aina samalle tasolle tehtäväsuunnittelun kanssa, jotta työn edellytykset voidaan todella varmistaa (kuvattu myöhemmin). Esimerkiksi korkealla olevia ulkoverhouspaneeleja ei voida asentaa, jos tarvittavat henkilönostimet eivät ole saatavilla, vaikka muut työn edellytykset täyttyisivätkin. Voidaankin todeta, että tarvittavat resurssit, niiden suunnittelu ja ohjaus ovat työn toteutuksen kannalta varsin keskeisessä asemassa.

Artto *et al.* (2008) mukaan projektin resurssit voidaan jakaa viiteen pääryhmään 1.) Ihmiset, 2.) Tilat, 3.) Laitteet, 4.) Raha ja 5.) Materiaalit. Merkittävä osa projektien aikatauluun vaikuttavista tekijöistä koostuu ihmisistä ja kyseisten henkilöiden osaamisesta. Taitovaatimusten ja suoritustasojen määrittäminen saattaa olla tarpeellista tehtäväkokonaisuuksia määriteltäessä. Projektin resurssisuunnittelun kannalta on erittäin keskeistä tarvittavien tilojen tarpeiden tunnistaminen ja niiden määrän sekä sijainnin määrittäminen. Osana resurssisuunnittelua tulee tunnistaa projektin toteuttamisessa tarvittavat laitteet ja määrittellä milloin sekä missä niitä tarvitaan. Rahaa tarvitaan projektin kustannusten kattamiseen ja osa rahasta kuluu projektin toteutusresurssien hankkimiseen, kuten nosturikapasiteetin hankkimiseen työmaalle. Näin ollen resurssitarpeiden kustannusvaikutus tulee määrittellä osana projektin tuotannosuunnittelua, jotta tämä pystytään huomioimaan projektin rahoituksessa. Materiaaleilla tarkoitetaan kaikkia niitä raaka-aineita, välineitä sekä komponentteja, jotka tarvitaan projektin tuotteen valmistamiseen.

3.3 Tuotannon ennakoivan suunnittelun ja ohjauksen tasot (Tasot 2 ja 3)

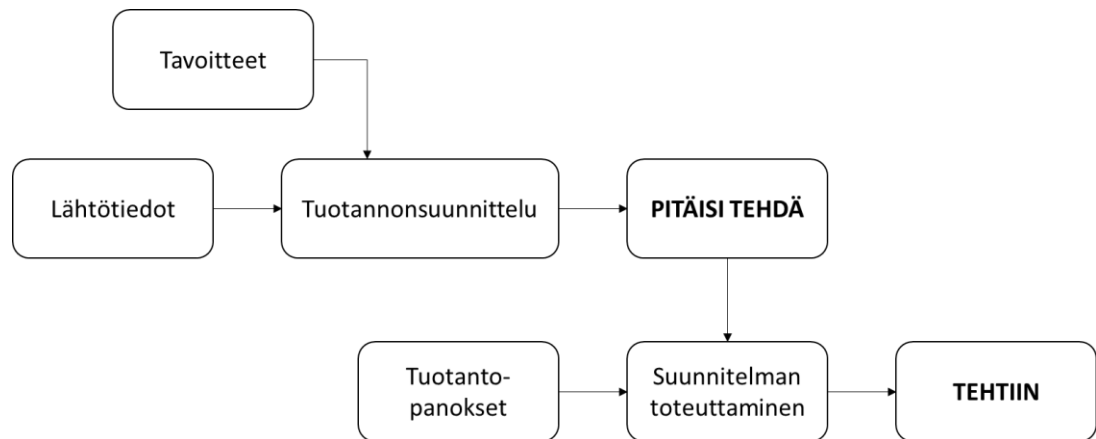
Lean-Rakentaminen viittaa alun perin Toyotan tuotantosysteemiin (Toyota Production System, TPS) pohjautuvan Lean tuotantofilosofian sovelluksien ja työkalujen soveltamiseen rakennusteollisuudessa (Sacks *et al.*, 2010). Lean-Rakentamisen painopiste on Leanin tapaan hukan vähentämisessä, asiakasarvon luomisessa sekä jatkuvan parantamisen kulttuurin luomisessa. Yksi Lean-Rakentamisen työkaluista on Last Planner-tuotannonohjaussysteemi (Ballard, 2000).

Perinteinen tuotannonohjaus olettaa, että projektissa toteutettavat tehtävät suoritetaan tasaisella suoritusteholla (Koskenvesa *et al.*, 2011). Todellisuudessa toteutettavien tehtävien tuottavuus vaihtelee huomattavasti: tuotannossa kohdataan aloittamisongelmia, tehtävien aikana kohdataan ongelmia sekä tehtävien lopettamisen kanssa on ongelmia. Last Planner – menetelmän perusajatuksena on, että tuotannosuunnitelmiin perustuvan tuotannonohjauksen avulla pystytään poistamaan tuotannossa työn seisauksiin johtavat ongelmat, varmistamaan tuotannon virtaus, sekä parantamaan tekemisen laatua ja mahdollistamaan jatkuva kehittyminen (Ballard, 2000).

Koskela *et al.* (2016) mukaan perinteisessä projektin tuotannonohjausmallissa (Kuva 16) ongelmana on se, että siinä peitetään kaksi keskeistä edellytystä, joiden avulla tietty

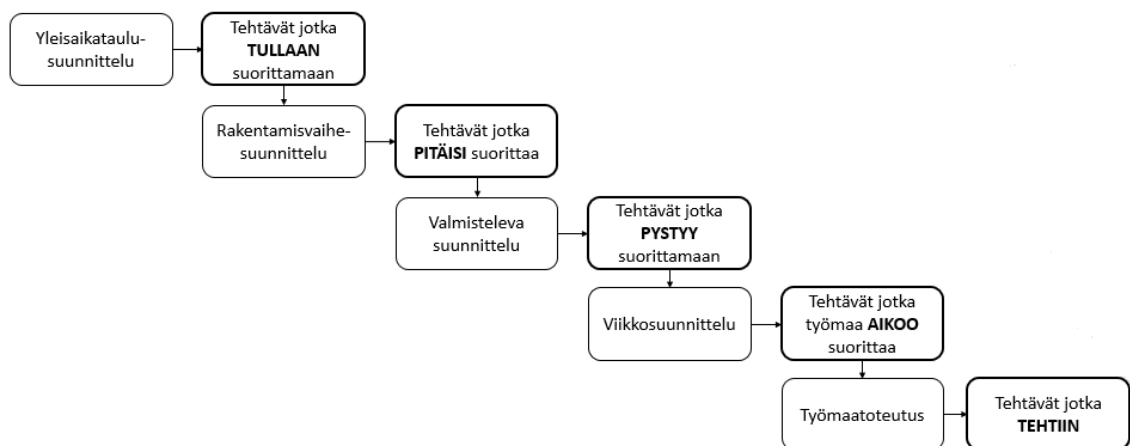
tehtävä saadaan suunnitellusti toteutettua. Keskeiset puuttuvat edellytykset on esitetty seuraavasti:

- 1.) Tehtävän toteutuksen edellytysten tulee olla kunnossa, jotta kyseisen tehtävän **PYSTYY** toteuttamaan.
- 2.) Tehtävät tullaan toteuttamaan suunnitellusti vain, jos tekijä **AIKOO** sen suunnitelmien mukaan toteuttaa.



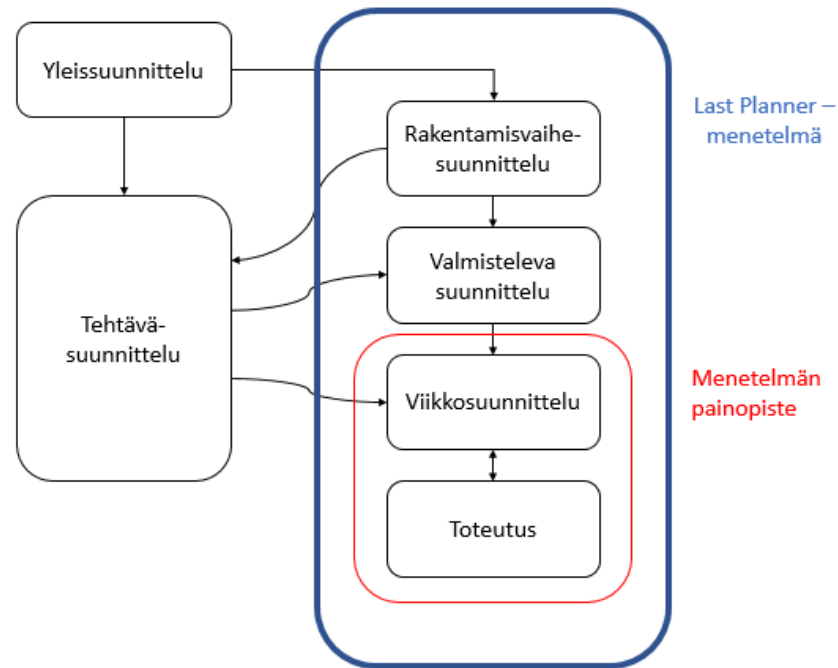
Kuva 16. Perinteinen tuotannonohjauksen malli (mukaillen Koskela et al., 2016).

Last Planner – menetelmän keskeisenä tavoitteena on varmistaa tehtävien **PYSTYY** ja **AIKOO** edellytykset. Last Planner – menetelmä on etenemisprosessiltaan (Kuva 17) perinteisen kaltainen: se perustuu alustavaan yleisaikatauluun ja sitä tarkennetaan eri suunnittelutasojen läpi kohti viikkosuunnittelun tasoa.



Kuva 17. Last Planner – menetelmän prosessi (mukaillen Koskela et al., 2016).

Last Planner – menetelmän ero perinteiseen tuotannonohjaukseen on se, että sen painopiste siirtyy yleisaikataulutason viikkosuunnittelun ja toteutuksen tasolle. Tällä varmistetaan työmaan tehokas toiminta. (Koskela et al., 2016). Menetelmän painopiste kohdistuu viikkotason suunnittelun ja toteutuksen valvonnan tasolle, painopiste on kuvattu kuvassa 18.



Kuva 18. Tuotannonohjausprosessi Last Planner – menetelmän mukaisesti (Koskela et al., 2016).

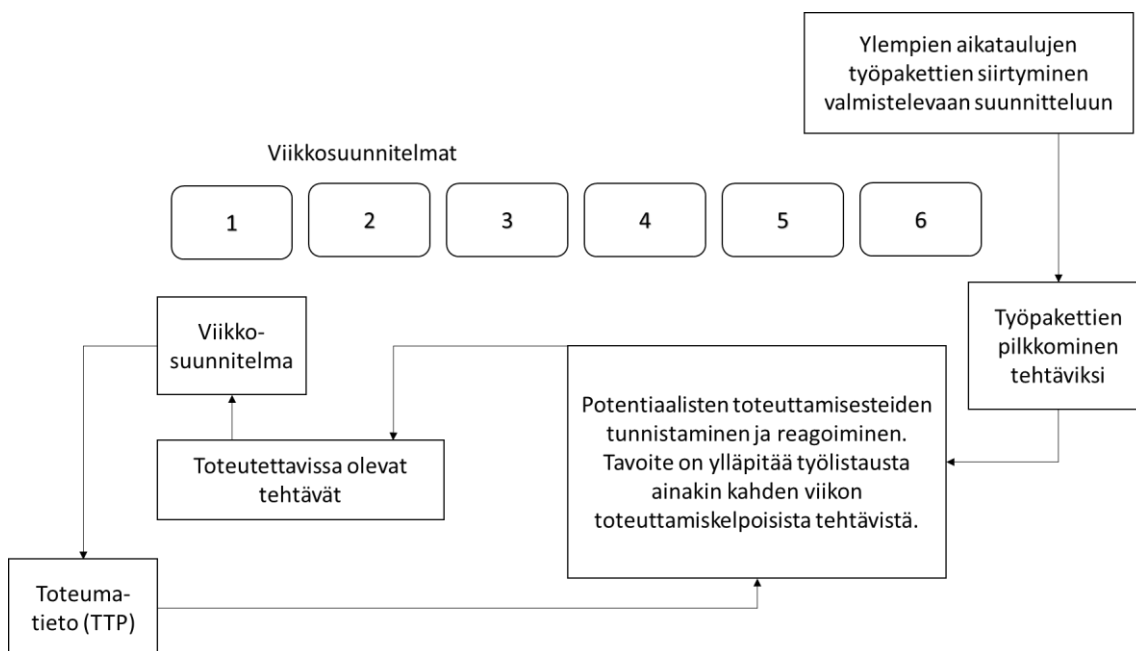
Pohjimmiltaan valmistelevan suunnittelun tarkoitus Last Planner – menetelmän avulla on siirtää tuotannonohjauksen painopiste ”tulipalojen sammuttamisesta” ja eri häiriöiden korjaamisesta ennakoivaan suunnitteluun ja tuotannon edellytysten varmistamiseen (Koskela et al., 2016).

3.3.1 Valmisteleva suunnittelu

Ballard (2000) mukaan rakennusprojekteissa hierarkiassa ylemmät aikataulut, kuten yleisaikataulu, toteutetaan pitkälti arvioiden perusteella ilman valmiita suunnitelmia tuotteesta. Aikataulujen ja suunnitelmien epävarmuuden tarkentuessa tulee projektissa toteuttaa *valmistelevaa suunnittelua*. Valmistelevan suunnittelun tarkoituksena on määritellä työn virtauksen järjestys ja nopeus, sovittaa virtaus käytettävissä olevaan kapasiteettiin, pilkkoa työpaketit hallittavampiin työvaiheisiin, määritellä yksityiskohtaiset toimintasuunnitelmat työvaiheille, ylläpitää tietoa toteutettavissa olevista työvaiheista sekä tarvittaessa päivittää ylemmän tason aikatauluja (Ballard, 2000).

Valmistelevan suunnittelun tehtävänä on varmistaa jokaiselle työviikolle tarpeeksi toteutuskelpoisia tehtäviä, joilla on todelliset realiteetit myös toteutua. Valmisteleva suunnittelu on 4 – 6 viikon aikajänteellä toteutettavaa rullaavaa suunnittelua, jolla varmistetaan onnistumisen edellytykset tämän aikajänteen tehtäville. Imuohjaustyyppisesti toteutettavalla suunnittelulla varmistetaan aktiivisesti tarvittavien suunnitelmien, henkilöstön, materiaalien ja muiden tarvittavien resurssien kuten

työmaakaluston saatavuus työn toteutushetkellä (Koskela et al., 2016). Valmisteleavan suunnittelun prosessi on kuvattu kuvassa 19.



Kuva 19. Valmisteleavan suunnittelun prosessi (mukaiillen Ballard, 2000).

Kuvasta 19 voidaan havaita, miten tulevien tehtävien toteuttamisen edellytykset varmistetaan. Mahdollisiin toteuttamisen ongelmiin ehditään vielä tällä aikajänteellä reagoida. Ne tehtävät, joiden toteutusedellytykset ovat olemassa, kirjataan toteutettavissa olevien tehtävien listaan, joiden pohjalta muodostetaan viikkosuunnitelmat (Ballard, 2000).

3.3.2 Viikkosuunnittelu

Perinteinen tuotannonohjaus luottaa siihen, että tulevat työvaiheet käynnistyvät ja valmistuvat pelkästään ilmoittamalla työvaihe sen tekijälle tai siitä vastaavan alirakoitsijan työnjohtajalle. Tällaisessa toimintamallissa ei kuitenkaan kiinnitetä huomioita siihen, miten sitoutunut tekijä on suorittamaan työvaiheen, onko hän ymmärtänyt työvaiheen oikein tai onko ylipäättänsä valmiudet tehtävien suorittamiseen realistiset. *Viikkosuunnittelun* avulla prosessiin saadaan kaksisuuntaista viestintää. Viikkosuunnittelu toteutetaan yhteistyössä eri työryhmien ja alirakoitsijoiden kanssa. Osallistujien kannalta suunnitelma voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: valmisteluun, neuvotteluun ja sitoutumiseen. Valmistelu koostuu työvaiheiden reaaliaikaisen tilanteen tarkistamisesta, sekä seuraavien tehtävien valmistelusta. Viikkosuunnittelussa pyritään hakemaan eri työryhmien näkökulmat työvaiheiden toteuttamiselle, sekä korostamaan erityisesti työvaiheiden välillä olevia riippuvuuksia. Viikkosuunnitelmaan sisällytetään ainoastaan sellaiset työvaiheet, jotka sen vastuuhenkilö pystyy lupaamaan valmistuvaksi. Jos ennalta suunnitellulla työvaiheella ei ole valmiuksia sen toteuttamisella, ehditään sille

löytää korvaava tehtävä ennen kuin tehtävä aloitetaan. Näin vältetään yllätykselliset työnseisaukset. Yhdessä toteutetut suunnitelmat tekevät tehtävien vastuuhenkilöistä asianomistajia ja näin ollen heidän sitoutumisensa tehtävän toteuttamiselle on parempi (Koskela et al., 2016).

3.3.3 Toteuman seuranta

Tuotannon toteutuman tarkastelemiselle on kolme motivaation lähde. Ensimmäisenä, se korostaa viikkoaikataulun merkitystä siinä mielessä, että se todella on tarkoitettu toteutettavaksi. Toteumaa seurataan ja myöhästymisiin reagoidaan. Toisena, valmiiksi merkityt työkohteet voidaan vapauttaa seuraaville työvaiheille käytettäväksi. Kolmantena, se toimii toteutuksen mittarina ja informaationlähteenä tuotannosuunnittelun ja tuotantojärjestelmän toimivuudesta sekä näin ollen luo mahdollisuudet ongelmien ratkaisemiselle ja prosessista oppimisille (Koskela et al., 2016).

Viikkosuunnitelman mukaisten työtehtävien toteutumista seurataan TTP-luvulla (Tehtävien Toteutus Prosentti). Viikon päätteeksi pidettävässä katselmuksessa kirjataan toteutuneet työtehtävät, jonka avulla pystytään seuraamaan, kuinka monta prosenttia viikkosuunnitelman tehtävistä todella saatiin toteutettua (Koskela et al., 2016)

Toteuman seuranta mahdollistaa myös jatkuvan oppimisen ja virheiden juurisyiden tarkastelun. Toteutumatta jääneiden suunniteltujen tehtävien ongelmalähteet pystytään selvittämään esimerkiksi ”viisi kertaa miksi”-menetelmällä, josta voidaan vastaavasti ottaa oppia tulevaisuutta varten (Koskela et al., 2016).

3.3.4 Aikaisempi kokemus Last Planner-menetelmästä

Koskela et al. (2003) on toteuttanut tutkimuksen Last Planner – menetelmän käytön hyödyistä yhteistyössä neljän suomalaisen rakennusliikkeen kanssa. Jokainen rakennusliike toimeenpani yhden testityömaan tutkimusta varten Last Planner – menetelmän soveltamista varten. Tutkimuksen tulokset osoittautuivat positiivisiksi: menetelmän nähtiin parantavan töiden ohjauksen järjestelmällisyyttä, helpottavan töiden seuranta, lisäävän työvaiheiden loppuunsaattamista huomattavasti ja parantavan töiden parempaa yhteensovittamista. Eniten hyötyä menetelmästä nähtiin olevan silloin, kun työmaalla toimii useita toisistaan riippuvia työryhmiä.

Al Sehami et al. (2009) on toteuttanut kahteen rakennusprojektiin liittyvän tutkimuksen Last Planner – menetelmän käyttöönotosta Saudi-Arabiassa. Tutkimuksen mukaan menetelmän käytön hyötyjä olivat projektin työvaiheiden ja niihin tarvittavien resurssien suunnittelun kehittyminen, projektinhallinnan epävarmuuden pienentyminen, parantunut työnjohto, lisääntynyt tuottavuus sekä projektista oppimisen parantuminen.

Fernandez-Solis et al. (2012) on toteuttanut kaksivaiheisen tutkimuksen Last Planner -menetelmän hyödyistä ja haasteista menetelmän käyttöönottoon liittyen. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin haasteita ja hyötyjä menetelmän toimeenpanosta kirjallisuuskatsauksen avulla 26 eri käyttöönottotutkimuksesta vuosilta 2000-2009. Toisessa vaiheessa syvennyttiin ylemmän- ja keskijohdon kokemuksiin haasteisiin menetelmän toimeenpanossa. Toisen vaiheen tutkimus toteutettiin kyselytutkimuksena, johon saatiin 34 vastausta ja kokemuksia 360 eri projektista. Taulukkoon 5 on kuvattu Last Planner – menetelmän hyödyt ja taulukkoon 6 on koottu menetelmän käyttöön liittyvät haasteet.

Taulukko 5. Last Planner – menetelmän hyödyt (mukailten Fernandez-Solis et al., 2012).

	Mainittu hyöty	Havaintoja
1	Kehittynyt työn virtauksen luotettavuus	9
2	Lyhentynyt toimitusaika	5
3	Toimitusketjun integraation parantuminen	3
4	Parantunut kommunikaatio projektin osapuolten välillä	3
5	Päivittäisten ongelmien väheneminen	3
6	Työn laadun parantuminen	2
7	Johtamiskäytäntöjen kehittyminen	2
8	Kehittynyt projektista oppiminen	2
9	Vähentynyt stressitaso työmaalla	2

Taulukosta 5 voidaan havaita, että merkittävimmät tai useimmin mainitut hyödyt olivat työn virtauksen kehittyminen sekä toimitusajan lyheneminen kohdattujen ongelmien vähenemisen myötä.

Taulukko 6. *Last Planner – menetelmän toimeenpanon haasteet (Fernandez-Solis et al., 2012).*

	Mainittu haaste	Havaintoja
1	Organisaation vastustus muutokselle	16
2	Henkilöstön osaamisen puute, ymmärtämättömyys uutta menetelmää kohtaan, osaamisen ja harjoituksen puute	13
3	Sitoutumattomuus tai negatiivinen asenne menetelmää kohtaan	12
4	Johtajuuden puute, johdon sitoutumattomuus tai järjestelmää ei-tukeva ilmapiiri	7
5	Puute sidosryhmien tuessa	5
6	Työmaajohdon auktoriteetin puute, ylimmän johdon ja asiakkaan hidas hyväksyntä menetelmälle	5
7	Käyttöönnotossa syntyneen informaation heikko käyttö	4
8	Sopimus- ja lakiesteet	3
9	Menetelmän osittainen tai myöhäinen toimeenpano	3
10	Huono tiimihenki tai puuttellinen yhteistyö	2
11	Huono työmoraali ja kulttuuriongelmat	2
12	Lyhytkatseisuus	2
13	TTP-luvun virheellinen tulkinta	1

Taulukosta 6 voidaan havaita, että merkittävimpiä haasteita menetelmän käyttöönotolle on organisaation muutosvastarinta, sekä koulutuksen puute. Sitoutumisen puute aiheuttaa ongelmia myös menetelmän käyttöönotolle merkittävässä määrin.

4. TIETOMALLINNUS

TUOTANNOSUUNNITTELUN TYÖKALUNA

Tässä kappaleessa käydään läpi tietomallintamisen perusteet, miten sitä voidaan käyttää toimitusprojektin eri vaiheissa ja luodaan katsaus kirjallisuuteen siitä, miten tietomallinuksesta on saatu hyötyä ja millaisia haasteita on kohdattu toimitusprojektien toteutuksessa.

4.1 Tietomallinnuksen perusteet

Suomenkielinen käänös, *tietomallinnus*, pohjautuu englannin kieliseen termiin ”Building Information Modeling”. Tietomallinnuksen tuotoksena syntyy *tietomalli*, joka on englanniksi ”Building Information Model”. (COBIM - hankkeen osapuolet, 2012).

Tietomallinnus on määritelty seuraavasti (The National BIM Standard - United States):

“Tietomallintamisessa luodaan kuvaus tuotoksen fyysisistä ja toiminnallisista ominaisuuksista digitaalisten työkalujen avulla. Tuotetietomalli toimii jaettuna informaatiolähteenä kohteesta, muodostaen luotettavan pohjan päätöksenteolle kohteen elinkaaren eri vaiheissa. Peruslähtökohta tietomallinnukselle on mahdollistaa sidosryhmien välinen reaaliaikainen yhteistyö kohteen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Tietomallinnus mahdollistaa rinnakkain tapahtuvan kohteeseen liittyvän tiedon lisäämisen, käyttämisen, päivittämisen ja muokkaamisen eri sidosryhmien toimesta.”

Kirjallisuudessa käytetään englannin kieleen perustuvaa lyhennettä, BIM, vaihtelevasti sekä tietomallintamisesta että tietomallista. Väärinkäsityksien välttämiseksi tässä työssä käytetään termien suomenkielisiä nimiä.

Eastman et al. (2011) toteaa, että virtuaaliset tietomallit sisältävät tarkkojen geometrinen piirteiden lisäksi dataa, jota voidaan käyttää hyödyksi niin rakentamisessa, osavalmistuksessa kuin hankinnankin apuna. Eastman et al. (2011) mukaan tietomallitermiä käytetään usein virheellisesti tilanteissa, joissa on kyseessä pelkkä 3D-malli. Tietomallit poikkeavat kuitenkin 3D-malleista, sillä ne sisältävät pelkän digitaalisen geometriainformaation (objektien) lisäksi myös laskettavissa olevaa grafiikkaa, parametrisia tietoja sekä attribuuttidataa. Tietomallien muokkaaminen on monilta osin automatisoidumpaa ja älykkäämpää pelkkiin 3D-malleihin verrattuna. Objekteihin lisätty data sisältää tietoa komponenttien olemuksesta (esim. valuelementin tietty pinta on sisäpintaa) ja käyttäytymisestä (esim. materiaalin lämmönjohtavuus) (Eastman et al., 2011).

Yleinen tietomallivaatimus (COBIM - hankkeen osapuolet, 2012) ohjeistaa käyttämään IFC-standardoitua tiedostomuotoa tietomallien rakentamiseen. IFC-standardi määrittelee tietomalliohjelmistojen yhteisen kuvaustavan. Sillä tarkoitetaan usein avoimen tiedonsiirron muotoa, jonka avulla malleja voidaan siirtää eri ohjelmistojen välillä. IFC-tiedostomuoto mahdollistaa tiedon reaaliaikaisen jakamisen ja käsittelyn tietomallissa eri suunnittelualojen välillä. IFC-tiedostomuodon tarkoitus on, että eri suunnittelualat voivat muokata omat mallinsa yhteiseen muotoon, jotta se olisi yhteisesti tarkasteltavissa ja käsiteltävissä. Esimerkiksi arkkitehdin tekemä mallia ei voida käyttää putkistosuunnittelijan ohjelmistolla tai toisinpäin ja näin ollen eri suunnittelualojen malleja ei pystytä yhdistämään. Molemmat voivat muuttaa omat tiedostonsa IFC-muotoon, jolloin eri suunnittelualat voivat käyttää toistensa tekemiä malleja hyödyksi. IFC-malli ei kuitenkaan mahdollista eri suunnittelualojen mallien muokkaamista eri ohjelmistoilla, vaan IFC-mallin muokkaaminen tapahtuu alkuperäisen suunnittelijan toimesta, joka taas tuo päivityksen yhteiseen IFC-malliin (Aouad et al., 2006).

Yleinen tietomallivaatimus toteaa (2012) tietomallinnuksen tavoitteeksi suunnittelun ja rakentamisen tehokkuuden ja laadun parantamisen, turvallisuuden lisäämisen, sekä kestäväen kehityksen mukaisten hanke- ja elinkaari-prosessien tehostamisen. Yleinen tietomallivaatimus mainitsee, että tietomalleja voidaan hyödyntää rakennuksen kaikissa elinkaaren eri vaiheissa, suunnittelun aloituksesta, rakentamiseen ja aina rakennuksen käytön ja ylläpidon tukemiseen.

Hyvin omaksuttuna tietomallinnus mahdollistaa entistä paremmin integroituneen suunnitteluorganisaation ja rakentamisprosessin ja näin kehittää projektiin liittyvää kommunikaatiota ja koordinoitua. Täten tietomallinnuksella voidaan osaltaan vaikuttaa myös projektin tavoitteiden saavuttamiseen (Bryde et al., 2013).

4.2 Tietomallien hyödyntämismahdollisuudet

Grilo et al. (2010) mukaan tietomallinnusta voidaan käyttää hyödyksi kaikissa projektin elinkaaren vaiheissa: tilaaja pystyy ymmärtämään projektin vaatimukset paremmin, suunnittelijat voivat käyttää tietomallinnusta projektin tuotoksen suunnitteluun ja analysointiin, urakoitsija pystyy käyttämään tietomallinnusta projektin johtamiseen sekä omistaja pystyy vastaanottamaan sen avulla luovutusaineiston ja käyttämään tietomallia hyödyksi käyttö- ja ylläpitotehtävissä.

Kymmell (2007) mukaan tietomallinnuksen tuottamat hyödyt voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin hyötyihin. Suoriksi hyödyiksi koetaan parantunut visualisaatio toimitusprojektin tuotoksesta sekä projekti-informaation keskittyminen yhteen paikkaan. Epäsuoriin hyötyihin katsotaan kuuluvan lisääntynyt ja laadultaan parempi yhteistyö, jonka myötä myös ymmärtämys projektista eri sidosryhmillä on parempi. Epäsuoriin hyötyihin luetaan myös projektiin liittyvien riskien pienentyminen.

Eastman et al. (2011) mukaan tietomallinnuksen hyödyt voidaan jakaa neljään eri kategoriaan sen mukaan, missä vaiheessa toimitusprojektia tietomallinnuksen tuomat edut voidaan realisoida. Nämä kategoriat ovat 1.) tilaajan hyöty ennen rakennusvaihetta, 2.) suunnitteluhyöty, 3.) hyödyt rakentamisessa ja osavalmistuksessa sekä 4.) rakennusvaiheen jälkeiset hyödyt.

4.2.1 Hyödyt tilaajalle ennen rakennusvaihetta

Toimitusprojektin tilaajalle tietomallinnuksella voidaan tuottaa hyötyä erilaisten konseptien taloudellisten toteuttavuusanalyysien avulla. Tietomalliobjektit voidaan linkittää kustannusdataan ja sen vuoksi erilaisten suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutusten vertailu tai kannattavuuslaskelmien toteuttaminen on mahdollista (Eastman et al, 2011).

Tuotteen erilaisten funktionaalisten ominaisuuksien ja ympäristöllisten vaikutuksien arvioiminen on mahdollista jo konseptivaiheen suunnittelun aikana. Tämä mahdollistaa tuotteen muokkaamisen tehokkaammaksi ja laadukkaammaksi jo hyvin aikaisessa vaiheessa (Eastman et al., 2011). Esimerkkejä toteuttavista simuloinneista on tuotteen rakenteellisten ominaisuuksien analysointi, energia-analyysit, mekaanisten laitteiden analysointi, valaistus- ja akustiikkasimuloinnit, virtausanalyysit sekä tuotteen toiminnallisten analyysien toteuttaminen (Eastman et al., 2011).

4.2.2 Hyödyntämismahdollisuudet suunnitteluvaiheessa

Tietomallinnusteknologia mahdollistaa eri suunnittelutoimialojen ja useiden suunnittelijoiden reaaliaikaisen mallien käytön. Rinnakkaisella mallien käytöllä on merkittävä vaikutus suunnittelun aikataulun lyhenemiseen ja kustannuksiin, koska eri suunnittelualojen toimijat voivat ottaa muiden toimialojen suunnitelmat huomioon ja näin ollen esimerkiksi tilankäytön suhteen päällekkäisyydet voidaan ehkäistä ja suorittaa suunnittelu kerralla oikein (Eastman et al., 2011).

Tietomalleista voidaan automaattisesti tuottaa määrä ja pinta-alalaskelmia, joita voidaan hyödyntää määrälaskelmien ja kustannusarvioiden tarkentamiseen. Laskelmia voidaan tuottaa suunnittelun kaikissa vaiheissa. Suunnittelun alkuvaiheessa kustannusarvot perustuvat erilaisiin laskentafunktioihin (esim. pinta-alaan sidotut kustannus- ja määrääarviot) ja suunnittelun edetessä yksityiskohtien tarkentuessa määrät ja kustannukset perustuvat todellisiin suunniteltuihin määriin ja ovat näin ollen myös tarkempia. Pelkän 3D-mallin avulla tämä ei ole mahdollista, sillä se ei sisällä tarkentavaa informaatiota ja näin ollen 3D-malli ei tunnista esimerkiksi mallinnetun seinän sisäpintaa, vaan se tunnistaa vain kokonaispinta-alansa ja täten esimerkiksi laatoituksen määrälaskenta 3D-mallin avulla ei ole automaattista. Tietomalleihin voidaan luoda informaatiota myös mallintamattomasta materiaalista. Esimerkiksi yksi metriä polttoaineputkea sisältää

tietyin määrän kannakkeita ja näin ollen kannakkeiden yksityiskohtainen mallintaminen ei ole tarpeellista määrälaskentaa varten (Eastman et al., 2011).

Tietomallinnusohjelmistoilla toteutettava suunnittelu mahdollistaa tuotoksen aikaisemman ja tarkemman visualisaation. Tietomallinnusohjelmistoilla muodostetaan suoraan 3D-malleja, eikä niitä tarvitse luoda useista 2D-malleista. Suunnitelmia pystytään visualisoimaan ensimmäisestä hetkestä lähtien mittasuhteiltaan johdonmukaisina näkymästä riippumatta. Tietomallien parametriset säännöt tekevät automaattisia korjauksia malleihin suunnittelumuutoksissa ja näin ollen automaattisesti estävät 3D-mallien geometriset, suuntaukselliset sekä avaruudelliset virheet (Eastman et al., 2011).

Tietomallien avulla voidaan toteuttaa törmäystarkasteluita eli tarkastuksia siitä, että tuotoksen eri osat eivät risteä keskenään. Erityisesti eri suunnittelualojen suunnitelmat järjestelmät voivat helposti jäädä päällekkäin perinteisillä työkaluilla suunniteltaessa. Tietomallista nämä voidaan havaita ja korjata ennen järjestelmien asentamista rakennusvaiheessa. Lisäksi tietomallin avulla voidaan tarkastaa järjestelmien rakennettavuus erikokoisiin tiloihin. Esimerkiksi putkistoille voidaan määrittellä tietty tilavaraus järjestelmän ympäriltä, jotta se voidaan asentaa paikkaansa. Näin voidaan välttää esimerkiksi liian ahtaat asennuspaikat (Eastman et al., 2011).

4.2.3 Hyödyntämismahdollisuudet rakentamisessa ja osavalmistuksessa

Tietomallien geometriatiedon avulla on mahdollista komponenttien valmistamiseen tarvittavien CNC-ohjelmien automaattinen tuottaminen osavalmistusta varten. Tätä automaatiota on onnistuneesti käytetty teräsosien valmistukseen ja yksinkertaisten ohutlevyjen valmistukseen. Tämän lisäksi niitä on pystytty hyödyntämään elementtivaluihin, elementtien ikkunajaon tekemiseen, sekä lasiosien esivalmistukseen. Tällä hetkellä teknologian avulla yksinkertaisia komponentteja voidaan toteuttaa, mutta monimutkaisiin komponentteihin ei teknologian taso vielä riitä. Tietomallien rinnakkainen käyttö mahdollistaa sen, että osavalmistajat voivat tehdä mallin objekteihin yksityiskohtia, jotta osien tuotettavuus on olemassa olevilla järjestelmillä mahdollisimman tehokasta (Eastman et al., 2011).

Tietomalli voidaan linkittää rakennusaikataulun kanssa. Tietomallinnusohjelmistoissa voidaan määrittää mitkä objektit kuuluvat tiettyyn rakennusvaiheeseen. Aikataulun linkityksen avulla voidaan luoda simulaatio siitä, miten tuote rakentuu työvaihe kerrallaan. Tätä kutsutaan myös 4D CAD- nimellä. Sen avulla on mahdollista havaita potentiaalisia ongelmakohteita rakennusvaiheessa, kuten päällekkäiset rakennusvaiheet samassa tilassa. Joissain tapauksissa voidaan simulaatioon tuoda myös työmaan resursseja kuten nostureita ja näiden kapasiteettia pystytään tarkastelemaan etukäteen (Eastman et al., 2011).

Tietomalli tarjoaa tarkkaa tietoa tuotteen materiaaleista ja komponenteista. Komponentti- ja määrätietoa voidaan käyttää hyödyksi toimitusprojektien hankintojen tekemiseen. Saatava tieto riippuu paljon siitä, miten pitkälle 3D-malli on viety ja kuinka paljon mallintamaton tieto on tuotu objekteihin attribuuttidatana. Monet komponenttitoimittajat tarjoavat tietomallikirjastoja omista tuotteistaan joihin tarvittava hankintatieto on syötetty. Usein objektit ovat yleismalleja, eikä niitä ole sidottu tietyn valmistajan komponenttiin ja tällaisiin komponentteihin suunnittelijan tulee määritellä muu hankintainformaatio, jotta hankinta todella pystyy käyttämään tietomallia tilaustenhallinnan apuna. Tyypillisiä komponentteja, joiden hallintaa pystytään tekemään liittyvät runkorakenteisiin, elementtivaluihin, ikkunoihin ja oviin. Yksityiskohtaisia tietomalliojekteja löytyy kirjastoista huonosti ja niitä myös harvoin mallinnetaan isoihin kokonaisuuksiin (Eastman et al., 2011)

4.2.4 Rakennusvaiheen jälkeiset hyödyt

Tuotannon edetessä asennettuihin komponentteihin ja järjestelmiin liittyvät asiakirjat (esim. mittapöytäkirjat, testauspöytäkirjat, huoltokirjat yms.) voidaan linkittää tietomalliin ja näin kaikki objektiin liittyvät asiakirjat ovat löydettävissä yhdestä paikasta digitaalisesti. Kyseisiä asiakirjoja ja komponenttitietoa voidaan käyttää hyväksi vastaanottotarkastuksien tekemiseen, sekä tuotteen ylläpitoon ja korjaamiseen liittyvissä tehtävissä (Eastman et al., 2011).

4.2.5 Koetut hyödyt ja haasteet tietomallinnuksesta toimitusprojektien toteutuksessa

Bryde et al. (2013) on tutkinut 35 eri rakennusprojektin avulla millaisia hyötyjä rakennusprojekteissa on pystytty realisoimaan tietomallinnuksen käytön myötä sekä millaisia negatiivisia kokemuksia tietomallinnuksen käytössä on koettu. Tutkimuksessa havaitut positiiviset kokemukset on listattu taulukkoon 7 ja negatiiviset kokemukset on listattu taulukkoon 8.

Taulukko 7. Tietomallinnuksen käytöstä koetut hyödyt (mukaiillen Bryde et al., 2013).

Koettu hyöty	Positiiviset kokemukset		
	Kokonaismäärä	Ilmeni projekteissa	% projekteista
Kustannusten pienentyminen tai kustannuskontrollon kehittyminen	29	21	60,00 %
Aikataulun nopeutuminen tai aikataulukontrollon kehittyminen	17	12	34,29 %
Kommunikaation kehittyminen	15	13	37,14 %
Koordinoinnin kehittyminen	14	12	34,29 %
Laadun kehittyminen tai laatukontrollon kehittyminen	13	12	34,29 %
Riskien pienentyminen	8	6	17,14 %
Projektisisällön (scope) selkeytyminen	3	3	8,57 %
Organisaation kehittyminen	2	2	5,71 %
Ohjelmistokysymykset	0	0	0,00 %

Taulukon 7 perusteella voidaan todeta, että ylivoimaisesti merkittävämmäksi hyödyksi projekteissa koettiin kustannusten pienentyminen tai kustannuskontrollin kehittyminen. Merkittäviksi positiivisiksi tekijöiksi osoittautuivat myös aikataulun nopeutuminen tai aikataulukontrollin kehittyminen, lisääntynyt kommunikaatio, kehittynyt projektin koordinointi, sekä laadun tai laatukontrollon kehittyminen (Bryde et al., 2013).

Taulukko 8. Tietomallinnuksen käytöstä koetut haasteet (Bryde et al., 2013).

Koettu haaste	Negatiiviset kokemukset		
	Kokonaismäärä	Ilmeni projekteissa	% projekteista
Ohjelmistokysymykset	9	7	20,00 %
Aikataulun nopeutuminen tai aikataulukontrollon kehittyminen	4	3	8,57 %
Koordinoinnin kehittyminen	7	3	8,57 %
Kustannusten pienentyminen tai kustannuskontrollon kehittyminen	3	2	5,71 %
Organisaation kehittyminen	2	2	5,71 %
Riskien pienentyminen	2	1	2,86 %
Kommunikaation kehittyminen	0	0	0,00 %
Laadun kehittyminen tai laatukontrollon kehittyminen	0	0	0,00 %
Projektisisällön (scope) selkeytyminen	0	0	0,00 %

Taulukosta 8 voidaan havaita, että tietomallinnuksesta koettuja negatiivisia kokemuksia on kirjattu vastauksiin määrällisesti paljon vähemmän kuin positiivisia kokemuksia. Huomattavasti eniten negatiivisia kokemuksia aiheuttivat ohjelmistokysymykset. Bryde et al. (2013) mukaan haasteet ohjelmistojen kanssa olivat vahvasti sidoksissa yrityksissä toteutetun muutosjohtamisen kanssa. Kattavamman koulutuksen saaneet työntekijät ja sidosryhmät kokivat vähemmän ongelmia ohjelmistojen kanssa kuin vähemmän koulutusta saaneissa yrityksissä.

5. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tässä kappaleessa esitellään tapaustutkimuksen soveltuvuus tähän tutkimukseen teorian pohjalta sekä esitellään diplomityössä käytetyt varsinaiset tutkimusmenetelmät. Tutkimusmenetelminä työssä käytettiin kirjallisuuskatsausta puolistrukturoitua teemahaastattelua, vertailututkimusta sekä ohjelmistojen testausta. Tutkimusmenetelmien teorian lisäksi kappaleessa esitellään tutkimusmenetelmien toteuttaminen tämän työn puitteissa.

5.1 Kirjallisuuskatsaus

Tässä diplomityössä offsite-rakentamisen, toimitusprojektien tuotannosuunnittelun, sekä tietomallien käytön teoreettinen pohja luodaan kirjallisuuskatsauksella. Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmenetelmä ja tutkimustekniikka, jonka avulla pystytään tekemään jo tehdyistä tutkimuksista tutkimusta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että olemassa olevaa tutkimustietoa kootaan yhteen ja sitä käytetään pohjana uudelle tutkimukselle (Salminen, 2011).

Työssä käytettävä kirjallisuuskatsauksen tyyppi on kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Salmisen (2011) määritelmän mukaan kuvaileva kirjallisuuskatsaus on ilman tiukkoja rajoja ja sääntöjä toteutettava yleiskatsaus. Aineistot voivat olla laajoja, eikä aineiston valintaa ole rajattu. Näiden avulla tutkittava ilmiö voidaan kuvata hyvin laaja-alaisesti.

Tämän diplomityön puitteissa toteutettavaan kirjallisuuskatsaukseen on aineistona käytetty niin painettuja kuin elektronisiakin julkaisuja. Aineistoa on haettu eri tietokannoista, kuten Tampereen teknillisen yliopiston kirjaston tietokannasta, Google Scholar-tietokannasta, internetin avoimista lähteistä sekä julkisista kirjastoista. Aineisto koostuu kirjoista, tieteellisistä artikkeleista, sekä internetjulkaisuista.

5.2 Tapaustutkimus

Tapaustutkimus (englanniksi *case study*) tutkii tiettyä menneisyyden tai nykyajan ilmiötä ja siinä kerätään aineistoa useista eri lähteistä. Tapaustutkimus voi hyödyntää informaatiolähteenä suoraa havainnointia, systemaattista haastattelua kuin myös julkisia ja yksityisiä arkistoja. Tapaustutkimuksen aineistona voidaan myös käyttää muita tietolähteitä, niin kauan kuin ne ovat relevantteja tutkittavan ilmiön kannalta (Leonard-Barton, 1990). Voss et al. (2002) mukaan tapaustutkimuksen toteuttamista ei ole rajoitettu kysymystyypeiltään tai toteutusmalleiltaan ja näin se voi tuottaa uusia ja innovatiivisia

näkökulmia, uusia teorioita, sekä se omaa korkean kelpoisuuden ammattinharjoittajien keskuudessa. (Voss et al., 2002).

Voss et al. (2002) mukaan yksittäisen tapauksen tapaustutkimus mahdollistaa syvän näkemyksen saavuttamisen, mutta sen rajoitteena on johtopäätösten yleistyksien vetäminen laajemmaksi teorian tiedoksi. Tapaustutkimus on hyvin toteutettavissa kevyin resurssein.

Tapaustutkimus voidaan toteuttaa yhdellä avainhenkilön haastattelulla, jos kyseisellä henkilöllä on kaikki tarvittava tieto. Jos tutkimuskohteena olevaan ilmiöön liittyvät tiedot jakautuvat useiden henkilöiden kesken tai ilmiöllä on useita näkökulmia, on haastatteluja toteutettava useammille henkilöille. (Voss et al., 2002).

Tapaustutkimuksen tiedonkeruussa keskeistä on kuitenkin mahdollisimman validin informaation tuottaminen ja näin ollen suositeltavaa on käyttää tutkimusmenetelmien triangulaatiota eli useampien tutkimusmenetelmien tuottaman informaation yhteiskäyttöä (Voss et al., 2002). Tätä kutsutaan myös *monimetodiseksi lähestymistavaksi* (englanniksi Multiple Research Strategies) (Hirsjärvi et al., 2004). Menetelmien triangulaation tavoitteena on laajentaa saavutettavaa näkökulmaa, sekä lisätä tutkimuksen luotettavuutta ja toisaalta vähentää perusteetonta oletusten varmuutta.

5.3 Puolistrukturoitu teemahaastattelu

Tässä kappaleessa esitellään teemahaastattelun teoria sekä toteutus tämän työn puitteissa.

5.3.1 Teemahaastattelun teoria

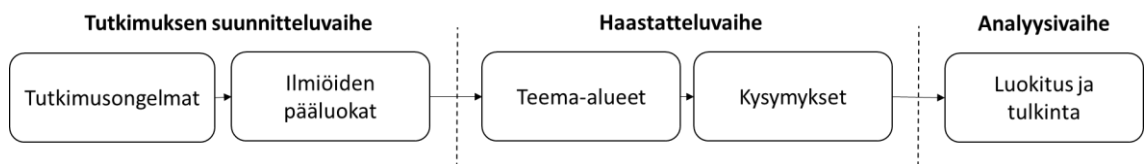
Haastattelut ovat erittäin joustava tapa kerätä tietoa erityisesti tapauksissa, jossa halutaan ymmärtää ihmisen toimintaa ja motiiveja toiminnalle (Hirsjärvi et al., 2004). Hirsjärvi et al. (2004) mukaan teemahaastattelu pyrkii selvittämään ilmiöiden perusluonteen ja -ominaisuudet sekä pyrkii tältä pohjalta muodostamaan hypoteeseja ilman ennalta määrättyjä hypoteeseja. Hirsjärvi et al. (2004) mukaan haastattelu sopii erityisen hyvin tilanteisiin, joissa tavoitteena on syventää saatavilla olevia tietoja. Tämän lisäksi haastattelu on sopiva tilanteisiin, joissa tutkittava aihe on huonosti kartoitettu ja ilmiöstä saatavilla olevaa tietoa on rajoitetusti olemassa.

Haastattelun rajoitteita Hirsjärvi et al. (2004) mukaan on se, että haastattelijan tulisi olla taitava ja kokenut, ne haastattelut ja niiden analysointi vaativat aikaa, sekä haastattelut saattavat sisältää monia virhelähteitä. Haastattelu sisältää aina virhelähteitä, jotka ovat peräisin sekä haastateltavasta, että haastattelijasta. Merkittävä virhelähde on haastateltavien taipumus antaa sosiaalisesti tai muuten ympäristössään hyväksyttäviä vastauksia ja vastauksista saattaa puuttua tutkimukseen vaadittu objektiivisuus.

Puolistrukturoitu teemahaastattelu kohdennetaan nimensä mukaisesti ennalta määriteltyihin teemoihin, eikä se rajoitu pelkästään yksityiskohtaisiin kysymyksiin. Haastattelutyypiltään puolistrukturoitu teemahaastattelu muistuttaa enemmän strukturoimatonta kuin strukturoitua haastattelua (Hirsjärvi et al., 2004).

Teemahaastattelua suunniteltaessa Hirsjärvi et al. (2004) mukaan keskeisimpiä tehtäviä on haastattelussa käsiteltävien teemojen suunnittelu. Haastattelun runko muodostetaan teema-alueuudellon ympärille. Teema-alueisiin perustuen haastattelijä pystyy syventämään keskustelua syvemmälle tutkimusintressien vaatimissa rajoissa. Haastattelutilannetta varten on kuitenkin hyvä luoda teema-alueeseen liittyviä kysymyksiä, jotka toimivat haastateltaessa muistilistana ja ohjaavat keskustelun kulkua.

Hirsjärvi et al. (2004) on kuvannut teema-alueiden sijoittumisen tutkimuksen kokonaisprosessiin, kuva 20.



Kuva 20. Haastattelun teema-alueen sijoittuminen tutkimuskokonaisuuteen (mukaillen Hirsjärvi et al., 2004).

Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa määritellyt tutkimusongelmat ovat kuvattuna työn johdannossa. Teema-alueiksi haastatteluihin valikoitui tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen nykykäytännöt sekä tuotantoprosessissa kohdattavat ongelmat.

5.3.2 Teemahaastatteluiden toteutus

Tapaustutkimuksen kohteena toimi kymmenen kelluvan asunnon, kahden kelluvan ravintolan ja yhden kelluvan jahtiklubin muodostama toimitusprojektitkokonaisuus. Haastatelussa olennaista oli projektin tuotannosuunnitteluun ja projektin tuotannon toteutukseen läheisesti liittyvien henkilöiden kokemuksien ja näkemysten kartoittaminen. Kohdehenkilöt valikoituivat haastateltaviksi sen takia, että heillä on paras näkemys käytännössä toteutettavista reaaliprosesseista ja nykytilan ongelmista. Haastatteluiden kohdehenkilöt valittiin organisaatiosta siten, että nykyisistä toiminnoista pystyttäisiin muodostamaan kuvaus aina myyntivaiheen valmistelevalta suunnittelusta päivittäisten tuotantotoimintojen johtamiseen. Tutkimuksen haastatteluun osallistuivat projektijohtaja, projektipäällikkö, projektiplanneri, työmaajohtaja, sekä työmaan aluepäällikkö. Haastattelut suoritettiin tutkimuksen ensimmäisen kolmanneksen aikana. Tässä vaiheessa tutkittavasta aihepiiristä tehtyyn aikaisempaan tutkimukseen oli ehditty tutustumaan kirjallisuuskatsauksen avulla, tutkimusongelmat ja ilmiöiden pääluokat olivat selvillä.

Haastattelut toteutettiin suomeksi ja ne toteutettiin yrityksen pääkonttorilla Turussa ja työmaatoimistossa Raumalla.

Haastattelun teema-alueiksi valikoitui tuotannosuunnittelun nykyiset toimintamallit ja käytännöt, sekä tuotannossa esiintyvät nykyprosessin ongelmat. Teema-alueiden valinnalla pyrittiin löytämään vastauksia erityisesti kappaleessa 1.2 esiteltyyn ensimmäiseen tutkimuksen alataivoitteeseen ”*Kuvata tuotannosuunnittelun nykyinen toimintamalli ja tunnistaa tuotannossa ilmenevät ongelmat*”. Teema-alueiden pohjalta luotiin haastattelun tueksi kysymykset haastattelun rungoksi Hirsjärvi et al. (2004) viitekehyksen mukaisesti.

Alkuun ennen varsinaisen haastattelun aloittamista tilaisuuksissa esiteltiin diplomityön sisältö, sekä tavoitteet. Ennen haastattelukysymyksien aloittamista toteutettiin ”lämmittely”, jossa pyydettiin esittelemään ammatillinen tausta, vastuualueet kohdeyrityksessä, sekä keskeiset tehtävät. Haastattelutilaisuudet muodostuivat, teemahaastattelulle luonteenomaisesti, melko keskusteleviksi tilanteiksi. Kysymyslistassa esitetyt kysymykset toivat erittäin syväluotaavia vastauksia osin myös sen takia, että jokaisessa haastattelutilaisuudessa oli varsinaisten kysymysten lisäksi myös pohdittu tarkentavia pikkukysymyksiä eri vastuuhenkilöille. Haastattelurungon kysymykset aiheuttivat lukuisia jatkokysymyksiä, jotka osaltaan lisäsivät haastattelun hedelmällisyyttä.

Haastattelujen perusteella kohdeyrityksen tuotannosuunnittelun tilasta saatiin kattava kuvaus. Haastatteluihin valittujen kohdehenkilöiden toimenkuvat olivat vaihtelevia, kuitenkin sellaisissa puitteissa, että he työskentelivät tiiviissä yhteistyössä projektin yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Kohdehenkilöiden vastuualueet ulottuivat aina yrityksen projektisalkun johdosta yksittäisen projektin tuotannonvalvontaan asti. Eri henkilöiden näkökulmat vaihtelivat heidän vastuualueidensa mukaan.

5.3.3 Teemahaastattelun aineisto

Liitteessä 1 on kuvattu haastattelun runko, joka pidettiin samana kaikille haastateltaville. Jokaiselle kohdehenkilölle oli valmisteltu vielä tarkentavia kysymyksiä, jotta haastatteluilla tavoitettiin jokaisen henkilökohtaisesta vastuualueesta laajempi ja tarkempi näkemys.

A-osan (kysymykset 1-6) tavoitteena oli selvittää tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen nykyiset toimintaprosessit ja käytännöt, niihin käytettävät työkalut sekä näistä vastaavat henkilöt. Etukäteen tiedettiin, että tuotannosuunnittelun toimintoja ei ole tarkasti määritelty, mutta kuitenkin määrittelemättömiä käytäntöjä projektin eri vaiheissa oli käytössä. A-osan kysymysten avulla voidaan kuvata tuotannosuunnittelun prosessi ja käytännöt nykytilassaan. Tämä prosessikuvaus luo pohjan toiminnan kehittämiseksi, sillä

kuvauksen avulla ongelmat pystytään kohdistamaan prosessiin ja juurisyiden avulla pystytään vaikuttamaan prosessin kriittisiin kohteisiin.

Kysymyksen 1 tavoitteena on selvittää, millaisia tuotannosuunnittelun toimintoja projektin alkuvaiheessa toteutetaan. Projektin alkupään tuotantoon liittyvät suunnitelmat (taso 1), kuten projektin tuotoksen tuoterakenne ja työn osittelu, luovat pohjan projektin yleisaikataulun luomiselle sekä edellytykset projektin myöhemmälle ohjaamiselle. Tämän lisäksi projektin alkupään suunnitelmat luovat perusedellytykset projektin tavoitteiden toteutumiselle ja sen takia aihepiiri oli myös haastattelun ja koko diplomityön kannalta erittäin keskeinen.

Kysymyksen 2 tarkoituksena on selvittää, millaisia käytäntöjä projektitiimillä on tuotannon keskipitkän aikavälin suunnittelun toteuttamiseksi (taso 2). Koska kohdeyrityksen projektien toimitusaika on erittäin nopea, niin projektin tuotanto aloitetaan ennen kuin tuote on kokonaisuutena suunniteltu. Suunnitelmat tarkentuvat projektin tuotoksen suunnittelun kanssa ja näin ollen tarkentuvien suunnitelmien myötä projektin toteutussuunnitelman tarkentuminen hankinnan ja toteutuksen kannalta mahdollistuvat. Näin ollen keskipitkän aikavälin (4-6 vk.) tuotannosuunnittelu on merkittävässä asemassa, jotta voidaan varmistua, että tuotantoon tulevat osa-alueet on suunniteltu, niihin kuuluvat komponentit on hankittu ja seurannassa, sekä alihankintasopimukset ovat kunnossa työn toteuttamiseksi ja näin ollen työn edellytykset ovat olemassa.

Kysymyksellä 3 haettiin kuvauksia tuotannon lyhyen aikavälin suunnittelun prosesseista, työkaluista ja lyhyen aikavälin tuotannonjohtamisen ja -ohjaamisen käytännöistä ja vastuuhenkilöistä (taso 3). Kysymys aiheutti selvästi eniten jatkokeskustelua, joka oli odotettavissa, koska luonnollisesti käynnissä olevan projektin operatiivinen toiminta pitkälti tapahtuu tällä tasolla.

Kysymys 4 selvittää niitä konkreettisia käytäntöjä, joilla todella varmistetaan tulevien tuotantotehtävien edellytykset ja onnistumisen lähtökohdat. Konkreettisilla käytännöillä tarkoitetaan sitä, että joku vastuuhenkilö todella tarkastaa suunnitelmat, sekä saapuneet materiaalit ennen työvaiheen alkamista. Tämä on olennainen asia tuotannon edellytysten varmistamiseksi, jotta pidemmän aikavälin suunnitelmat todella pystytään implementoimaan.

Kysymyksen 5 tarkoituksena on löytää toimintamallit tuotannon edistymän seurannasta, käytettävistä mittareista ja muista mahdollisista työkaluista. Kysymyksellä pyrittiin selvittämään, miten tieto tuotannon toteumasta siirtyy toteuttavilta alihankkijoilta työmaan johdon kautta projektijohdon tietoisuuteen. Tämän lisäksi keskustelua käytiin, perustuuko toteuman seuranta pelkkiin alihankkijoiden raportointeihin vai liittyykö työvaiheisiin kuittauksia ja työn hyväksyntöjä.

Kysymyksellä 6 pyrittiin selvittämään projektien materiaalivirtojen hallintaan liittyviä käytäntöjä, työkaluja ja toimintamalleja. Materiaalien oikea-aikainen saatavuus on olennainen osa tuotannosuunnittelua ja keskeinen osa tuotannon onnistumista suunnitelman mukaisesti.

B-osan (kysymykset 7-8) tarkoituksena on luoda läpileikkaus nykyisessä toimintamallissa oleviin ongelmiin ja kehityskohteisiin. Kysymys aiheutti erittäin paljon jatkokysymyksiä ja keskustelua haastattelun aikana. Vastaukset olivat todella runsaita ja kuvauksia tuotannon haasteista oli paljon.

Kysymys 7 antoi haastateltaville mahdollisuuden kuvata omasta näkökulmastaan merkittävimmät ongelmat, jotka ilmenivät tuotannon nykyisissä projekteissa.

Kysymys 8 hakee vastauksiin virheistä oppimisen näkökulmaa. Kysymys antaa haastateltaville mahdollisuuden kuvata oman näkemyksen ongelmien juurisyistä.

C-osan kysymykset (kysymys 9) antaa haastateltaville mahdollisuuden tuoda esille aiheeseen relevantteja lisäyksiä ja näkökulmia, jos haastateltava ei ole osannut näihin etukäteen valmistelluilla kysymyksillä ohjata. Kysymys ei tuonut juurikaan lisää laajuutta haastattelun tuloksiin, vaan sitä lähinnä käytettiin jo käytyjen näkökulmien kertaamiseen.

5.4 Ohjelmistotestaus

Ohjelmistojen testauksen katsottiin olevan työhön soveltuva tutkimusmenetelmä, koska sen avulla pystyttiin omaan projektiin soveltamaan tietomallinnusohjelmistojen ominaisuuksia, sekä kokeilemaan, että pystytäänkö sillä toteuttamaan juuri kohdeyrityksen tarpeisiin soveltuvia tehtäviä. Tietomallien edut oli jo yrityksessä havaittu suunnittelutoimintojen osalta ja menestys tällä osa-alueella motivoi tekemään testejä tietomallien soveltuvuudesta tuotannosuunnittelutoimintoihin.

Ennalta oli määritelty tietyt tarpeet, joita ohjelmistojen avulla haluttiin testata. Ohjelmistotestauksen runko on kuvattu liitteessä B. Tietomallien soveltuvuus tuotannosuunnittelutoimintoihin testattiin Tekla Structures-ohjelmiston avulla.

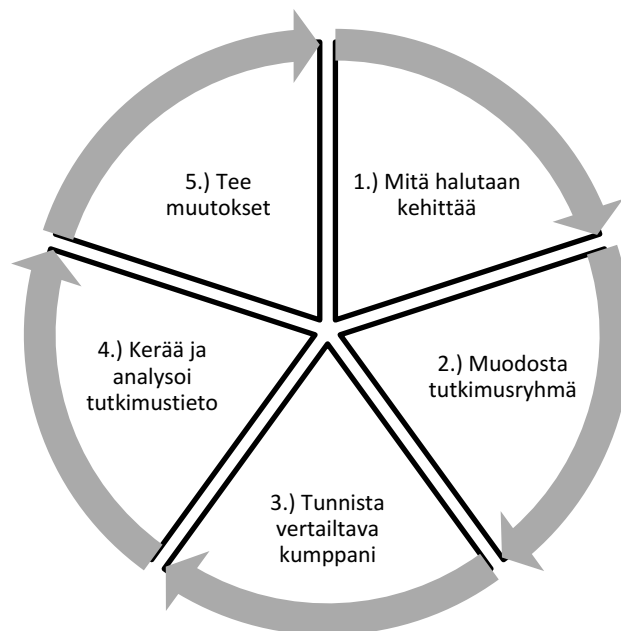
5.5 Vertailututkimus

Diplomityössä toteutettiin yksi vertailututkimus-tapahtuma yhteistyössä diplomityön kohdeyrityksen kumppanuusyrityksen kanssa. Kumppanuusyritys valittiin vertailuanalyysiin mukaan, koska yrityksellä oli pidempää kokemusta tietomallien käytöstä erilaisten rakennusprojektien käytöstä. Kumppani oli soveltuva vertailututkimuksen partneriksi sen vuoksi, että yritykset sijoittuvat toimitusketjun eri tasoille, eikä yrityksillä näin ole kilpailevaa asetelmaa markkinoilla.

Kumppanuusyrityksen kanssa oli toteutettu jo aiemmin yhteistä toiminnan kehitystyötä, joten kyseinen tilaisuus palveli myös kumpaakin yritystä laajemmalla rintamalla.

Vertailututkimus on ennen kaikkea kehittymisen työkalu lähtökohtanaan, että ei keksitä asioita uudelleen, vaan tunnistetaan markkinoilta tuotteisiin, palveluihin tai prosesseihin liittyvät parhaat käytännöt ja niiden tekijät. Kun parhaat tekijät on tunnistettu, vertaillaan toimintatapoja, pyritään oppimaan ja kehittämään omaa toimintaansa kohti parhaiksi havaittuja käytäntöjä (Bhutta et al., 1999).

Bhutta et al. (1999) mukaan vertailututkimus on jatkuva prosessi, joka seuraa perinteistä PDCA-mallia. Vertailututkimus voidaan jakaa viiteen vaiheeseen (kuva 21). Tämän diplomityön puitteissa toteutettava benchmarking-tutkimus on toteutettu Bhutta et al. (1999) mallin mukaisesti.



Kuva 21. Vertailututkimuksen toteutusprosessi (mukaillen Bhutta et al., 1999).

Vaiheessa 1 tulee tunnistaa ne kohteet, joita halutaan kehittää, eli vertailututkimuskohde. Tässä tapauksessa haluttiin tutkia tietomallintamisen käyttöprosesseja tuotannosuunnittelun apuna. Toisessa vaiheessa tulee muodostaa tutkimusryhmä. Työssä toteutettuun benchmarkingiin osallistui diplomityön kohdeyrityksen puolesta suunnittelujohtaja ja kehitysjohtaja diplomityöntekijän lisäksi. Kolmannessa vaiheessa tulee tunnistaa vertailututkimukseen mukaan otettava kumppani. Tässä tapauksessa päädyttiin kumppanuusyritykseen, sillä perustein, että sillä oli tietomallien käytöstä tuotannosuunnittelun toimintoihin erittäin merkittäviä kansallisesti tunnettuja referenssejä. Vaiheessa neljä tutkimuksen tieto kerätään ja analysoidaan. Tässä tapauksessa tiedonkeruu ja analysointi toteutetaan tämän diplomityön puitteissa.

Viidennessä vaiheessa nykyisiin prosesseihin toteutetaan muutokset prosessin kehittämiseksi. Tässä vertailututkimuksessa ne tulevat osaksi diplomityön tuloksia.

Tässä diplomityössä käytetty vertailututkimuksen muoto on Bhutta et al. (1999) mukaan funktionaalista prosessien benchmarkingia. Prosessien benchmarking-toimintamallissa käytäntöjä ja prosesseja vertaillaan tarkoituksenaan kehittää omia prosesseja kohti parhaiksi havaittuja käytäntöjä. Funktionaalinen benchmarking on tutkimuksen toteuttamista omalla toimialallaan.

Tutkimus toteutettiin siten, että kumppaniyritykselle lähetettiin ennakolta itseään kiinnostavat toimintamallit ja prosessit (Liite C). Kumppanuusyritys muodosti aihealueeseen liittyvän asiantuntijaryhmänsä kanssa ennalta määritettyihin kehityskohteisiin esityksensä omista toimintamalleista ja prosesseistaan. Kumppanin asiantuntijaryhmään kuului BIM-kehitysosaston päällikkö, BIM-erityisasiantuntija, sekä toimialajohtaja. Toimialajohtajan rooli oli johtaa keskustelua ja muut vastasivat tietomallinnuksen substanssiosaamisesta.

Tutkimus toteutettiin systemaattisesti ennalta määriteltyjen kehitystarpeiden pohjalta. Benchmarking-tilaisuuden järjestäminen oli diplomityön kannalta erittäin relevantti tutkimusmenetelmä, sillä se tarjosi todellista tietoa tietomallinnuksen reaaliprosesseista ja käytön tuomasta lisäarvosta, joita ei pystytty kirjallisuuden avulla selvittämään.

6. TULOKSET

Tässä kappaleessa käsitellään haastattelututkimuksen tulokset, sekä nykyiset toimintamallit ja prosessit. Lisäksi kappaleessa esitellään ohjelmistotestauksen ja vertailututkimuksen tuottamat tulokset.

6.1 Haastattelun tulokset

Haastattelun kohdehenkilöt ovat jaettuna kahteen ryhmään, ryhmät on nimetty *työmaa* – ja *projektinjohtoryhmäksi*. Haastattelujen tulokset on jaoteltu kahteen eri ryhmään aineiston paremman käsiteltävyyden vuoksi sekä haastateltavien anonymiteetin varmistamiseksi. Tulokset on koottu siten, että nauhoitetuista haastatteluista (yhteensä n.6 tuntia materiaalia) on tehty litteroinnit ja näistä on koostettu seuraavat vastaukset. Haastatteluissa eri henkilöiden kesken ilmeni monia samoja asioita, jotka haastatteluissa esitettiin hieman erilaisin sanakäntein riippuen luonnollisesti myös haastateltavien vastuualueiden eroista. Tuloksia on pyritty lajittelemaan siten, että esille tuotuja asioita ei ole esitetty moneen kertaan, vaikka eri henkilöt olisivatkin asiasta maininneet.

Haastattelujen vastaukset on ryhmitelty kysymyslomakkeen osioittain (A-, B- ja C-osiot). Puolistrukturoidulle haastattelulle ominaisesti tilanteet muodostuivat keskusteleviksi ja kysymykset herättivät itse haastattelutilanteessa huomattava määrä jatkokysymyksiä. Eri haastattelujen keskusteluluontoisuudesta ja lukuisista tarkentavista kysymyksistä johtuen vastausaineiston luokittelu kysymyksittäin ei ole työn kannalta mielekäästä.

6.1.1 Työmaaryhmä

Työmaaryhmään kuuluvat henkilöt vastaavat työmaan päivittäisestä johtamisesta, alihankkijoiden ohjauksesta, asennuksien valvonnasta ja tuotelaadun toteutumisesta. Haastattelun työmaaryhmään kuuluivat työmaapäällikkö ja työmaan aluepäällikkö.

Osa A – Tuotannosuunnittelun nykyiset toimintamallit ja käytännöt

Ennen rakennusvaihetta toteutettavat käytännöt

Ennen rakentamisvaiheen alkamista tuotantoryhmän jäsenet ovat osallistuneet omien sanojensa mukaan vähän tuotannosuunnitteluun ja tuotantovaihetta valmisteleviin tilaisuuksiin, kuten suunnittelukatselmuksiin. Joitain tuotannosuunnittelutilaisuuksia tiedettiin olleen, mutta niihin ei ollut ehditty edeltävän projektin vuoksi osallistua. Nämä tilaisuudet olivat myöskin olleet luonteeltaan suunnittelun ja terästyöalihankkijan välisiä suunnittelukatselmuksia. Työmaaryhmän mukaan heille on luovutettu suunnitteluaineisto

ennen tuotannon aloitusta. Suunnitteluaineiston pohjalta he ovat aloittaneet tuotannon valmistelut omalla tahollaan.

Työmaaryhmällä oli ollut edustus tuotantovaiheen valmisteluihin mock-up-valmistuksen muodossa. Mock-up-rakenteita on käytetty apuna hyväksyttäessä erilaisia suunnitteluratkaisuja asiakkaalle. Sen lisäksi sisäisesti mock-up-mallia oli käytetty sisäisesti joidenkin erilaisten suunnitteluvaihtoehtojen arviointiin, kuten seinä- ja lattiarakenteiden valintaan.

Työmaaryhmän mukaan he eivät ole osallistuneet aliurakoitsijoiden kanssa tehtyihin sopimusneuvotteluihin tai työn sisältöjen määrittelyyn, vaan sopimusaineisto on sopimuksen tekemisen jälkeen luovutettu heille valvontaa varten.

Haastattelun perusteella projektista ei oltu dokumentoitua tuoterakenteen (PBS) määrittelyä tai työn ositusta (WPS). Työmaaryhmän mukaan tuotannon työvaiheiden, -järjestyksen ja vaiheiden kestojen määrittely oli hoidettu tuotantoaikataulun avulla, jossa MS Project aikatauluun oli tehty yksityiskohtainen kuvaus tuotannon eri vaiheiden etenemisestä. Tuotantoaikataulu pohjautuu sopimusvaiheessa määriteltyyn yleisaikatauluun ja siihen kirjattuihin virstanpylväisiin, jonka pohjalta projektiplanneri tuottaa tuotantoaikataulun.

Rakennusvaiheen käytännöt

Työmaalla on käytössä palaverikäytäntöjä, joiden avulla tuotannon viestintä, johtaminen ja työn edellytykset pyritään varmistamaan. Työmaalla pidetään sisäiset ja ulkoiset viikkopalaverit sekä päivittäinen aamupalaveri.

Sisäisessä viikkopalaverissa käydään läpi työmaan yleistilannetta kuten aikataulu-, toteuma-, työturvallisuus- ja hankintatilanteet. Työmaan toteuman perusteella luodaan uudet etenemistavoitteet tulevalle viikolle. Sisäisessä viikkopalaverissa käydään läpi myös suunnittelutilanne, jos projektiin liittyviä suunnitelmia on vielä keskeneräisinä. Sisäiseen viikkopalaveriin osallistuu pääsääntöisesti projekti- ja työmaajohto, sekä suunnitteluvastaavat.

Ulkoiseen viikkopalaveriin osallistuvat sisäisen palaverin osallistujien lisäksi kaikkien työmaalla olevien aliurakoitsijoiden työnjohto, sekä joskus myös alihankkijoiden ylempää johtoa. Ulkoisessa palaverissa käydään läpi työmaan yleistilanne sekä tärkeimpänä alihankkijakohtaiset aikataulutoteumat ja uudet etenemistavoitteet. Tässä vaiheessa käydään myös aliurakoitsijoiden miehityksen ja resurssien riittävyys suhteessa vaadittuun työn etenemistavoitteeseen. Palaveri on luonteeltaan keskusteleva ja kaksisuuntainen, jossa aliurakoitsijoilla on mahdollisuus kommentoida esille tulleita asioita.

Aliurakoitsijoiden työnjohdon kanssa pidetään päivittäin aamupalaveri, jossa käydään läpi sen hetkiset työtehtävät ja lähipäivien työtehtävät. Palaveri on luonteeltaan keskusteleva ja palaverissa käydään läpi, onko työt edenneet suunnitelmien mukaan, ja millaisia ongelmia on ilmentynyt. Aliurakoitsijoilta kerätään tuotannossa ilmenneet ongelmat ylös. Näihin ongelmiin pyritään löytämään ratkaisu saman päivän kuluessa.

Tuotannonohjauksen työkaluja ei ole haastattelun mukaan tuotannon johdolla käytössä aikataulutökalujen lisäksi. Aliurakoitsijoiden etenemää seurataan s-käyrien avulla, jotka perustuvat suunniteltuihin aikatauluihin. Viikkotyölista- tai työmääräinkäytäntöjä ei ole käytössä, vaan päivittäinen työn organisointi ja johtaminen toteutetaan työmaajohdon ja aliurakoitsijoiden työnjohdon välillä pitkälti suullisesti. Haastatteluissa todettiin, että työvaiheiden toteuttamisen edellytyksiä ei selvitetä systemaattisesti, vaan edellytyksien olemassaolo keskustellaan eri palaverien yhteydessä. Työmaaryhmän mukaan kohdeyrityksen tuotantostrategia, jossa aliurakoitsijat vastaavat itse työnsuunnittelusta ja asennuksesta, mahdollistaa ettei viikoittaisia työlistoja tai ennalta määrättyjä työkohdesuunnitelmia tarvita. Aliurakoitsijoiden työjohto siis määrittää itse yksityiskohtaisen työjärjestyksen parhaalla mahdollisella tavalla. Kysyttäessä miten aliurakoitsijoiden työjohtajat varmistavat, etteivät heidän työkohteensa ole päällekkäin toisten alihankkijoiden kanssa ei osattu vastata.

Työmaaryhmän haastattelujen mukaan rakennusvaiheen alkamisen jälkeen tuotannon pidemmän aikavälin (esim. 4 viikkoa etukäteen) suunnittelua ei systemaattisesti toteuteta. Eri vastuuhenkilöt toteuttavat pidemmän aikavälin tuotannonsuunnittelua omilla tahoillaan, mutta systemaattista katselmointia pitkällä aikavälillä tuotannon edellytysten varmistamiselle ei ole.

Toteuman seuranta

Tuotannon toteumaa seurataan viikkotasolla. Työmaaryhmä raportoi etenemän projektiplannerille. Projektiplanneri koostaa etenemät ja toteuttaa aliurakoitsijoiden osalta MS Projectin avulla toteuman seuranta, sekä projektin kokonaistoteuman seuranta. Seuranta näyttää projektin valmiustason ja projektin ennusteen.

Tuotannon tehokkuudesta tai tuotannossa olevista ongelmista ei ole mittareita tai seuranta. Vaikka aikataulun seuranta ja työn etenemää seurataan, niin sen perusteella ei voida sanoa, onko työn toteutus ollut jouhevaa ja mennyt kerralla oikein. Tuotannon tehokkuuden seuranta tai virheistä oppimista ei työmaaryhmän mukaan pidetä kriittisenä, sillä aliurakoitsijoiden sopimukset on tehty pääosin urakkasopimuksina ja näin ollen he ovat sitoutettuja toimimaan aikataulussa. Tämä tarkoittaa sitä, että aliurakoitsijat ovat usein pakotettuja lisäämään työmaan resursseja, jos aikataulusta jäädytään.

Materiaalienhallinta

Materiaalien hallinta ja logistiikka on ulkoistettu kumppanille. Projektin aikana käytössä on kaksi varastoa, toinen sijaitsee telakka-alueen ulkopuolella ja toimii välivarastona ja sitä hallinnoi kumppani, toinen varasto sijaitsee telakka-alueella ja varastoa hallitaan kohdeyrityksen oman logistiikkahenkilöstön voimin.

Yrityksessä ei ole käytössä järjestelmää, josta tilausten statusta voitaisiin yksiselitteisesti seurata. Toimitusten sisältöä ei logistiikkahenkilöstön toimesta systemaattisesti valvota, eikä saapuville toimituksille määrätä merkattuja varastopaikkoja. Haastatteluiden perusteella materiaalien käytettävyyttä ei systemaattisesti katselmoida ennen työvaiheiden alkamista.

Osa B – Tuotannon nykyprosessin ongelmat

Materiaalienhallinta

Työmaaryhmän mukaan yksi merkittävimmistä työn etenemisen keskeyttäjäistä on ongelmat materiaalinhallintaprosessissa. Toimituksia on myöhässä ja materiaalia etsitään usein ja ongelmat havaitaan pääosin siinä vaiheessa, kun materiaalia tarvitaan työvaiheille. Haastattelun perusteella toimituksien hallintaan ei ole yrityksessä määritelty systemaattista prosessia ja prosessin vastuuta ei ole kohdennettu selkeästi kenellekään.

Yrityksellä ei ole käytössä mitään koottua järjestelmää, johon tilaustiedot tallennettaisiin, tilausstatukset päivitetäisiin ja varastointitiedot kirjattaisiin. Tilaustietojen puute aiheuttaa sen, että työmaan johto joutuu olemaan jatkuvassa yhteydessä hankinnan kanssa materiaalien toimituksiin liittyen, koska materiaaleista ei työmaalla ole välttämättä mitään tietoa. Työmaan johto joutuu usein fyysisesti käymään varastoissa tarkistamassa, onko tietty toimitus saapunut vai ei. Koska varastopaikkoja ei kirjata, niin etsiminen on todella työlästä ja kuluttaa työmaan johdon resursseja. Materiaalien toimitukset jakautuvat epäjohdonmukaisesti työmaalla sijaitsevaan varastoon ja työmaan ulkopuolella olevan välivaraston välillä. Tämä osaltaan lisää materiaalien etsintätyötä, koska etsittäviä paikkoja on useampia. Telakalla sijaitsevassa varastossa toimii kohdeyrityksen logistiikkahenkilökuntaa, mutta heidän tehtävänsä on työmaaryhmän mukaan lähinnä trukilla materiaalien siirtäminen, eikä heillä ole valmiuksia systemaattisen varastohallintaan.

Haastatteluiden perusteella ongelmia materiaalienhallinnassa aiheuttaa myös toimitusten huono merkkäminen. Toimituksiin ei ole määritelty mihin kohteisiin materiaalit on hankittu. Samanlainen komponentti voi kuulua moneen eri paikkaan ja varastosta haettu materiaali voi ajautua ei-kriittisiin työvaiheisiin. Logistiikkahenkilöstö pystyy tarkistamaan saapuneet toimitukset ja kirjaamaan mitä on saapunut, mutta he eivät tiedä ovatko toimituksen kaikki tavarat saapuneet vai onko osa materiaaleista jäänyt jälkitoimitukseen. Tilauksilla ei ole työmaaryhmän tiedon mukaan ole järjestelmällistä

tilausnumerojärjestelmää tai muuta sellaista, jonka avulla tilauksia voitaisiin tunnistaa ja kuitata.

Työmaaryhmän mukaan telakan ulkopuolella sijaitseva välivarasto ei tuo lisäarvoa toimintaan, vaan se lisää järjestelmän kompleksisuutta. Haastattelun perusteella alkuperäisen toiminta-ajatuksen mukaan välivarastosta kutsuttaisiin tarvittaessa komponentit työmaan varaston kautta asennuspaikoille. Työmaaryhmän mukaan tällaista ennakoivaa ja materiaalienohjausta ei ole pystytty toteuttamaan liian vähäisten henkilöstöresurssien vuoksi.

Suunnitelmat

Suunnitelmat ovat tuotantoryhmän mukaan merkittävä pullonkaula. Suunnitelmat tulevat tuotannolle työmaaryhmän mukaan erittäin myöhäisessä vaiheessa erityisesti projektin tuotannon alkuvaiheessa ja tästä aiheutuu se, että asennukseen vaadittavia suunnitelmia ja materiaaleja ei pystytä katselmoimaan eli työn edellytyksiä ei pystytä varmistamaan. Tästä johtuu se, että ongelmat ilmenevät usein asennusvaiheessa ja näin ollen työn eteneminen pysähtyy.

Suunnitelmat sisältävät myös selkeitä suunnitteluvirheitä, jotka ilmenevät vasta työvaihetta rakennettaessa. Tällaiset tilanteet seisauttavat työt sillä, jos ongelmaa ei osata tuotanto-organisaation toimesta ratkaista, niin tilanteista joudutaan pyytämään suunnittelulta korjauspyyntöjä tai tarkennuksia. Työmaaryhmällä ei ollut selkeää kuvaa mitkä suunnitteluratkaisuista he saisivat itse ratkaista ja toimittaa suunnittelumuutokset takaisin ja mihin heillä ei ole oikeutta tehdä muutoksia. Näin ollen monissa tapauksissa turvallisempaa on kysyä tukea suunnittelusta, joka toisaalta pysäyttää tuotantovaiheen etenemisen.

Työmaaryhmän mukaan heille toimitettavat paketit sisältävät paljon tarpeettomia suunnitelmia ja pakettien sisältöön tarvittaisiin parempaa fokusointia, jotta oikeat suunnitelmat saataisiin nopeasti käsille. Työmaaryhmästä ei kuitenkaan osattu kommentoida tarvitseeko joku muu näitä ”ylimääräisiä” suunnitelmia.

Työolosuhteet

Työmaan olosuhteita kritisoitiin työmaaryhmän toimesta ja niitä on kuvattu satunnaisesti jopa ”katastrofaalisiksi”. Projektin alussa varustelua päästiin toteuttamaan sisätiloissa telakan lohkohallissa. Projektin edetessä kohteet kuitenkin siirtyivät ulkotiloihin. Ulkotiloissa suojaukset ovat olleet riittämättömiä ja niitä on jouduttu lukuisia kertoja purkamaan ja taas uudelleen suojaamaan. Suojauksien riittämättömyys on aiheuttanut satunnaisia vahinkoja työmaalla ja työvaiheita on sen vuoksi jouduttu tekemään uudestaan. Tämän lisäksi olosuhteista ilmeneviä ongelmia on ollut valu- ja laatoitustöissä, sillä lämpötilan hallinta on ollut vaikeaa tuulisella telakka-alueella. Työmaaryhmän näkemyksen mukaan perinteinen rakennussuojaus ei ole riittävä varmistamaan

kohdeprojektissa vaadittuja työolosuhteita, vaan työtä pitäisi saada tehdä pidemmälle sisätiloissa.

Osa C – Muuta

Alihankintasopimukset

Työmaaryhmästä haluttiin tuoda esille se, että alihankintasopimusmenettelyjä tulisi kehittää. Eri alihankkijoiden vastualueet tulisi olla paremmin määriteltyjä siten, että rajapinnoille ei syntyisi ”ei kenenkään vastuulla”-tilanteita. Näitä esiintyy tuotantovaiheessa työmaaryhmän mukaan säännöllisesti ja tämä estää seuraavaa työvaihetta alkamasta. Lisäksi tällaisissa tilanteissa työmaalta käsin joudutaan tekemään nopeita hankintoja, jotta tarvittavat komponentit saadaan ja työtä pystytään jatkamaan. Tämän lisäksi työmaaryhmän näkemyksen mukaan alihankintasopimukset tulevat tuotannon näkökulmasta liian myöhään ja se aiheuttaa työvaiheille viivästyksiä.

Työmaan johto- ja suunnitteluresurssit

Työmaaryhmän näkemyksen mukaan työmaan toimintatapoja tulisi kehittää. Tämä vaatii tuotantotiimin vahvistamista, sillä työmaalla olevien päälliköiden ja valvojien aikaa kuluu tällä hetkellä täysin reaktiivisiin toimenpiteisiin, eikä aikaa ennakoivalle suunnittelulle tai toiminnan kehittämiseen jää resursseja. Työmaalla olevien suunnittelijoiden ja valvojien välisen yhteistyön pitäisi olla syvempää, jotta ongelmia voitaisiin ratkaista työmaalla. Tällä hetkellä suunnitteluvastaavat ovat satunnaisesti työmaalla ja työmaalla eri suunnittelualojen toteutumista tarkkailee nimetty valvoja. Tällä hetkellä valvojat eivät ehdi juurikaan tehdä tarkastuksia ja valvoa toimintoja, vaan he ratkaisevat esille tulevia kysymyksiä.

Työmaaryhmän mukaan suunnitelmien tarkennuksia tarvitaan päivittäin. Koska suunnitteluvastaavat eivät ole työmaalla, niin tällöin tarkennuksien kommunikointi ja ratkaiseminen sekä työn eteneminen hidastuvat.

Työmaaryhmän mukaan aliurakoitsijoiden työnjohtoa on paikalla liian vähän suhteessa aliurakoitsijoiden työntekijöiden määrään.

6.1.2 Projektinjohtoryhmä

Projektinjohtoryhmään kuuluvat henkilöt ovat kokonaisvastuussa, että projekti toteutetaan sopimuksen mukaisesti tavoitteensa saavuttaen.

Osa A – Tuotannosuunnittelun nykykäytännöt

Ennen rakennusvaihetta toteutettavat käytännöt

Projektinjohtoryhmän mukaan he eivät ole osallistuneet aktiivisesti ennen sopimuksen solmimista asiakkaan kanssa toteutettavaan keskusteluun tai projektin myyntivaiheen aikaisiin valmisteluihin. Projektinjohtoryhmä on osallistunut ennen sopimusta kuitenkin projektin yleisaikataulun laatimiseen, johon kirjataan projektin merkittävimmät virstanpylväät.

Aikataulutuksen perusteena sopimusvaiheessa ei ole projektiryhmän mukaan käytetty tuoterakenteita tai työnositusta, vaan aikataulua on lähdetty rakentamaan suoraan eri osakokonaisuuksien vastuuhenkilöiden arvioiden pohjalta. Eri työvaiheiden sisällöt ja aika-arviot on määritelty karkeina arvioina, eikä työvaiheiden kestoja ole luotu esimerkiksi toteutuksesta vastaavan organisaation toimesta. Projektinjohtoryhmän mielipide oli se, että yleisaikataulun laadinnan tulisi perustua enemmän asiantuntijoiden ja toteuttavien organisaatioiden arvioihin työkokonaisuuksien kestoista.

Haastattelun perusteella ennen sopimuksen solmimista alihankkijoilta ei ole pyydetty tarjouksia tai arvioita kokonais-/systeemitöiden kustannuksista, vaan kalkyyllit ovat perustuneet aikaisempiin kokemuksiin. Näin ollen alihankkijoita ei oltu myöskään ennen projektisopimuksen kirjoittamista sitoutettu projektin toteutukseen. Projektinjohtoryhmän mukaan ennen sopimusta olleet suunnitelmat projektin tuotokset ovat olleet konseptinomaisia ja järjestelmien todellinen suunnittelu on aloitettu oikeastaan vasta sopimuksen laatimisen jälkeen.

Aliurakkasopimukset on haluttu tehdä kiinteinä urakkasopimuksina, joihin on tarvittu valmis suunnitteluaineisto. Suunnitelmien laatimiseen on kulunut paljon aikaa ja näin ollen myös aliurakoitsijoiden hankkimiseen on kulunut paljon aikaa sopimuksen teon jälkeen.

Yleisaikataulua katselmoidaan yhdessä alihankkijoiden kanssa alihankkijasopimusten teon yhteydessä, jolloin aikataulu hyväksytetään ja alihankkijat sitoutetaan sovittuun aikatauluun. Alihankkijat sopeuttavat oman toimintansa sovittuun aikatauluun ja varaa omat resurssinsa siten, että pystyvät työkokonaisuutensa sovitusti toteuttamaan. Työmaapalaverissa katselmoidaan viikoittain alihankkijoiden etenemät ja tarvittaessa alihankkijan resursseja pyydetään lisäämään, jotta he pystyvät toteuttamaan työnsä etukäteen sovitussa aikataulussa.

Projektiryhmällä ei ollut tarkkaa näkemystä siitä, millä perusteilla systeemivastaavat ja hankinta määrittelevät ostettavia kokonaisuuksia tai miten ne vastaavat, että kaikki hankintakokonaisuudet tulevat täytetyksi. Rakennustapamenetelmät on pohdittu keskusteluluontoisesti kriittisimpien rakenteiden osalta jo projektin myyntivaiheessa, mutta yksityiskohtaisempi tuote- tai työrakenteeseen pohjautuvaa työvaiheiden suunnittelua ei ole toteutettu ja dokumentaatio on ollut vajaa.

Aliurakoitsijoista vain terästyötoimittajan kanssa on pidetty johdonmukainen suunnittelukatselmus. Tämä on toteutettu, jotta terästyön toimittava telakka on pystynyt tarkentamaan tuotantosuunnitelmaansa ja tekemään tilavarauksen kapasiteettiinsa. Muiden alihankkijoiden kanssa ei ole pidetty varsinaisia suunnittelukatselmuksia tai tuotantosuunnitelmia. Perusteluna on se, että alihankkijat ovat tutustuneet tarjouspyynnön myötä suunnitelmapakettiin ja tehneet tämän pohjalta tarjouksen kokonais- tai systeemitöimituksista ja näin ollen heidän on katsottu olevan perehtyneitä tulevaan rakennusprosessiin.

Rakennusvaiheen käytännöt

Rakennusprosessin johtaminen tapahtuu projektijohtoryhmän toimesta pääosin viikkotason toimintana, joka perustuu puhtaasti tarkennettuun yleisaikatauluun. Projektijohtoryhmä osallistuu työmaaryhmän mukana viikkopalaveriin, jotka ovat kuvattu jo työmaaryhmän yhteydessä. Projektijohtoryhmän mukaan vastuu tuotannonjohtamisesta on kuitenkin työmaaryhmällä.

Tiedostettua pidemmän aikavälin suunnittelua ei toteuteta systemaattisesti projektinjohtoryhmässä, vaan kukin vastuuhenkilö toteuttaa sitä itsenäisesti tahollaan ja asiat käydään läpi muiden asioiden ohessa.

Projektinjohtoryhmässä tiedostettiin, että viikkopalaverit ovat luonteeltaan erittäin reaktiivisia proaktiivisuuden sijasta ja tämä oli heidän näkemyksensä mukaan väärä lähtökohta tuotannon johtamiselle. Projektinjohtoryhmän mukaan tuotannon työvaiheiden toteuttamisen edellytykset pitäisi katselmoida jo etukäteen, jotta ongelmia ei ilmenisi.

Projektinjohtoryhmän mukaan heidän palaveristaan kirjataan muistiot, jotta ongelmia pystyttäisiin seuraamaan ja ne voitaisiin kuitata ratkaistuiksi. Informaatiota ei kuitenkaan käytetä laajemmassa mittakaavassa toiminnan kehittämiseen.

Toteuman seuranta

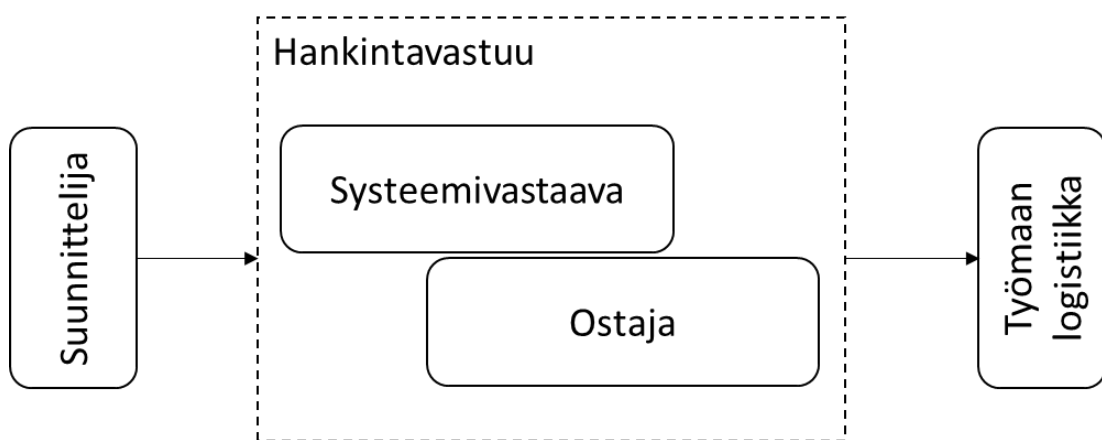
Tuotannon toteumaa seurataan S-käyrien avulla. Alihankkijat raportoivat etenemän työmaan johdolle, joka koostaa etenemätiedon projektiplannerille. Projektiplanneri koostaa eri alihankkijoiden etenemästä koko projektin etenemiskäyrän, jota voidaan käyttää ylöspäin projektin etenemän viestintään.

S-käyrän avulla seurataan projektin edistymistä ja jättämää, sekä ennakoidaan tulevia työvaiheita. Tuotannon toteuman avulla ei pystytä seuraamaan alihankkijan todellisia työntunteja tällä hetkellä, vaikka henkilömäärä työmaalla kyllä tiedetäänkin. Näin ollen alihankkijoiden tehokkuutta ei pystytä mittaamaan.

Osa B – Nykytilan kehityskohteet

Hankintojen ja materiaalivirtojen hallinta

Projektinjohtoryhmän mukaan hankinnalla on ollut huomattavasti haasteita projektin aikana ja tiedonsiirtoprosessi suunnittelusta hankintaan ei ole haastattelujen perusteella systemaattinen. Haastatteluihin perustuva nykyinen suunnittelun ja hankinnan yhteys on prosessina kuvan 22 kaltainen.



Kuva 22. Materiaalinhallintaprosessin vastuukaavio.

Prosessi kulkee projektijohtoryhmän näkemyksen mukaan pääpiirteissään siten, että alihankintasuunnittelu toteuttaa eri osa-alueiden suunnitelmat kohdeyrityksen systeemivastaavalle, joka yhdessä ostajan kanssa määrittelee hankintakokonaisuudet ja toimittajat. Ostaja toteuttaa hankinnat ja työmaan logistiikka vastaa materiaalien vastaanotosta.

Haastatteluissa tuli ilmi, että se kenen vastuulla hankintojen oikea-aikainen ajoittaminen ja saattaminen työmaalle on, ei ole yhtenevää näkemystä. Projektiryhmän mukaan projektin aikatauluun tulisi erikseen määritellä suunnittelulle katselmuksia, joihin mennessä tietty suunnittelukokonaisuus on valmis ja se voidaan vapauttaa hankintaan, josta hankinta huolehtisi kokonaisuuden oikea-aikaisesti työmaalle. Projektinjohtoryhmän näkemyksen mukaan suunnitelmat eivät lukkiudu selkeästi, vaikka ne olisivatkin valmiita, ja siirry prosessissa eteenpäin. Projektinjohtoryhmästä toisaalta taas mainittiin, että osa suunnitelmista tulee hankintaan pieninä kokonaisuuksina, jolloin hankinta joutuu ostamaan pieniä kokonaisuuksia.

Projektinjohtoryhmän haastatteluissa tuotiin esille lisäksi täysin samat logistiikkaan ja materiaalienhallintaan liittyvät ongelmat, jotka työmaaryhmä haastatteluissaan mainittiin.

Projektinjohtoryhmän mukaan hankintakokonaisuuksien hallinta on monimutkaista, koska osa kokonaisuuksista ostetaan aidosti kokonaistoimituksina ja joistain kokonaisuuksista kohdeyritys ostaa osan materiaaleista. Haastattelun perusteella, ei ole olemassa yksikäsitteistä tietoa siitä, mitkä komponentit ovat omia hankintoja ja mitkä kuuluvat aliorakointisijoille tai millä motiiveilla ne eivät kuulu osaksi kokonaistoimitusta. Koska omalla vastuulla olevia komponentteja ei tiedosteta, niin niiden hankintastatusten seuraaminen on projektinjohdon toimesta mahdotonta.

Rakennustapa-analyysit

Projektien nopea läpivientiaikataulu tuottaa haasteita projektin toteutukselle. Tämä johtuu siitä, että tuotanto joudutaan aloittamaan osaltaan jo hyvin aikaisessa vaiheessa jo ennen kuin tuotteen lopullista sisältöä tunnetaan tai ennen kuin lopulliset suunnitelmat kaikilta osin ovat valmiita.

Projektinjohtoryhmän mukaan myyntivaiheessa tuoterakenteen määrittely, työn osittelu ja valmistustapa-analyysit tulee saada toteuttaa nykyistä laajemmassa mittakaavassa. Nykyinen toimintamalli, jossa valmistustapa-analyysit ja työn osittelut ovat vajaita, aiheuttavat projektiin toteutusvaiheessa merkittävän määrän lisätöitä, pidentää projektin kestoja, sekä aiheuttaa odottamattomia kustannuksia. Ongelmia ilmenee erityisesti valmistusjärjestyksen vaillinaisuudesta johtuen, sekä järjestelmien tilavarauksien puutteista.

Projektinjohtoryhmästä vahva viesti oli, että projektin myyntivaiheessa ja projektin toteutuksen alkuvaiheessa tulee toteuttaa huomattavasti enemmän varhaisen vaiheen tuotannosuunnittelua myös yhteistyössä alihankkijoiden kanssa, jotta projekti olisi paremmin määritelty. Tämä vähentäisi haastattelun mukaan muutostöitä toteutusvaiheessa, sekä pienentäisi myös projektin toteutukseen liittyvää riskiä.

Työmaan johtamisresurssit

Projektinjohtoryhmästä tuotiin esille, että alihankkijaverkoston johtamista työmaalla tulee kehittää. Alihankkijoiden koordinoinnille ja valvonnalle ei ole systemaattista lähestymistapaa ja nykyisillään työmaan työnjohdon resurssit ovat liian vähäiset ja toiminnasta tulee reaktiivista. Ennen kaikkea toimintaan kaivataan suunnitelmallisuutta ja proaktiivisuutta.

Projektinjohtoryhmän mukaan alihankkijat pystyvät sitouttamaan tarpeeksi työntekijöitä projektin toteuttamiseksi aikataulussaan, mutta ongelmia aiheuttaa se, että

alihankkijoiden työnjohtoa on työmaalla liian vähän ja työntekijöiden tehokkuus jää huonoksi.

Projektijohtoryhmän näkemyksen mukaan tuotannonjohtoa olisi riittävästi proaktiiviseen tuotannosuunnitteluun ja -ohjaamiseen, sekä tuotannon edellytysten varmistamiseen, jos tuotantoa tukevat prosessit kuten materiaalienhallintaprosessi olisi kunnossa. Nyt johtamisresurssit ovat riittämättömät, koska työmaalla tehdään vääriä asioita ongelmista johtuen ja nykyisellään työmaa vaatisi lisää resursseja.

Työmaan olosuhteet

Projektinjohtoryhmän mukaan työskentelyolosuhteet ovat aiheuttaneet haasteita tuotannossa. Erityisesti sääolosuhteet ovat haitanneet työn toteuttamista, mutta työturvallisuuteen liittyvissä työolosuhteissa ei projektinjohtoryhmän mukaan ole ollut ongelmia. Tuotannon siirtyminen ulkotiloihin tiedostettiin hyvin projektinjohtoryhmän mukaan, mutta edellytyksiä työn jatkamiselle jouhevasti ulos siirtymisen jälkeen ei oltu etukäteen varmistettu. Haastattelujen perusteella ongelmia on ollut suojaustoimenpiteiden toimeenpanossa.

Suunnitelmat ja työkuvat

Projektijohtoryhmän mukaan suunnitelmia on projektin kuluessa puuttunut vielä siinä vaiheessa kuin tietty työvaihe oli määrätty aloitettavaksi. Tämän lisäksi projektissa on toisinaan havaittu, että alihankkijat ovat toteuttaneet työvaiheita vanhoilla suunnitelmien revisioilla.

Projektin tuotannosuunnittelu

Projektinjohtoryhmässä nähtiin tarve projektin lisäresurssille, jonka vastuulla olisi heti projektin myyntivaiheesta tuote- ja työrakenteiden laatiminen, sekä projektin toteutusvaiheessa tuotannosuunnittelu, materiaalien ja alihankkijoiden koordinointi työmaalla sekä tuotannon edellytysten varmistaminen.

Projektin tarkentuviin suunnitelmiin tulisi projektijohtoryhmän mukaan saada lisää systematiikkaa. Nykyinen malli, jossa kukin vastuualueellaan pohtii tarkentuvia suunnitelmia, aiheuttaa väkisin ”harmaita alueita” projektin toteutuksen suunnitteluun, kun katselmuksia ei toteuteta johdonmukaisesti.

Osa C – Muuta

Projektinjohtoryhmän haastattelussa muiden asioiden yhteydessä keskustelu ajautui poikkeuksetta jo keskustelun aikana läpikäytyjen asioiden kertaamiseksi.

6.2 Ohjelmistotestauksen tulokset

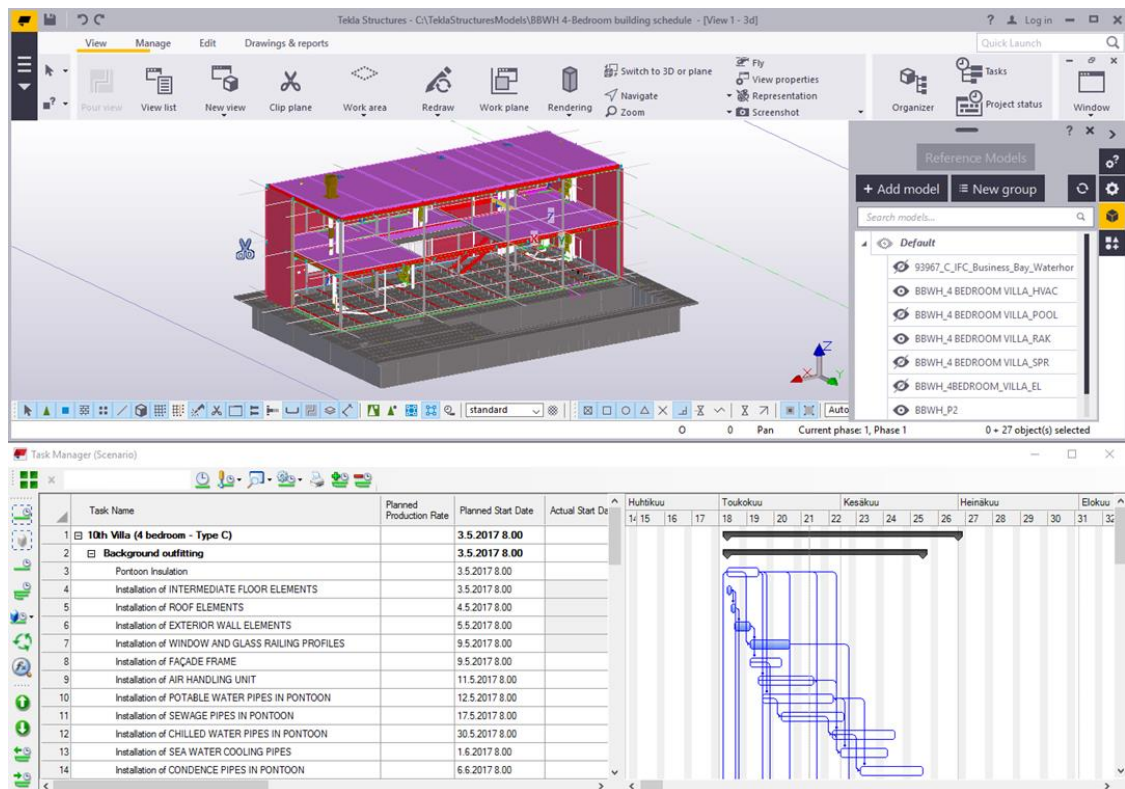
Tekla Structures

Ohjelmiston testaaminen osoitti, että kyseisen ohjelmiston työkaluilla projektin tuoterakenne ositus pystytään toteuttamaan hyvinkin joustavasti. Tuoterakenteen ositus onnistui sekä sijaintiperusteisesti lohkojakoja käyttäen, että systeemeittäin. Ohjelmiston avulla pystyttiin myös pilkkomaan systeemit lohkokohtaisesti.

Ohjelmisto osoittautui erittäin joustavaksi aikataulutyökalun suhteen. Ohjelmistoon pystytään tuomaan ulkopuolelta valmiita aikataulupohjia. Tuotuja aikatauluja pystytään muokkaamaan ja tarkentamaan ohjelmistolla lisäämällä niille alatehtäviä sekä luomalla täysin uusia tehtäviä olemassa olevien väleihin. Esimerkiksi karkean rakentamisvaihe aikataulun pystyy tuomaan tietomallinnusohjelmistoon ja tarkentavien tehtävien luominen ohjelmistossa toimii hyvin. Ulkopuolisten aikataulujen lisäksi ohjelmiston työkaluilla voidaan luoda myös aikataulu täysin tyhjästä. Ohjelmistolla voi luoda erilaisia aikatauluskenaarioita.

Tietomallinnusohjelmistosta ei saatu tuotua ulos aikatauluja. Esimerkkinä testattiin ohjelmistolla tarkennetun rakentamisvaihe aikataulun tuontia ulos ohjelmistossa siinä kuitenkaan onnistumatta.

Tuoterakenteen osituksen tuloksena syntyvien osakokonaisuuksien materiaalit pystytään linkittämään eri aikatauluvaiheisiin. Kuvassa 23 on esimerkki tilanteesta, jossa osaan aikatauluvaiheista on linkitetty materiaalit valitsemalla ne tietomallista.



Kuva 23. Tekla Structures-käyttöliittymän näkymä malli- ja aikataulunäkymällä.

Ongelmattomaksi aikatauluihin linkitettäviksi materiaaleiksi osoittautuivat selkeät runkorakenteet ja ponttoni. Ongelmaksi tietomallin käytössä osoittautui se, että mallintamatonta materiaalia ei pysty hallitsemaan tietomallissa tai se vaatii ohjelmistoon lisätoiminnallisuutta. Mallintamatoman datan manuaalinen lisääminen ylimääräisenä datana on erittäin työlästä eikä se ole tarkoituksenmukaista. Tilanne on ongelmallinen, sillä kohdeyrityksen tuotteet ovat täynnä pintamateriaaleja, teknisiä systeemejä ja yksityiskohtaisia varusteluosia, joiden kaikkia osia ei malliin ole lisätty lainkaan.

Aikatauluvaiheisiin linkitetyistä työvaiheista saa otettua ulos työvaiheeseen kuuluvan materiaalilistauksen. Ongelmaksi koitui tässäkin se, että suurin osa systeemeistä sisältää reaali maailmassa niin paljon tietomallin ulkopuolisia komponentteja, että materiaalilistaukset ovat täysin epäluotettavia.

Malliin on mahdollista lisätä mallintamatonta materiaalia attribuuttitietoina, mutta se onnistuu vain systemaattisille komponenteille. Esimerkiksi yksi metri ilmastointiputkea voidaan asettaa sisältämään attribuuttidatan avulla tietyn määrän kannakkeita. Yksityiskohtainen, projektikohtaisesti vaihtuva informaatio on kuitenkin erittäin työlästä lisätä malliin.

Mallin käyttö projektin visualisointityökaluna toimi hyvin, sillä sen avulla on helppo vaiheistaa tuotantoprosessia ja käyttää apuna keskustelun tukena eri sidosryhmien kanssa.

Yrityksen nykyisessä tietomalliprosessissa oli havaittavissa, että kaikki materiaalitieto ei ollut siirtynyt IFC-mallin mukana tai sitten sitä ei ollut lainkaan syötetty alkuperäiseen natiivitiedostoon. Tästä aiheutuu se, että materiaalistausta tehtäessä listauksessa ei näy esimerkiksi näiden materiaalien hallinnan kannalta kriittisiä tietoja.

Ohjelmistolla onnistui tuotteiden valmiusasteen seuranta esimerkiksi ”tehty”, ”tehdään”, ”valmis” luokittelun tasolla. Lisäksi ohjelmiston avulla pystyi lähettämään kommentteja eri suunnitteluvastaaville siten, että viesti oli visuaalisesti liitetty tiettyyn yksityiskohtaan IFC-mallissa. Näitä ominaisuuksia on mahdollista käyttää tuotantovaiheen ohjauksen ja valvonnan tukemiseen.

Merkittävää on huomata, että ohjelmistotoimittajien lupaamat tietomallitoiminnot eivät ole välttämättä kovin suoraviivaisesti käytettävissä. Esimerkiksi määrälaskenta tietomallin avulla voidaan tuottaa vain sille tarkkuudelle kuin mallinnuksen taso ylettyy. Eli, jos tietomalliin ei ole mallinnettu tai muuten syötetty tietoja komponenteista, niin ei kyseisiä komponentteja voida huomioida esimerkiksi määrälaskennassa tai materiaalilistauksissa.

6.3 Vertailututkimuksen tulokset

Kumppanuusyrityksen kanssa käydyssä vertailututkimustilaisuudessa saatiin arvokkaita konkreettisia kokemuksia toteutetuista projekteista, joissa on käytetty tietomalleja hyväksi projektin tuotannosuunnitteluun. Kumppanin mukaan heillä on vahvaa osaamista erityisesti Tekla Structures – ohjelmiston käytöstä.

Tietomalleja on yrityksen projekteissa käytetty melko laajastikin tuotannosuunnittelun apuna. Heidän mukaansa tuoterakenteen rikkomisen onnistuu monella eri tapaa. Esimerkkeinä he esittelivät, miten tuoterakenne on rikottu kerroksittain lohkoihin ja kerroksien sisällä rakennettävien kokonaisuuksien avulla pienemmiksi osakokonaisuuksiksi. Tietomalliin integroidun aikataulutustyökalun avulla he pystyvät jokaiselle lohkolle määrittämään aikataulun ja pienemmät osakokonaisuudet pystytään merkitsemään näihin aikatauluihin alatehtävinä.

Lohkoihin on pystytty linkittämään sekä aikataulu, että komponenttieto. Lohkoon kuuluvat komponentit tulevat tietomallista automaattisesti. Periaate toimii siten, että lohkolle määritellään tietomallin koordinaatiston kolmiulotteinen alue, joka toimii lohkoalueena. Tämä lohkoalueen sisälle sijoittuvat kaikki komponentit, jotka tietomalli tuntee kuuluvan kyseiseen lohkoon.

Aikataulun ja rakennusvaiheiden linkitystä on käytetty hyödyksi tuotannonohjauksessa erityisesti määrälaskentaan. Tietomallista on pystytty ottamaan ulos materiaalilistaus erikseen jokaisesta työvaiheesta ja tämän avulla on pystytty toimittamaan työmaille oikea määrä tavaraa oikeaan aikaan. Tämä on nähty erittäin hyödylliseksi työkaluksi, sillä

rakennustyömaiden ympäristöt ovat heidän mukaansa yleensä todella ahtaita, eikä työmaalla ole välivarastoinnille tilaa. Näin työmaan toimitusten oikea-aikaisuutta on pystytty parantamaan ja rakennusprosessia sujuvoittamaan.

Tietomallinnusta on käytetty apuna määrälaskennan lisäksi elementtityyppien määrittämiseen, jolloin tarvittavat työkuvat ovat tietomallista otettuna osavalmistajan käytettävissä.

Käytyyn keskusteluun perustuen tietomallin avulla voidaan ohjata kaikkia komponentteja, jotka vain on mallinnettu tietomalliin tai attribuuttidatan avulla määritelty. Kumppanin tapauksessa komponenttien ohjauksen taso rajoittui vain hyvin karkeisiin komponentteihin. Heidän tuotannonohjauksen taso tietomallin avulla oli isojen runkorakenteiden aikataulutuksessa. Esimerkiksi taloteknisiä laitteita tai pintatöitä he eivät ole ohjanneet tietomallien avulla lainkaan. Heidän saavuttama tehokkuus jo pelkästään runkorakenteiden aikataulutuksessa perustui siihen, että isoissa rakennusprojekteissa pelkkien runkorakennekomponenttien ohjaus vie merkittävä ajan projektin kestosta ja näin ollen niiden virtauksen varmistaminen tuo tällaisissa projekteissa merkittäviä etuja.

Merkittävänä lisänä kumppani halusi korostaa tietomallin tehokkuutta rakennusprosessin visualisointityökaluna. Esimerkkinä annettiin simulaatio maineikkaan kerrostalon runkorakenteiden valmistumisesta. Tätä ominaisuutta on käytetty hyödyksi muun muassa projektin myyntivaiheessa, sekä tilanteissa joissa rakennusprojektia havainnollistetaan muille kuin rakentamisen ammattilaisille, kuten asiakkaalle.

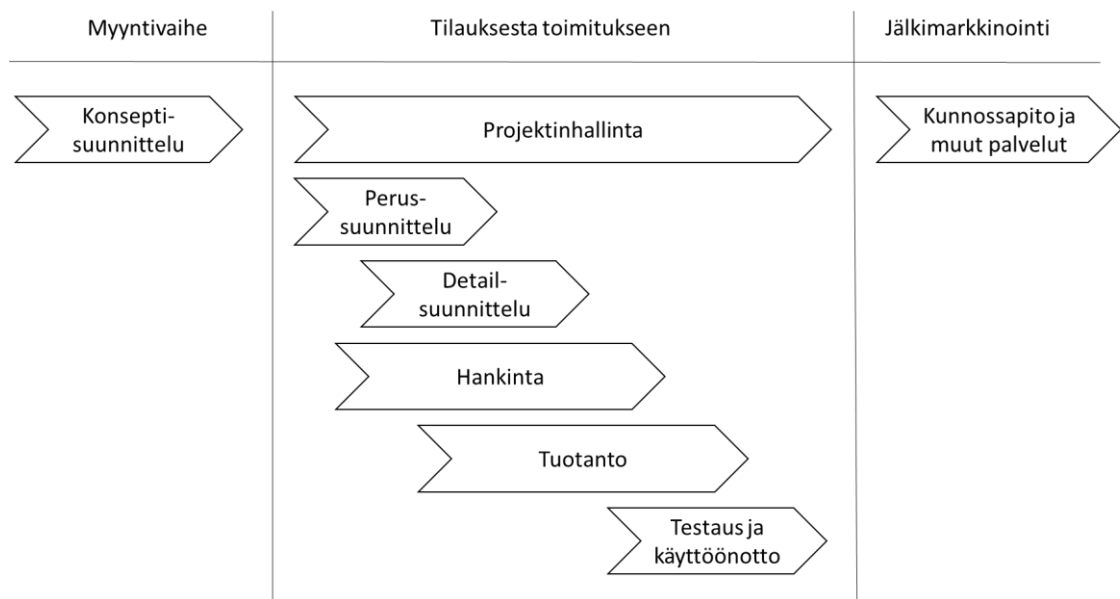
Esille tuli myös, että rakennusvaiheessa tietomallia on käytetty aluesuunnitteluun eli rakennustyömaan infran, nosturien ja varastojen, sekä työmaan aikaisten kulkureittien mallintamiseen.

7. ANALYYSI

Tässä luvussa analysoidaan puolistrukturoidun teemahaastattelun tuloksiin perustuvaa näkemystä tuotannosuunnittelun- ja ohjauksen nykykäytännöistä sekä nykyprosessiin liittyviä ongelmia ja pohditaan näiden pohjalta, miten ongelmiin voidaan reagoida teoriaviitekehysten ehdottamien tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen työkalujen avulla. Analyysin pohjalta luodaan ehdotus uudesta tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen mallista. Viimeisenä pohditaan tietomallien käytettävyyttä ehdotetun tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen mallin apuna.

7.1 Ehdotus tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen mallista

Nykyprosessin hahmottamiseksi tulee tuntea yrityksen projektin elinkaaren liittyvä terminologia tuotannosuunnitteluun liittyviltä osin. Kohdeyrityksen projektin elinkaari päävaiheissaan on esitelty kuvassa 24 (Admares Modular Construction Oy, 2017).



Kuva 24. Kohdeyrityksen tuotannosuunnittelun kannalta keskeiset projektin elinkaaren vaiheet (Admares Modular Construction Oy, 2017).

Kuva 24 esittää, että projektin elinkaaren vaiheet jakautuvat karkeasti myyntivaiheeseen, tilaus-toimitusprosessiin sekä jälkimarkkinointivaiheeseen.

7.1.1 Nykyinen prosessi

Kuvaan 25 on esitetty yrityksen projektin elinkaaren vaiheet ja eri vaiheissa systemaattisesti toteutetut tuotannosuunnittelun käytännöt. Tulee kuitenkin pitää

mielessä, että muitakin tuotannosuunnittelun toimintoja on toteutettu, esimerkiksi työmaan kaluston resursointi, mutta nämä toiminnot ovat tapahtuneet projektin eri henkilöiden välisenä epäsystemaattisena asioiden junailuna.



Kuva 25. Projektin elinkaaren vaiheet ja nykyiset tuotannosuunnittelun toimenpiteet.

Kuvasta 25 voidaan havaita, että systemaattisuutta tuotannosuunnittelussa ei ole juurikaan ollut. Tämä on luonnollisesti johtanut lukuisiin haasteisiin.

Myyntivaiheessa projektitiimi osallistui projektin yleisaikataulun laatimiseen. Aikataulun laatimismenetelmän voidaan katsoa olevan Artto et al. (2008) viitekehyksen mukaan enemmän ”tavoiteaikataulusta yksityiskohtiin”- kuin ”yksityiskohdista tavoiteaikatauluun”- menetelmän mukaista.

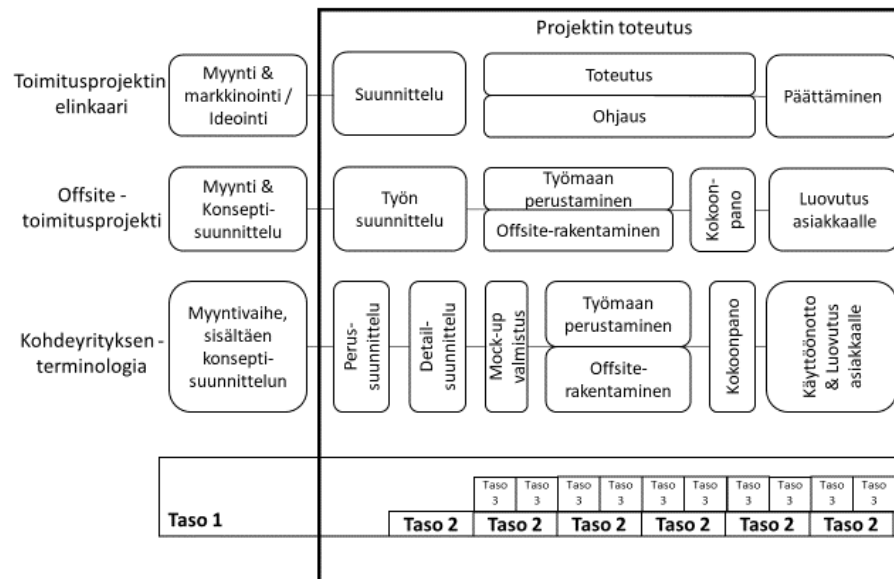
Projektin alkuvaiheessa ei ollut systemaattista alihankkijoiden sitouttamista rakentamisvaihesuunnitelmien tai valmistelevan suunnittelun avulla. Projektin kokonaisuikataulu oli katselmoitu alihankintasopimusneuvotteluissa ja sopimuksissa, mutta varsinaiseen toteutuksen suunnitteluun ei alihankkijoita ollut sitoutettu. Itse projektin tuotantoa on lähdetty ohjaamaan heti alusta alkaen hyvin lyhytjänteisesti viikko- ja päiväpalaverien avulla. Toteumaa on seurattu yleisaikatauluun sidottujen s-käyrien avulla, mutta projektin lukuisista ongelmista huolimatta esimerkiksi dataa jatkuvan parantamisen ajattelua silmällä pitäen ei ole toteutettu.

Projektin tuotantovaiheessa olevat ongelmat ovat koottuna ongelmakarttaan liitteessä F. Ongelmille ehdotetaan korjausmenetelmät uudessa tuotannosuunnittelun prosessissa.

7.1.2 Ehdotus uudesta mallista

Teoriaviitekehyyksen yhteys kohdeyrityksen projektin elinkaaren vaiheisiin

Kuvassa 26 on havainnollistettu kohdeyrityksen projektin elinkaaren vaiheiden sijoittuminen diplomityössä käsiteltyyn teoriaviitekehyykseen. Tämän avulla pystytään yhdistämään teoriassa eri projektin elinkaaren vaiheisiin ehdotetut toimintamallit kohdeyrityksen projektin elinkaaren vaiheisiin.



Kuva 26. Kohdeyrityksen prosessiterminologia yhdistettynä teoriaviitekehyykseen.

Kuvasta 26 voidaan havaita, että yrityksen terminologiassa konseptisuunnittelu on identtinen teorian myyntivaiheen kanssa. Teoriaviitekehyyksessä esitetty Arto et al. (2008) mukainen projektin *suunnittelun* vaihe ja Hairstans (2015) mukainen *työn suunnittelun* vaihe ovat identtiset kohdeyrityksen perus- ja detail-suunnitteluvaiheiden kanssa. Kohdeyrityksen tapauksessa perussuunnitteluun kuuluu tuotteen suunnittelu pois lukien asennuksen suunnittelu.

Projektien detail-suunnittelu toteutetaan kokonaistoimituksen tuottavan alihankkijayrityksen toimesta. Detail-suunnittelu pitää sisällään järjestelmien asennuksen suunnittelun. Alihankkijat tietävät parhaiten järjestelmien asennukseen liittyvät yksityiskohdat (esim. putkien kannakkeiden valinta) ja siksi he toteuttavat lopullisen detail-suunnittelun siitä, miten he asennuksen tulevat toteuttamaan.

Kohdeyrityksen projektin toteutuksessa esiintyy Mock-up-valmistusvaihe, poiketen tältä osin teoriaviitekehyyksen kuvaamasta prosessista. Yrityksen Mock-up-valmistuksen tarkoituksena on rakentaa tuotoksesta malli, jossa pystytään konkreettisesti validoimaan toteutetut suunnitteluratkaisut ja sen perusteella tekemään muutoksia suunnitelmiin ennen varsinaista rakentamisvaihetta.

Kohdeyrityksen työmaavaiheet ovat identtiset teoriaviitekehyyksen vaiheiden kanssa. Kokoonpano ei juurikaan poikkea projektin muusta tuotannonjohtamisesta, mutta se tapahtuu loppusijoituspaikassa.

Tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen malli

Kohdeyrityksen projekteissa on keskeistä ottaa huomioon työmaan perustamisen ja offsite-rakentamisen rinnakkaisuus. Riippuen projektin sopimuksesta voi kohdeyrityksellä olla rakentamisvastuita samaan aikaan sekä työmaalla, että offsite-puolella. Käytännöt voivat kuitenkin vaihdella projektikohtaisesti. Kuvaan 27 on kuvattu ehdotettu tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen malli.



Kuva 27. Tuotannonsuunnittelun toimenpiteet projektin elinkaaren vaiheissa.

Ehdotettu toimintamalli vastaa haastatteluissa esiin tulleisiin nykyprosessin ongelmiin. Toimenpiteet on kuvattu seuraavassa sekä keskusteltu, miten ne toimenpiteet vastaavat nykyisiin ongelma-kohtiin.

Konseptisuunnitteluvaihe

Haastatteluiden perusteella projektisuunnitelmiin osallistuminen yleisesti oli erittäin vähäistä projektitiimin toimesta myyntivaiheessa. Projektivastuun siirtyessä sopimuksen kirjoituksen jälkeen myyntiorganisaatiolta projektijohdolle oli olemassa oleva konseptisuunnittelumateriaali todella vähäinen. Tuotteesta ei ollut teknisiin toteutettavuusanalyysihin perustuvia valmistusmenetelmäsuunnitelmia tai järjestelmäkuvauksia saatavilla, tuote- tai työrakennetta ei ollut määritelty eikä karkeaa tuotantojärjestystä tai -resursseja ollut kuvattu.

Haastatteluihin perustuen ainoa systemaattinen tuotannosuunnittelun toimenpide oli yleisaikataulun luominen. Haastattelujen mukaan yleisaikataulu ei ollut kuitenkaan perustunut analysoituihin järjestelmäkuvauksiin, vaan projektin eri tuotantovaiheille oli arvioitu aikataulu ja projektitiimin tuli sopeuttaa toiminta ”tavoiteaikataulusta yksityiskohtiin”-tyyppisesti.

Ennen myyntivaihetta toteutettava tuotannosuunnittelu on Zong et al. (2012) hierarkkisen mallin mukaan tason 1 (projektin suunnittelu ja ohjaus) mukaista toimintaa. Projektin suunnittelun ja ohjauksen tasolla tapahtuviin toimenpiteisiin kuuluu keskeisesti tuoterakenteen määrittely (Artto et al., 2008). Haastattelujen perusteella projektitiimin aloittaessa työtään, he aloittivat työn selvittämällä, millaisia järjestelmiä projektiin tarvitaan, koska konseptitason suunnitelmia ja siihen perustuvaa alustavaa tuoterakennetta ei ollut olemassa.

Artto et al. (2008) mukaan tasolla 1 tapahtuvaan suunnitteluun tulee sisällyttää tuotoksen *tekniset (ja taloudelliset) toteutettavuusanalyysit*, koska ne luovat edellytykset kaiken muun suunnittelun onnistumiselle. Projektin edetessä kohdattiin teknisiä konseptitason virheitä, jotka johtuivat teknisten toteutettavuusanalyysien liian myöhäisestä toteutuksesta. Projektin tuotanto oli ehditty jo aloittamaan ennen teknisten toteutettavuusanalyysien valmistumista. Analyysien tulosten myötä huomattiin, että tuote tarvitsee lisäjärjestelmän, jotta tuote voi toimia asiakasvaatimusten mukaisesti. Tämä aiheutti merkittäviä muutos- ja lisätöitä jo valmistettuihin teräsrakenteisiin. Tapaus on esimerkki siitä, että vaikka tuotannosuunnittelu tehtäisiin kuinka hyvin, ei niillä ole painoarvoa, jos tekniset toteutettavuusanalyysit tuovat muutoksia rakenteisiin ja järjestelmiin tuotannon aloituksen jälkeen. Tulee myös ymmärtää tällaisten muutosten kustannusvaikutus projektin toteutukselle: mahdollisuus vaikuttaa projektin toteutuksen kustannuksiin pienenee mitä pidemmälle projekti etenee (Artto et al., 2008).

Teknisten toteutettavuusanalyysien avulla voidaan varmistaa se, millaisia järjestelmiä tuotokseen tarvitaan asiakkaan vaatimien ominaisuuksien täyttämiseksi. Teknisten

toteutettavuusanalyysien perusteella lukittujen järjestelmäkuvauksien pohjalta pystytään projektin tuotoksesta luomaan *tuoterakenne (PBS)*. Esimerkki myyntivaiheen karkeasta tuoterakenteesta on liitteessä D. Tekninen toteutettavuusanalyysi mahdollistaa tuoterakenteen määrittämisen vähintään jo järjestelmätasolla. Järjestelmätason tuoterakenne antaa projektitiimille välittömän indikaation siitä, millaisia järjestelmiä projektissa tulee lähteä viemään eteenpäin.

Tason 1 suunnitteluun kuuluu tuoterakenteen pohjalta toteutettava *työn ositus (WBS)* (Arto et al., 2008). Työn ositus aloitetaan projektin tuotoksesta ja sitä tarkennetaan myöhemmin tuoterakenteen tarkentuessa. Myyntivaiheessa järjestelmätasolle toteutettu tuoterakenne mahdollistaa työn osittamisen järjestelmätason työpaketeiksi. Projektin tuotoksen eri järjestelmien luovutusta varten tulee niiden kulkea projektissa vähintään seuraavien vaiheiden läpi: suunnittelu, hankinta, asennus, käyttöönotto. Vaikka myyntivaiheessa ei järjestelmien sisällöistä tunnetaisi mitään muuta kuin se, että ne tarvitaan, niin järjestelmä vaatii edellä mainitut vaiheet. Nämä vaiheet vähintään tuleekin löytyä myyntivaiheessa toteutettavasta työn osituksesta. Tällainen osittelu tukee Arto et al. (2008) mukaista projektityön tekemistä kuvaavaa erittelyä sekä Junnonen et al. (2017) mukaista vaiheittaista ositteluä, sillä vaiheet ovat myös pääpiirteissään kronologisia projektin vaiheita. Karkea esimerkki tuoterakenteesta johdetusta työn osituksesta on kuvattu liitteessä E.

Junnonen et al. (2017) mukaan tuoterakenteen ja työn osituksen tarkoitus on mahdollistaa projektin yleisaikataulun jakaminen pienempiin osakokonaisuuksiin. Liitteestä E voidaan myös havaita, miten tuoterakenteeseen pohjautuvan työn osittelun työpaketit toimivat samalla *yleisaikataulun* tekijöinä. Työn ositukseen perustuvilla työpakettien kestoille pystytään määrittämään arviot aikaisempaan kokemukseen tai asiantuntija-arvioon pohjautuen.

Perussuunnitteluvaihe

Kohdeyrityksen yksi strategia on kilpailla nopeilla toimitusajoilla. Tähän pyritään osaksi offsite-rakentamisella. Se ei kuitenkaan yksin riitä, vaan myös offsite-rakentamisen toteutuksen tulee olla nopea. Projektien toimitusaikataulut ovat niin tiukkoja, että projektin tuotteen suunnittelua ei ehditä kokonaan tekemään valmiiksi ennen tuotannon aloittamista. Haastatteluiden perusteella juurikin tästä syystä johtuen kohdeprojektissa esimerkiksi järjestelmien suunnittelu terästyön alkaessa oli keskeneräinen. Järjestelmien sijoittumista teräsrakenteeseen ei tunnettu eikä näin ollen niitä ollut kuvattu suunnitelmien avulla. Terästyöt kuitenkin toteutettiin olemassa olevilla suunnitelmilla ilman, että järjestelmien sijoittumista rakenteisiin oltiin otettu huomioon, ja rakenne maalattiin kokonaisuudessaan valmiiksi. Järjestelmien asentamiseksi teräsrakenteeseen jouduttiin maalauksen jälkeen tekemään merkittäviä korjaustöitä, kuten leikkauksia läpivientejä varten, jotta järjestelmät pystyttiin asentamaan lopullisten suunnitelmien mukaisesti teräsrakenteeseen. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että massiivisten

teräslohkojen valmis maalipinta pilattiin ja ne jouduttiin korjaustöiden jälkeen toimittamaan uudestaan maalaukseen. Tällainen ajattelu, jossa hyväksytään virheiden tekeminen, taistelee raskaasti ”kerralla valmiiksi”-ajatusmaailmaa vastaan. Korjaustyöt viivästyttävät projektin aikataulua, aiheuttavat lisätyötä sekä odottamattomia kustannuksia.

Koskela et al. (2016) ehdottaa eri työpakettien vastuuhenkilöiden nimeämisen jälkeen toteutettavaksi *rakentamisvaihesuunnittelua*. Rakentamisvaihesuunnittelussa käydään työpakettien vastuuhenkilöiden kanssa läpi, mitä eri tehtäviä kukin työpaketti karkeasti sisältää. Tarkkoja suunnitelmia ei tässä vaiheessa ole välttämättä olemassa, vaan osaksi luotetaan myös vastuuhenkilöiden asiantuntemukseen. Rakentamisvaihesuunnittelun tuloksena luodaan *rakentamisvaiheaikataulu*, joka on yleisaikataulusta tarkennettu aikataulu. Rakentamisvaihesuunnitelmat toteutetaan imuperiaatteella lähtemällä liikkeelle rakentamisen lopputilanteesta. Työpakettien vastuuhenkilöt arvioivat omien työpakettiansa vaatimat työvaiheet ja niiden kestot sekä kirjaavat erityiset vaatimukset työvaiheen toteutukselle. Eri osakokonaisuudet yhdistämällä pystytään projektin tuotannolle määrittelemään yhteisesti projektin tuotantojärjestys ja sen kriittinen polku. Tätä pystytään käyttämään myös apuna projektin resursoinnin tarkentamiseen.

Yhdessä toteutettavan rakentamisvaiheaikataulun motivaationa on eri osapuolien ammattitaidon tuominen suunnittelun lähtötietoihin, osapuolten sitouttaminen suunnitelmiin sekä projektin työryhmien tutustuttaminen toisiinsa tulevan kommunikaation helpottamiseksi. Tässäkin projektissa rakentamisvaihesuunnittelulla olisi varmasti pystytty estämään projektissa esiintyneitä korjaus- ja lisätöitä. Esimerkiksi yhteisesti toteutetussa rakentamisvaihesuunnittelussa eri järjestelmien vastuuhenkilöt olisivat ymmärtäneet paremmin tarpeen tilavarausten suunnittelemiseksi teräsrakenteeseen. Tällä tavoin oltaisiin voitu säästyä maalauksen jälkeisiltä korjaustöiltä teräsrakenteissa.

Jotta projektin tuotannolle pystytään varmistamaan kustannustehokkaaseen ja nopeaan tuotantoon tähtäävä toteutus, tulee järjestelmien alihankkijat saada integroitua projektin toteutuksen suunnitteluun nykyistä aikaisemmassa vaiheessa. Koskela et al. (2016) mukainen rakentamisvaihesuunnittelu osaltaan tähtää juuri alihankkijoiden sitouttamiseen. Yrityksen toimintamalli kuitenkin aiheuttaa nykyisellään rajoitteita perusteellisen yhteisesti toteutetun rakentamisvaiheen suunnittelulle. Haastatteluihin perustuen alihankintatyöt haluttiin toteuttaa kokonaisurakkasopimuksina. Kokonaisurakkasopimukset kuitenkin vaativat sen, että suunnittelupakettien tuli olla todella pitkällä, jotta tarjouksia niiden pohjalta pystyttiin toteuttamaan. Projektin myyntivaiheen konseptisuunnitelmien materiaali oli ollut erittäin kevyt ja tästä johtuen suunnittelutyön saattaminen siihen pisteeseen, että tarjouspyyntöjä pystyttiin toteuttamaan, vaati ennakoitua enemmän aikaa. Tästä johtuen alihankkijasopimusten tekeminen venyi pitkälle ja viivästytti projektin varustelun käynnistymistä. Osa projektin järjestelmätoimittajista tuli mukaan projektiin vasta terästöiden alkamisen jälkeen. Näin

myöhäinen projektiin mukaan tuleminen vie pois mahdollisuuden osallistua rakentamisvaihesuunnitteluun. Tuleekin pohtia, miten alihankkijoiden aikaisempi sitouttaminen projektiin pystytään toteuttamaan. Ongelmaan pystytään reagoimaan esimerkiksi konseptisuunnitelmia kehittämällä, jotta perussuunnitteluvaihe olisi lyhyempi ja tarjouspyyntöaineisto valmistuisi nopeammin. Lisäksi voidaan pohtia, onko urakkasopimus paras mahdollinen sopimusmalli vai tulisiko yhteistyötä alihankkijoiden kanssa kehittää kohti aitoa kumppanuustoimintaa ja toteuttaa sopimukset esimerkiksi tavoitehintaan perustuvina sopimuksina.

Haastatteluissa tuli esille perussuunnittelun aikataulutukseen liittyvä ongelma: järjestelmien suunnittelu-aikataulu ei ollut toimiva, koska aikataulun ohjausta ei ollut ositettu osajärjestelmiin valmistustapa-analyysihin perustuen tuotantoa ja hankintaa palveleviksi kokonaisuuksiksi. Näin ollen tietyn järjestelmän hankinta joutui odottamaan koko järjestelmän suunnittelun valmistumista koko laajuudessaan, eikä hankinta voinut tehdä ostoja myös tuotantojärjestyksen mukaisina hankintakokonaisuuksina. Vastuu kokonaisuuden hankinnasta ei siirtynyt suunnittelusta selkeästi ostolle missään vaiheessa. Jotta tällaista ongelmaa ei syntyisi tulee tuotoksen järjestelmät pilkkoa perussuunnitteluvaiheessa pienemmiksi osakokonaisuuksiksi. Koskenvesa et al. (2015) ehdottaa, että projekti pilkotaan rakennuskokonaisuuksien mukaan *lohkoiksi*. Kyseisessä projektissa esimerkiksi ponttoni olisi voitu jakaa lohkoihin ja järjestelmät pilkkoa pienempiin kokonaisuuksiin Junnonen et al. (2017) mukaisesti sijainnin mukaan (esim. Lohko A, merivesijärjestelmä; Lohko B, merivesijärjestelmä). Työn ositus tulee tarkentaa vastaamaan lohko tai muuta sijaintipaikkajakoon perustuvaa työn ositusta ja näin myös aikataulut saadaan pilkottua pienempiin kokonaisuuksiin. Tällöin yksi suunnittelukokonaisuus voidaan saattaa kerralla valmiiksi ja hankinta ehtii ostamaan sen ennen asennusvaihetta.

Detail-suunnitteluvaihe

Detail-suunnitteluvaiheessa työpakettien vastuuhenkilöiden tuntemus järjestelmistä tarkentuu komponenttitasolle asti. Ballard (2000) mukaan ylemmän hierarkiatason aikataulut, kuten yleisaikataulu ja rakentamisvaihe-aikataulu perustuvat enemmän tai vähemmän arvioihin järjestelmistä. Suunnitelmien tason tarkentuessa myös tieto järjestelmien vaatimista asennusvaiheista ja niiden kestoista tarkentuvat ja ne voidaan tarkentaa toteutussuunnitelmiin. Tämän takia tulee projektissa aloittaa tason 2 tuotannonsuunnitteluun lukeutuva *valmisteleva suunnittelu*. Se on 4-6 viikon aikajänteellä toteutettavaa suunnittelua, jonka tarkoitus on varmistaa tälle aikavälille jokaiselle viikolle riittävä määrä toteutuskelpoisia tehtäviä. Koskela et al. (2016) mukaan valmistelevassa suunnitelmassa tulee varmistaa jokaiselle työvaiheelle tarvittavien suunnitelmien, henkilöstön, materiaalien ja muiden tarvittavien resurssien saatavuus oikeaan aikaan. Valmistelevaa suunnittelua toteutetaan läpi projektin tuotantovaiheen ja sen tuotoksena ylläpidetään listausta toteutettavissa olevista tehtävistä. Tämänkaltaisen ”tehtäväpankin” tarkoitus on estää tuotannon ongelmatapauksissa työn seisaus. Jos

tuotannossa tulee ennalta arvaamattomia haasteita eikä tiettyä työvaihetta pystytä toteuttamaan, niin valmiina on tukku korvaavia työtehtäviä joiden toteuttamisen edellytykset ovat jo varmistettu.

Kohdeyrityksen tapauksessa tällaisen toimintamallin toteuttaminen mahdollistaisi työvaiheiden toteuttamisen edellytysten systemaattisen katselmoimisen etukäteen. Tällainen valmistelevan suunnittelun toimintamalli toisi toivottua proaktiivisuutta nykyisen erittäin reaktiivisen toimintamallin tilalle. Tällaisella aikajänteellä, kuten 4-6 viikkoa, tapahtuvan ennakoivan suunnittelun avulla puutteisiin pystyttäisiin oikeasti reagoimaan ja tarvittavat toimenpiteet pystyttäisiin ottamaan seurantaan. Jos toimenpiteet eivät tuota tulosta riittävän nopeasti, niin työvaiheelle on valmiina olemassa korvaavat työtehtävät ja työn virtaus pysyisivät optimaalisena koko ajan. Kohdeyrityksessä on käytössä jo tuotantovaiheessa viikkopalaverikäytäntöjä, joten tällainen toimintamalli ei vaadi kovinkaan suuria muutoksia.

Hankinta

Aikaisemmin todettiin, että suunnitelmien viivästyminen aiheutti alihankkijoiden kokonaistoimitussopimuksien solmimisen venymisen aikataulultaan ennakoitua pidemmälle. Osaltaan myös puute tuotoksen lohko- tai sijaintipaikkaperusteista osittelusta ajoi hankinnan odottamaan järjestelmien kokonaissuunnitelmien valmistumista ja se viivästytti urakasopimusten kirjoittamista. Tuotanto oli kuitenkin aloitettu ja projekti aikataulu vaati, että pitkän toimitusajan komponenttien tilaus oli aloitettava, jotta projekti voidaan toteuttaa aikataulussa. Hankintaorganisaatio joutui tekemään ostoja hankintastrategian vastaisesti pieninä kokonaisuuksina kokonaistoimituksien sijaan. Tämä osaltaan myös kuormittaa hankintaa ja materiaalienhallintaa pienien kokonaisuuksien käsittelyllä.

Aikaisemmin todettiin, että ongelmien juurisyihin voidaan löytää ratkaisuja suunnittelun aikaistamisesta tai kumppanuusajattelun avulla. Työkalut tällaisten toimien toteuttamiseen voivat olla rajoitetut. Jos niihin ei pystytä vaikuttamaan, niin tilanteessa korostuu lohko- tai muu sijaintiperustainen tuoterakenteen jako. Niiden toteuttaminen mahdollistaa sen, että suunnittelu- (Junnonen et al., 2017) ja hankintakokonaisuuksia (Koskenvesa et al., 2015) pystytään pilkkomaan osakokonaisuuksiksi ennen kuin järjestelmän kokonaissuunnitelma on valmis. Tämä mahdollistaa spesifien hankintojen tekemisen tuotantoa palvelevina osakokonaisuuksina.

Tuoterakenteen mukaan toteutettu ja tuotantoa palveleva työn osittelu palvelee myös työmaalla työn edellytysten tarkastamista. Esimerkiksi työmaalla toteutettavaa valmistelevaa suunnittelua toteutettaessa pystytään sijaintiperustaisia hankintakokonaisuuksia käsittelemään paremmin ja näin ollen työn edellytysten varmistamisen käytännöt helpottuvat.

Tuotanto

Perinteinen tuotannonohjausmalli olettaa, että tuotannon tehtävät toteutetaan suoritusteholtaan vakioidusti (Koskenvesa et al., 2011). Kuten haastattelun tuloksetkin osoittavat, niin kohdeyrityksen projektit sisältävät huomattavan määrän jatkuvaa epävarmuutta ja tuotannon tehokkuuden vaihtelu on erittäin voimakasta.

Last Planner- tuotannonohjausmenetelmä tarjoaa työkalun tuotannosuunnitteluun perustuvalla tuotannonohjauksella, jolloin työn seisauksiin johtavat haasteet pystytään proaktiivisesti poistamaan, tasaamaan tuotannon virtausta ja parantamaan tekemisen laatua. Projektiliiketoiminnassa selvää on, että kaikkia poikkeustilanteita ei voida koskaan poistaa, mutta Last Planner – tarjoaa menetelmän virheistä oppimisille ja mahdollistaa tuotannon nopean palauttamisen raiteilleen virhetilanteissa.

Last Planner – menetelmä siirtää tuotannonohjauksen painopisteen projektin edetessä yleiseltä tasolta aina yksityiskohtaiselle työvaiheiden toteutuksen suunnittelun tasolle. Menetelmä ottaa tulevat työvaiheet seurantaan *valmisteleavan suunnittelun* avulla hyvissä ajoin ennen suunniteltua toteutusajankohtaa ja varmistaa, että toteutuksen edellytykset todella ovat olemassa. Seuranta mahdollistaa toteutusesteisiin reagoimisen hyvissä ajoissa (Ballard, 2000).

Viikkosuunnittelu on tuotannonohjauksen tason 3 toimintaa. Viikkosuunnittelussa luodaan viikkotasoiset suunnitelmat toteutukselle yhdessä eri työryhmien ja alihankkijoiden kanssa. Viikkosuunnitelmaan hyväksytään vain sellaiset työtehtävät, joiden työn edellytykset, kuten suunnitelmat, materiaalit ja muut resurssit ovat todella tarkistetuksi käytettävissä. Viikkosuunnitteluun tuodaan eri työryhmien näkemys toteutettavissa olevista suunnitelmista ja näin pystytään yhdessä rakentamaan viikkotasosuunnitelma toteutettavista tehtävistä, joihin alihankkijat pystyvät myöskin aidosti sitoutumaan.

Tällä hetkellä kohdeyrityksen tuotannossa ilmenee jatkuvia ongelmia. Esimerkiksi, suunnitelmissa on tarkennuksia vaativia kohtia, työvaiheisiin tarvittavaa materiaalia ei löydetä työmaalla ja eri alihankkijoilla on päällekkäisiä mesteja työmaalla, vain muutamia mainitakseni. Kaikkiin tämän kaltaisiin ongelmiin pystyttäisiin vaikuttamaan valmisteleavan suunnittelun ja viikkosuunnitelman avulla: suunnitelmat pystytään katselmoimaan etukäteen sekä tarvittaessa tarkennukset saadaan etukäteen, materiaalien saatavuus (ja keräily) pystytään tarkastamaan etukäteen ja päällekkäisiltä mesteilta voidaan välttyä, kun työmaan reaaliaikainen tilanne tunnetaan.

Viikkosuunnitelman tuotoksena toteutetaan yhteinen viikkosuunnitelma. Tämän suunnitelman avulla pystytään myös tarkkailemaan, miten työvaiheet ovat toteutuneet. Jos työvaiheet eivät syystä tai toisesta toteudu pystytään este kirjaamaan ja juurisyyt voidaan ratkaista. Tämä luo mahdollisuuden tuotannon tehokkuuden seurannalle sekä mahdollistaa prosessien jatkuvan parantamisen. Tämän lisäksi viikkosuunnittelun

yhteydessä määritellään työvaiheiden vaatimat resurssit ja tämä mahdollistaa toteumatiedon keräämisen, jota voidaan käyttää hyväksi seuraavien projektien varhaisen vaiheen määrittelyissä.

Haastatteluissa nostettiin esille pohdintoja työmaan henkilöstöresurssien riittävydestä. Mainintoja tuli esille erityisesti systeemivastaavien tavoitettavuudesta työmaalla suunnitelmien tarkennustilanteissa sekä työmaan johtamisresurssien riittävydestä. Kun tulevat työvaiheet käyvät läpi valmistelevan suunnittelun ja viikkosuunnittelun käytännöt, joissa suunnitelmat pystytään etukäteen tarkastamaan toteuttavan organisaation toimesta, tarvittavat tarkennuspyynnöt voidaan antaa systeemivastaaville jo hyvissä ajoin viikkoja ennen työvaiheen toteutusta. Näin ollen systeemivastaavilla jää myös aikaa todella ratkaista nämä haasteet eikä tarvitse vain tyytyä nykyisen kaltaisiin ad hoc – ratkaisuihin. Näin myöskään vaihe ei seisauta työtä, koska suunnitelmat ovat katselmoituja ja todettu riittäviksi työvaiheen toteuttamiselle. Kun jatkuvilta työn seisauksilta vältytään, niin myös työmaajohto pystyy keskittymään työmaan valvontaan jatkuvien tulipalojen sammuttamisen sijasta.

Mock-up-valmistus

Kohdeyrityksen projekteissa toteutetaan tyypillisesti mock-up-mallin valmistus ennen varsinaisen tuotantovaiheen toteuttamista. Malli on yleensä tietyiltä osiltaan aitoa vastaava tai joskus se on jopa osa varsinaista projektin tuotosta. Sen tarkoituksena on hahmottaa erilaisia suunnitteluratkaisuja ja asiakas pystyy näitä ratkaisuja hyväksymään tai ehdottamaan muutoksia ennen varsinaisen tuotteen toteutusta.

Mock-up-malli toteutetaan pääsääntöisesti samojen alihankkijoiden toimesta kuin projektin varsinainen tuotos. Mock-up-valmistus kannattaisikin käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi myös tuotannollisuuden osalta. Näin ollen tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen malli ehdottaakin, että mock-up- valmistusta suunniteltaisiin ja ohjattaisiin aivan kuten varsinaista tuotantovaihetta. Mock-up-mallille voidaan toteuttaa valmisteleva suunnittelu ja viikkosuunnittelu kuten varsinaiselle tuotannolle. Tällainen käytäntö totuttaisi eri alihankkijat yhteiseen käytäntöön eikä se kohtaisi varsinaisessa tuotantovaiheessa niin paljon muutosvastarintaa alihankkijoiden toimesta.

Kun mock-up-valmistuksen tuotannon toteumaa seurataan, niin sen avulla voidaan myös validoida suunniteltujen työvaiheiden järjestys ja kesto. Jos havaitaan, että jokin vaihe olisi parempi toteuttaa toisin pystytään tilanteeseen systemaattisesti reagoimaan ja tehostamaan osaltaan varsinaista tuotantovaihetta.

Kokoonpano

Kokoonpanovaihe on työmaan johtamista siinä missä offsite-tuotantovaihekin, näin ollen sitä pystytään suunnittelemaan ja ohjaamaan samoilla työkaluilla kuin offsite-työvaihehtakin.

Offsite- tuotannon ja kokoonpanon väliin sijoittuu komponenttien toimitus lopulliseen sijoituspaikkaansa. Tämä työvaihe sisältää yleensä runsaasti valmistelua vaativia toimenpiteitä ja ylimääräistä asioiden junailua. Valmistelevalle suunnitelma tehostaa myös tätä työvaihetta ja viikkosuunnitelmat pystytään luomaan myös komplekseille siirto ja -kuljetustoiminnoille.

Käyttöönotto & luovutus asiakkaalle

Käyttöönottoimenpiteet pystytään suunnittelemaan ja ohjaamaan myös valmistelevalle suunnittelun ja viikkosuunnittelun keinoin. Menetelmät parantavat työvaiheiden laatua (Koskela et al., 2016) ja se on tässä vaiheessa myös erityisen toivottavaa. Käyttöönoton jälkeen tuotos luovutetaan asiakkaalle ja ensivaikutelman tärkeyttä tuotelaadun luomisessa ei voi väheksyä ja näin käyttöönoton tuleekin olla perusteellisesti toteutettu.

Kirjallisuus ei tuonut valmistelevalle suunnittelusta tai viikkosuunnittelusta esille luovutusdokumentaation keräämiseen liittyvää informaatiota. Kirjoittajan mielestä näitä työkaluja pystytään hyödyntämään myös luovutusdokumentaation keräämiseen. Aivan kuten työvaiheen toteutukseen vaadittavat resurssit kirjataan työvaiheille, voidaan tarvittava asennusdokumentaatio ja komponentti-informaatio kerätä toteumatiedon katselmoinnin yhteydessä.

7.2 Tuotannosuunnittelun tehostaminen tietomallien avulla

Kohdeyrityksessä tietomallinnus on tapa toteuttaa suunnittelutyötä ja saavuttaa sen avulla hyötyjä tehokkuuden ja laadun paranemisella suunnittelu-, tuotanto-, projektinhallinta- ja elinkaari prosesseissa. Eri projekteille on määritelty kohdeyrityksessä mallinnuksen vaadittu taso kussakin projektin elinkaaren vaiheessa.

Ehdotettuun tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen malliin tietomallinnusta voidaan käyttää apuna ainakin sijaintipaikkaiseen tuoterakenteen määrittelyyn, työn ositukseen ja näiden työpakettien aikataulutuksen tukena. Lisäksi tietomalleja voidaan käyttää visuaalisena tuotantovaiheen simulointityökaluna.

Tietomallilla pystytään tekemään sijaintipaikkainen tuoterakenteen jakaminen jo projektin varhaisessa suunnitteluvaiheessa heti, kun tuotteen päärakenteet ovat mallinnettu. Sijaintipaikkaisen jaon jälkeen, myöhemmissä vaiheissa tuotaessa IFC-malliin eri suunnittelualojen malleja, ohjelmisto tunnistaa automaattisesti mihin sijaintipaikkaan järjestelmän komponentit kuuluvat. Tähän jakoon perustuen on mahdollista tuottaa sijaintipaikkakohtaisia materiaalilistauksia eri järjestelmäkokonaisuuksista. Ongelmaksi kohdeyrityksen projekteissa muodostuu se, että isoa osaa kohdeyrityksen materiaaleista ei ole mallinnettu IFC-malleihin ja näin ollen esimerkiksi materiaalilistauksen käyttäminen tuotannonohjauksen työkaluna ei ole luotettavaa.

Tuotantojärjestystä pystytään simuloimaan kohdeyrityksen tuotteisiin, mutta niistä saatava arvo on lähinnä visuaalinen, koska komponenttilistauksista ei saada toistaiseksi luotettavia puuttuvien mallintamattomien komponenttien vuoksi. Vertailututkimuksessa tuli esille, miten kuukausien mittaisien runkorakenteiden aikataulut onnistui helposti, koska komponentit ovat niin selkeitä. Kohdeyrityksen järjestelmät ovat kuitenkin täynnä yksityiskohtia ja teknisiä komponentteja ja niiden ohjaaminen on ohjelmistolla huomattavasti monimutkaisempaa. Kohdeyrityksessä runkorakenteet tulevat kuitenkin kokonaistoimituksina, joten rakennekomponenttien aikataulut ei ole edes tuotannon vastuulla. Vertailututkimuksessa esille tuli, että taloteknisiä komponentteja ei ole tietomalleilla ohjattu.

Mitä pienempiin kokonaisuuksiin tietomalleissa mennään, sitä vähemmän niillä voidaan nähdä olevan tällä hetkellä hyötyä tuotannonohjauksen työkaluna. Esimerkiksi kohdeprojektin tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen tietomallityökalujen käyttöä on vaikea nähdä käytettävän hyödyksi. Toisaalta taas yrityksen tuotetyyppeihin, jotka koostuvat useista esikokoonpantavista runkokomponenteista voi tietomallinnuksella saada enemmän hyötyä. Jos ajatellaan esimerkiksi yrityksessä aikaisemmin toteutettuja projekteja, joissa on rakennettu $\sim 10\,000\text{ m}^2$ teräsalusta, johon on varusteltu kymmeniä yksittäisiä huviloita ja muita erillään esikokoonpantuja kokonaisuuksia, voidaan näiden aikataulutukseen ja ohjaamiseen saada tietomallinnuksesta enemmän hyötyä.

Toimivaksi työkaluksi tietomallinnus voidaan nähdä suunnitelmien tarkennuspyyntöjen tekemiseen. Tietomalleissa voi automaattisesti merkitä IFC-malliin tarkentavia kysymyksiä tai kommentteja, joista järjestelmän suunnitelmasta vastuullinen henkilö voi ne välittömästi havaita. Tätä ominaisuutta voidaan mahdollisesti hyödyntää valmisteleavan suunnittelun työkaluna.

Tietomallien käyttö projektin tuotoksen suunnitteluvaiheessa tuo kiistatonta etua myös tuotantovaiheeseen. Esimerkiksi törmäystarkastelujen avulla voidaan vähentää suunnitteluvirheitä, jotka perinteisesti havaittaisiin vasta asennusvaiheessa, joka osaltaan parantaa tuotannon sujuvuutta. Tämä on toisaalta mahdollista perinteisessäkin 3D-mallinnuksessa, jossa eri suunnittelualojen tiedostot voidaan muokata samaan tiedostomuotoon.

Tietomalleja pystytään käyttämään apuna tuotedokumentaation keräämiseen. Esimerkiksi: suunnittelu voi määritellä tietyille komponentille pelkät suorituskykyvaatimukset, tällöin komponentin toimittajan valinta jää kokonaistoimittajan vastuulle ja tieto siitä minkä valmistajan komponentti lopulta asennettiin, kerätään myöhemmin. Tämä tieto pystytään kirjaamaan suoraan IFC-malliin ja luovutusdokumentaatiota pystytään näin ollen keräämään työmaalta käsin paremmin.

Yhteenvedona voidaan todeta, että tietomallinnusohjelmiston käytöstä saatava hyöty tuotannosuunnittelun työkaluna kohdeyrityksien vastaavissa projekteissa on tällä

hetkellä rajattu. Paras hyöty katsotaan saatavan kohdeyrityksen isompien tuotekokonaisuuksien hallinnasta. Mitä enemmän tietomalliin saadaan tuotua tietoja yksityiskohtaisista järjestelmistä, sitä enemmän tietomalleja voidaan käyttää myös tuotannonohjauksen työkaluna. Tämä vaatii yrityksen suunnittelutoimintojen IFC-käytäntöjen kehittymistä.

7.3 Ehdotetun mallin käyttöönotto kohdeyrityksessä

Tuotannosuunnittelun mallin implementoimiseksi yrityksessä on seuraavaksi toteutettava toimenpiteet tehokkaan käyttöönoton varmistamiseksi ja saavutettavien hyötyjen realisoimiseksi. Organisaation muutoksien johtamiseen on monia erilaisia käytäntöjä ja työkaluja. Matthei (1997) ehdottaa muutoksehollinnnan työkaluksi seitsemän vaiheista prosessia. Vaiheet ovat: 1.) tunnista ongelmat ja ratkaisut, 2.) luo organisaatiossa halu muutokselle, 3.) varaa muutokselle sen vaatimat resurssit, 4.) toteuta tarvittavat muutokset, 5.) ohjaa ja valvo muutoksien toteuttamista, 6.) analysoi muutoksien vaikutukset ja 7.) toista prosessi.

Vaiheessa 1 tulee tunnistaa ongelmakohteet ja määrittellä toimenpiteet ongelmien korjaamiseksi. Kohdeyrityksen tapauksessa ongelmat on tunnistettu ja ratkaisuehdotus on esitelty tämän diplomityön tuotoksena.

Toisessa vaiheessa tulee saada luotua organisaatiossa halu muutokselle. Muutoksen tehokkaaksi toteuttamiseksi tulee sille olla johdon ja myös organisaation muiden tasojen tuki. Tämän diplomityön puitteissa muutoshalukkuutta organisaatiossa pystytään rakentamaan viestimällä ne edut, jotka diplomityön tuloksena ehdotetulla mallilla voidaan saavuttaa. Ylempää johtoa motivoivana tekijänä se toimii takaamalla tehokkaamman tuotantoprosessin ja näin lisäämällä yrityksen projektien kannattavuutta. Ehdotettu malli pyrkii vastaamaan nykyprosessin ongelmiin, pyrkii luomaan systemaattista proaktiivista toimintaa ja näin vähentämään jatkuvaa tulipalojen sammuttamista projektin toteutuksessa. Näin uuden mallin käyttöönotto vaikuttaa projektiorganisaation toimijoiden henkilökohtaista työtaakkaa ja kiirettä helpottavana tekijänä. Voidaankin todeta, että laadukkaasti viestittynä motivaation rakentaminen ylimmälle johdolle ja muulle organisaatiolle on mahdollista diplomityön tuloksena syntyneen aineiston avulla.

Kolmannessa vaiheessa muutoksen toteuttamiselle on varattava sen vaatimat resurssit. Diplomityössä ehdotettu malli saattaa vaatia lisähenkilöresurssin toteuttamaan tuotannosuunnittelua, jotta tuotannosuunnittelun toimet saadaan kattavasti linkitettyä projektin muiden sidosryhmien kanssa. Prosessiin liittyvä henkilöstö on koulutettava toimimaan uuden prosessin mallin mukaisesti. Näiden lisäksi uudesta toimintamallista tulee luoda kattava materiaali esimerkiksi laadudokumentaatio-ohjeistuksen muodossa, josta organisaation jäsenet voivat myöhemmässä vaiheessa tarkastella mallin toimenpiteitä.

Vaiheessa neljä tulee toteuttaa suunniteltu muutos. Matthei (1997) mukaan oikea-aikainen toimeenpano vaatii yleensä ylimmän johdon tuen päätökselle. Esimerkiksi diplomityön tuloksena syntyneen mallin käyttöönotto vaatii sen, että tuotannonsuunnittelija otetaan mukaan projekteihin jo myyntivaiheessa toteutettavaan konseptisuunnitteluun, jotta mallia pystytään täysimääräisesti toteuttamaan.

Matthei (1997) mukaan viides vaihe on ylemmän johdon toimesta toteutettava muutoksen ohjaus ja valvonta. Ylemmän johdon tulee valvoa, että uuteen toimintamalliin liittyvät sidosryhmät todella toimivat mallin mukaisesti ja tarvittaessa ohjata toimintaa oikeaan suuntaan.

Kuudentena vaiheena on muutoksien vaikutuksien analysointi. Vaiheessa seitsemän reagoidaan vaiheen kuusi tuloksiin. Kun yrityksessä havaitaan lisää jäljelle jääneitä tai muuttuneen toimintaympäristön synnyttämiä kehityskohteita, iteraatiokierros tulee aloittaa uudelleen alusta ongelmien tunnistamisella (Matthei, 1997). Tällaiseen jatkuvaan kehitykseen tähdättiin myös diplomityön päätavoitteella ”luoda edellytykset tuotannonsuunnittelun johtamiselle ja systemaattiselle kehittämiselle”.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

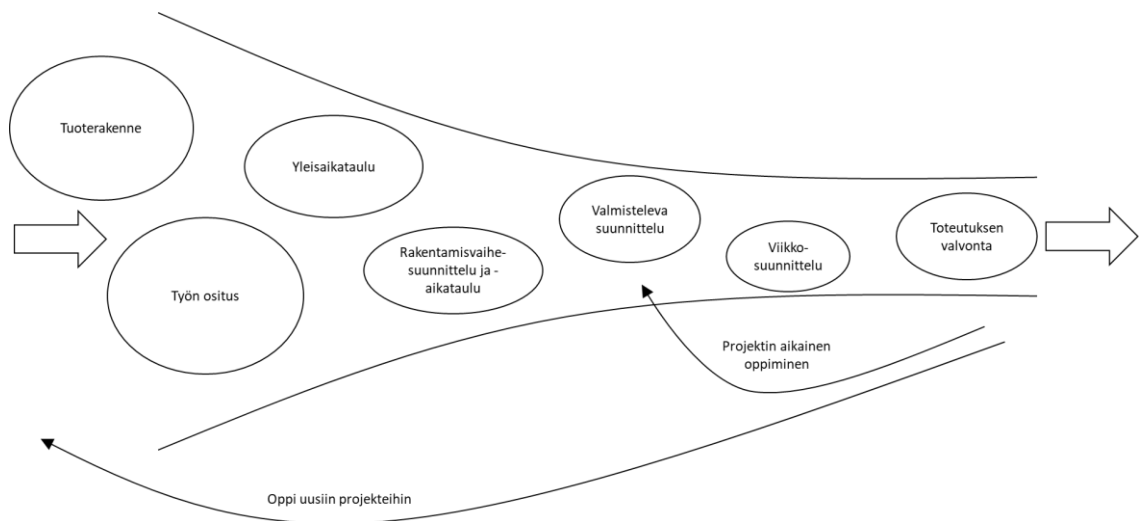
8.1 Tutkimustavoitteiden toteutuminen

Diplomityön tutkimuskysymykset kuuluivat seuraavasti:

- 1.) Mitkä ovat kohdeyrityksen kriittisimmät kehityskohteet toimitusprojektin toteutuksessa?
- 2.) Miten kirjallisuudesta löytyviä työkaluja voidaan käyttää hyväksi yrityksen projektien elinkaaren eri vaiheissa?
- 3.) Miten tietomallit ovat sovellettavissa yrityksen tuotannosuunnittelun työkaluina?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaukset löydettiin analysoimalla puolistrukturoidun haastattelun tulokset. Merkittävimmät juurisyöt kohdeprojektin haasteille johtuivat tuotannon ennakoivan suunnittelun lähes totaalisesta puutteesta erityisesti työvaiheissa suunnitelmiin ja materiaaleihin liittyvinä ongelmina. Lisäksi projektin viivästyneet suunnitelmat tarjouspyyntöjä varten ja pitkäksi menneet alihankkijasopimukset heijastivat ongelmia eri puolille projektin toteutusta.

Toiseen tutkimuskysymykseen kehitettiin tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen malli, joka alkaa myyntivaiheesta ja jatkuu läpi projektin tilaus-toimitus-prosessin läpikulkevana prosessina. Prosessia on hahmotettu kuvaan 28.



Kuva 28. Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen malli.

Kuva 28 havainnollistaa sitä, miten projektin tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen malli tarkentuu projektin elinkaaren edetessä. Malli myöskin mahdollistaa tuotannon toteuman seurannasta oppimisen sekä lyhyellä, että pitkällä aikavälillä.

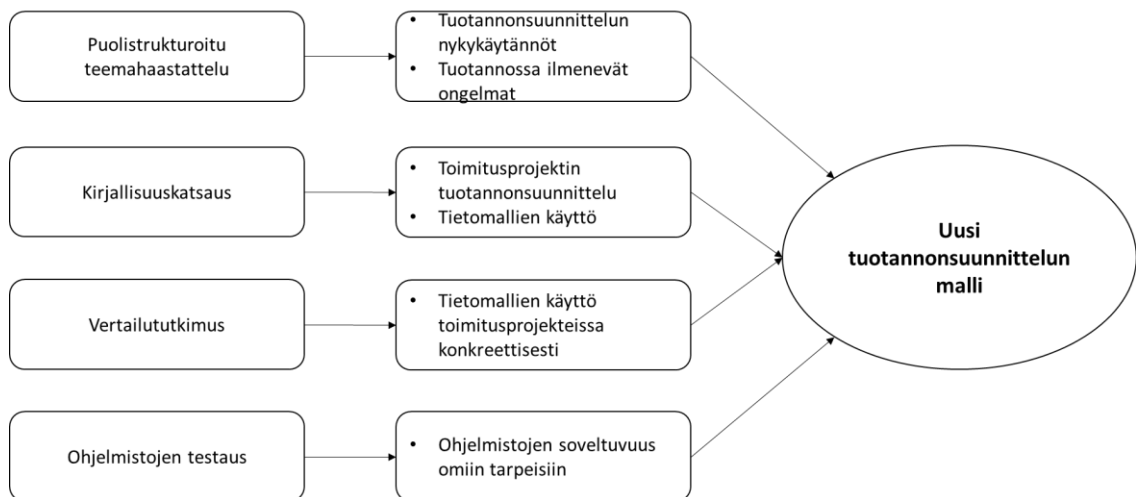
Yrityksen toteuttamien projektien luonne on varsin ainutlaatuinen ja tämänkaltaisten projektien tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen ei löydetty suoraan kirjallisuudesta mallia, mutta yhdistämällä yleisiä projektinhallinnan työkaluja, rakennusteollisuuden työkaluja sekä Lean Rakentamisen teorioita, pystyttiin yrityksen projektille kehittämään hyvin sovellettavissa oleva viitekehys. Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen viitekehys toimii hyvänä läpileikkauksena koko projektin läpikulkevana ohjenuorana mitä työkaluja missäkin vaiheessa tulee toteuttaa. Toiseen tutkimuskysymykseen pystytään vastaamaan tämän diplomityön pohjalta erinomaisesti.

Kolmas tutkimuskysymys oli työn yhteyteen liitettynä erittäin hankala. Tietomallinnuksen työkalut ovat tuotannosuunnittelun työkaluna selvästi vielä kehitysasteella ja tietomalleja on käytetty toistaiseksi selkeästi enemmän suunnittelun apuvälineenä kuin tuotannosuunnittelun työkaluna. Tietomallinnus tarjoaa toimivia työkaluja tuotannon parantamiseen esimerkiksi eri järjestelmien törmäykset poistamalla, jolloin tuotannon seisaukset voidaan estää. Kirjallisuus, testaus ja vertailututkimus tukevat kaikki näkemystä, jonka mukaan tietomallit eivät ainakaan toistaiseksi tarjoa toimivaa työkalua tuotannonohjaukselle projekteissa, jotka sisältävät merkittävästi yksityiskohtaisia ja vakioimattomia komponentteja.

8.2 Tutkimuksen toteutuksen ja luotettavuuden tarkastelu

Tutkimusmenetelmien soveltuvuus ja luotettavuus

Kuvassa 29 on kerrattu diplomityön tutkimusmenetelmät.



Kuva 29. Diplomityön tutkimusmenetelmät.

Diplomityön tarkoituksena oli kuvata kohdeyrityksen tuotannosuunnittelun nykytilaa ja siinä ilmeneviä ongelmia eli tutkimuksena kyseessä on nykyisen ilmiön tutkiminen. Tapaustutkimus soveltuu nykyisten ilmiöiden tutkimiseen ja sen vuoksi on soveltuva tutkimusmenetelmäksi tähän diplomityöhön. Tapaustutkimuksen aineisto koostuu usein

rajatuista tapauksista ja tämän vuoksi informaatio on harvoin laajemmalti yleistettävissä. Laajempi yleistettävyys ei ole kuitenkaan tässä diplomityössä varsinainen tavoite, vaan tarkoitus oli saavuttaa syvä ymmärrys yksittäisestä ilmiöstä, johon tapaustutkimus soveltuukin. Diplomityön kohdeyrityksenä toimiva liiketoimintaympäristö on melko uniikki, joten laajemmalti yleistettävän informaation tuottaminen uniikin ympäristön tutkimisella on vaikeaa.

Tapaustutkimuksen aineiston keräämiseen käytettiin tutkimusmenetelmien triangulaatiota tulosten validiteetin kasvattamiseksi. Menetelmät olivat puolistrukturoitu teemahaastattelu, vertailututkimus sekä ohjelmistojen testaus.

Puolistrukturoitu teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä on soveltuva käytettäväksi diplomityössä, sillä työn tarkoituksena oli syventää saatavilla olevaa tietoa, ymmärtää ilmiöiden perusominaisuuksia, sekä kartoittaa ilmiötä, josta on vain rajoitetusti tietoa saatavilla. Tuotannosuunnittelun toiminnoista ei ollut juurikaan dokumentaatiota edes yrityksen laatujärjestelmässä, joten lähtökohtainen tietämys nykyprosesseista oli huono jo pelkästään yrityksen sisällä, näin ollen puolistrukturoidulla teemahaastattelulla pyrittiin syventämään olemassa olevaa tietoa. Tämän lisäksi tuotannossa ilmenneitä ongelmia ei oltu dokumentoitu mihinkään, joten niiden käsitteleminen muuten kuin haastattelun avulla oli mahdotonta ja näin ollen voidaan haastattelun nähdä antavan pohjatietoa ilmiölle, josta ei juurikaan ollut lähtötietoja saatavissa.

Haastattelun rajoitteena oli haastattelijan kokemattomuus, sekä haastattelussa voitiin havaita, että haastateltavat pyrkivät jossain määrin ”kaunistelemaan” omaa vastuualuettaan, sekä antamaan vastauksia, jotka olisivat sosiaalisesti hyväksytympiä erityisesti arkaluontoisissa aihepiireissä, kuten ongelmien käsittelyssä. Haastattelujen jakautuminen kuitenkin organisaation eri tasoille ja osastoille parantaa haastatteluiden validiteettia, sekä tuo näkökulmiin laajempaa perspektiiviä

Vertailututkimus sopii hyvin diplomityön viitekehukseen, koska tutkimukseen käytettävä aika on varsin rajallinen. Vertailututkimus mahdollistaa diplomityössä sen, että työssä pystyttiin saamaan käyttöön objektiivinen informaatio vuosien kokemuksen omaavilta henkilöiltä. Muualta saatava tieto ohjelmistojen käytännöllisistä toiminnoista rajoittuu pitkälti ohjelmistotoimittajien materiaaleihin ja niitä ei tässä yhteydessä voida pitää riittävän objektiivisina lähteinä. Vertailututkimuksen voidaankin katsoa olevan objektiivinen tietolähde, sillä vertailukohteena olleella yrityksellä ei ole intressejä ”myydä” ohjelmistoja, vaan kyseessä on yritys, joka on menestyksekkäästi käyttänyt ohjelmistoja omissa projekteissaan.

Ohjelmistojen testaus sopii tutkimusmenetelmänä tähän diplomityöhön, koska sen avulla pystytään konkreettisesti testaamaan käyttömahdollisuudet yrityksen ja testaamaan soveltuuko ohjelmiston toiminnallisuus yrityksen tarpeisiin. Ohjelmistotestauksen rajoitteena on se, että ohjelmistot tyypillisesti vaativat harjoitusta ja koulutusta eikä niiden

käyttö aina ole kovinkaan yksinkertaista. Tässä työssä alkuperäinen tavoite oli toteuttaa testejä useilla eri ohjelmistoilla. Lopulta työssä kuitenkin päädyttiin testaamaan vain yhtä ohjelmistoa, sillä diplomityön puitteissa se oli ainoa ohjelmistotoimittaja, joka pystyi antamaan diplomityön testaamiseen riittävän koulutuksen. Testien rajoittuminen yhteen ohjelmistoon vähentää tulosten yleistettävyyttä, mutta toisaalta ohjelmistotoimittaja on jo aikaisemmin todettu potentiaalisimmaksi toimittajaksi kohdeyritykselle. Näin ollen testaaminen palvelee erityisesti yrityksen tarpeita.

Tutkimuksen toteuttaminen

Diplomityön toteuttamisesta voidaan todeta, että tuotannon nykyisten prosessien selvittäminen ja tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen kehittäminen olisi tarjonnut yksinään diplomityölle sopivan aihekokonaisuuden. Tietomallinnuksen tuominen osaksi diplomityötä teki diplomityöstä liian laajan. Läpi toimitusprosessin kulkeva tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen toimintamallin kehittäminen jo yksinään tuo työhön enemmän laajuutta kuin syvyyttä.

Diplomityön tuotoksena syntynyt tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen malli tarjoaa yritykselle ohjenuoran, jonka mukaan projektien tuotantoa jatkossa tulee pystyä hallitsemaan. Lisäksi se toimii jatkossa materiaalina, jota voidaan pitää pohjana prosessien kehittämiselle. Näin ollen voidaankin katsoa, että diplomityön päätavoite ”luoda edellytykset tuotannosuunnittelun johtamiselle ja systemaattiselle kehittämiselle” täyttyy erinomaisesti.

8.3 Jatkotutkimuskohteet

Haastattelututkimukseen mukaan yrityksen logistiikka- ja materiaalienhallintaprosessit ovat epäsystemaattisia sekä määrittelemättömiä. Yrityksen hankintastrategiana on ostaa kokonaistoimituksia. Tähän tavoitteeseen ei ollut kuitenkaan täysin päästy ja itse toteutettava ostotoiminta oli aktiivista. Ostotoimintaa varten ei ollut kuitenkaan olemassa kattavaa tilaus- ja materiaalienhallintajärjestelmää eikä tilausten valvontaan ja materiaalienhallintaan ollut rakennettu systemaattisia toimintamalleja. Järjestelmien ja toimintamallien puuttuminen aiheutti lukuisia haasteita tilausten valvontaan ja materiaalienhallintaan. Tämä osaltaan heijastui tuotantoon materiaalipuutteina ja materiaalien etsintänä työmaan varastoista. Lisäksi toimitusten merkkämisessä ja loppuasennuskohteen kohdistamisesta oli informoitu vajavaisesti toimittajalle, mikä osaltaan vaikutti myös haasteiden muodostumiseen.

Diplomityön tuloksena muodostunut tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen mallissakin esiintynyt tuote- ja työrakenteen määrittely luo pohjan hankintakokonaisuuksien johdonmukaiselle rakentamiselle ja suunnittelukokonaisuuksien ohjaamiselle siten, että ne muodostavat tuotantoa tukevia kokonaisuuksia. Näin ollen diplomityön tuloksena

tuotettu malli toimii osaltaan myös apuna ilmenneiden suunnittelun- ja materiaalienhallinnan erilaisiin haasteisiin.

Tulee kuitenkin huomioida, että niin kauan kuin yrityksessä toteutetaan operatiivisia komponenttihankintoja, niin valmiudet toimitusten ohjaamiselle ja valvonnalle tulee olla kunnossa. Yrityksessä tulee tehdä päätöksiä sen suhteen, että siirrytäänkö hankinnassa pienistä ja lukuisista materiaali ostoista aidosti kokonaistoimituksien hankintaan. Jos hankinnan toteutusta jatketaan pieninä kokonaisuuksina, niin olosuhteet hankinnan resursoinnille, toimitusten valvonnalle ja materiaalien hallinnalle tulee olla kunnossa ja näin hankintaorganisaatioon on panostettava nykyistä enemmän ja investoida esimerkiksi toimitusvalvonnan mahdollistavaan ja systemaattisen materiaalienhallinnan mahdollistavan tietojärjestelmän käyttöönottoon.

On todettava, että tämän diplomityön tuloksena syntynyt tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen malli keskittyy enemmän prosessin läpi kulkevan mallin laajuuteen ja pyrkii jokaisen projektin elinkaaren vaiheen aikaisien toimintamallien kuvaamiseen, mutta ei pureudu eri vaiheissa käytettäviin työkaluihin välttämättä kovin syvästi. Työssä kuvataan mitä työkaluja ja toimintoja tulee toteuttaa projektin missäkin vaiheessa, mutta se ei ota syvästi kantaa miten työkaluja tulisi kohdeyrityksen eri projekteissa toteuttaa, millaisia haasteita eri työkaluilla on ja miten yrityksen tuotteiden erityispiirteet tulisi työkaluissa ottaa huomioon. Näin ollen tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen mallin käyttöönotto tulee synnyttämään useita jatkotutkimuskohteita, joissa pureudutaan prosessin eri vaiheisiin tarkastellen tuotteiden erityispiirteiden tuottamia mahdollisuuksia, rajoitteita ja haasteita. Esimerkiksi tietomallinnus aiheuttaa itsessään jo tiettyjä rajoitteita tuoterakenteen määrittelylle ja tuotteiden erityispiirteet tulee myöhemmässä vaiheessa sopeuttaa näihin rajoitteisiin. Voidaankin todeta, että tämä diplomityö kuvastaa PDCA-syklin suunnitteluvaihetta ja tulee tuottamaan implementoinnin jälkeen oppia ja jatkokehitystyötä. Diplomityö osaltaan siis toimii myös alkusysäyksenä jatkuvalla kehitystyölle, joka oli myös osa työn päätavoitetta.

Jatkokehitystä vaatii myös tietomallien käyttäminen tuotannonohjauksen työkaluna. Jos hankintakokonaisuuksissa halutaan siirtyä aidosti kokonaistoimituksiin, niin silloin tietomallinnuksen detaljitason saavuttamiseksi riittää se, että mallit päivitetään vasta as-built-kuviin vastaamaan todellista tuotesisältöä. Jos ostotoiminta jatketaan nykyisellään, niin detaljitason tietomallitaso tulee saavuttaa jo ennen rakennusvaihetta, jotta tietomallia voitaisiin käyttää hyväksi materiaalien hankintaan ja materiaalien ohjaukseen tietomallinnusohjelmistoihin integroitujen aikataulutökalujen avulla.

Laajempaa tieteellistä tutkimusta ja kehitystä ajatellen tietomallien käyttö tuotannonohjauksen työkaluna muodostaa hedelmällisen kehitysympäristön. Kun mallintamattoman materiaalin ja yksityiskohtaisten tietojen, kuten pintojen viimeistelymateriaalien ja -yksityiskohtien, aiheuttamat haasteet saadaan ratkaistua, niin tuotantoaikatauluun linkitetyistä materiaaleista voidaan saada aidosti luotettavia.

Tällainen tuotannon materiaalivirtojen ohjaustyökalu voi ERP:hen yhdistettynä muodostaa erittäin tehokkaita työkaluja projektityyppisten tuotantojärjestelmien hankinnalle, toimitusten valvonnalle, materiaalivirtojen hallinnalle sekä toteuman seurannalle ja raportoinnille.

LÄHTEET

Admares Modular Construction Oy (2017) QMS Documentation. Rajattu saatavuus.

AlSehaimi, A., Tzortzopoulos, P. & Koskela, L. (2009). Last Planner System: Experience from Pilot Implementation in the Middle East. 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

Aouad, G., Wu, S. & Lee, A. (2006). n-Dimensional Modeling Technology : Past, Present , and Future. 20(June), pp. 151–153.

Artto, K., artinsuo, M. & Kujala, J. (2008). Projektiliiketoiminta. 2nd edn. Helsinki: WSOY.

Ballard, H. (2000). The Last Planner System of Production Control. University of Birmingham.

Bhutta, K. S. & Huq, F. (1999). Benchmarking – best practices: an integrated approach. *Benchmarking: An International Journal*, 6(3), pp. 254–268.

Blismas, N., Pasquire, C. & Gibb, A. (2006). Benefit evaluation for off-site production in construction. *Construction Management and Economics*, 24(2), pp. 121–130.

Boyd, N., Khalfan, M. M. A. & Maqsood, T. (2013). Off-Site Construction of Apartment Buildings, *Journal of Architectural Engineering*, 19(1), pp. 51–57.

Bryde, D., Broquetas, M. & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. Elsevier Ltd and APM IPMA, 31(7), pp. 971–980.

COBIM - hankkeen osapuolet (2012), Yleiset tietomallivaatimukset, Osa 1, Yleinen osuus. p. 21. Saatavissa (viitattu 15.06.2017): http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2nd edn. John Wiley & Sons, Inc.

Fernandez-Solis, J. L., Rybkowski, Z. K., Lavy, S., Porwal, V., Lagoo, N., Son, K. & Shafaat, A. (2012). Survey of Motivations, Benefits and Implementation Challenges of Last Planner® System Users. *Journal of Construction Engineering and Management*, (April), p. 451.

Gibb, A. G. F. (2001). Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. *Construction Management and Economics*, 19(3), pp. 307–315.

Goodier, C. & Gibb, A. (2007). Future opportunities for offsite in the UK. *Construction*

Management and Economics, 25(6), pp. 585–595.

Grilo, A. & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 19(5), pp. 522–530.

Hairstans, R. (2015). Building offsite: An introduction. pp. 1–47. Saatavilla (viitattu 29.7.2017):
http://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/06/Building_Offsite_An_Introduction.pdf

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2004). Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: yliopistopaino.

Junnonen, J.-M. (2010). Talonrakennushankkeen tuotannonhallinta. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

Junnonen, J.-M. & Kankainen, J. (2017). Rakennuttaminen. 5th edn. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Koskela, L. & Koskenvesa, A. (2003). Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, (2197), pp. 3–82.

Koskela, L., Koskenvesa, A. & Sipi, J. (2016). Työmaan toimiva tuotannonohjaus: Opas Last Planner-menetelmään. 4th edn. Helsinki: Rakennusteollisuuden kustannus.

Koskenvesa, A. & Sahlstedt, S. (2011). Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Rakennustieto Oy.

Koskenvesa, A., Sahlstedt, S., Mäki, T. & Kivimäki, C. (2015). Aikataulukirja 2016. 13th edn. Talonrakennusteollisuus Ry, Rakennustietosäätiö RTS.

Kymmell, W. (2007). Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. McGraw Hill Professional.

Law, J. (2016a) A Dictionary of Accounting, Oxford University Press. Saatavilla (viitattu 14.5.2017):
<http://www.oxfordreference.com.libproxy.tut.fi/view/10.1093/acref/9780198743514.001.0001/acref-9780198743514-e-2630>

Law, J. (2016b) A Dictionary of Business and Management, Oxford University Press. Saatavilla (viitattu 9.6.2017):
<http://www.oxfordreference.com.libproxy.tut.fi/view/10.1093/acref/9780199684984.001.0001/acref-9780199684984-e-5115>.

Leonard-Barton, D. (1990). A Dual Methodology for Case Studies: Synergistic Use of a Longitudinal Single Site with Replicated Multiple Sites. *Organization Science*, 1(3), pp. 248–266.

Martinez, S., Jardon, A., Navarro, J. M. & Gonzalez, P. (2008). Building industrialization: robotized assembly of modular products. *Assembly Automation*, 28(2), pp. 134–142.

Matthei, W. (1997). (Mis)Managing the System - How to Change the System. 1st edn. NUSYSTEMS.

Munns, A. K. & Bjeirmi, B. F. (1996). The role of project management in achieving project success. *International Journal of Project Management*, 14(2), pp. 81–87.

Peltonen, T. & Kiiras, J. (1998). *Rakennuttajan työpanos eri urakkamuodoissa*. 1st edn. Helsinki: Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. and Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), pp. 968–980.

Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus? - Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. *Vaasan Yliopiston Julkaisuja. Opetusjulkaisuja 62. Julkisjohtaminen 4*.

Suomala, P., Manninen, O. and Lyly-Yrjänäinen, J. (2011). *Laskentatoimi johtamisen tukena*. Helsinki: Edita Publishing Oy.

The National BIM Standard - United States, What is a BIM? Saatavissa (viitattu 19.7.2017): <https://www.nationalbimstandard.org/faqs> (Accessed: 31 July 2017).

Tu, Y. & Dean, P. (2011) *One-of-a-Kind Production*. Springer.

Voss, C., Tsiriktsis, N. & Frohlich, M. (2002). Case research in operations management. *International Journal of Operations & Management Production Management*, 22(2), pp. 195–219.

Zong, M. & Sun, H. (2012). An integrated method of hierarchical planning and “pull-way” production control for lean shipbuilding. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 2150–2154.

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

Osa A: Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen nykyiset toimintamallit ja käytännöt

- 1.) Millaisia tuotannosuunnittelun toimintoja *ennen rakentamisvaiheen alkua* projektissa on toteutettu? Kuvaile prosessit, työkalut ja vastuuhenkilöt?
- 2.) Miten rakennusvaiheen aikana toteutetaan pidemmän aikavälin (4-6 vk.) ennakoivaa suunnittelua? Kuvaile prosessit, työkalut ja vastuuhenkilöt?
- 3.) Miten rakennusvaiheen aikana tuotannon lyhyen aikavälin johtaminen ja ohjaus on toteutettu? Kuvaile prosessit, työkalut ja vastuuhenkilöt?
- 4.) Miten tuotannon todelliset edellytykset varmistetaan? Suunnitelmat, materiaalit, tarvittavat resurssit, työolosuhteet, työmaan resurssit.
- 5.) Miten tuotannon toteumaa seurataan? Kuvaile prosessit, työkalut ja vastuuhenkilöt?
- 6.) Miten tuotannon materiaalivirtoja hallitaan? Kuvaile prosessit, työkalut ja vastuuhenkilöt?

Osa B: Tuotannon nykyprosessin ongelmat

- 7.) Kerro projektissa ilmenneet merkittävimmät ongelmat
- 8.) Mitä tekisit toisin tämän projektin toteuttamiseksi?

Osa C: Muuta

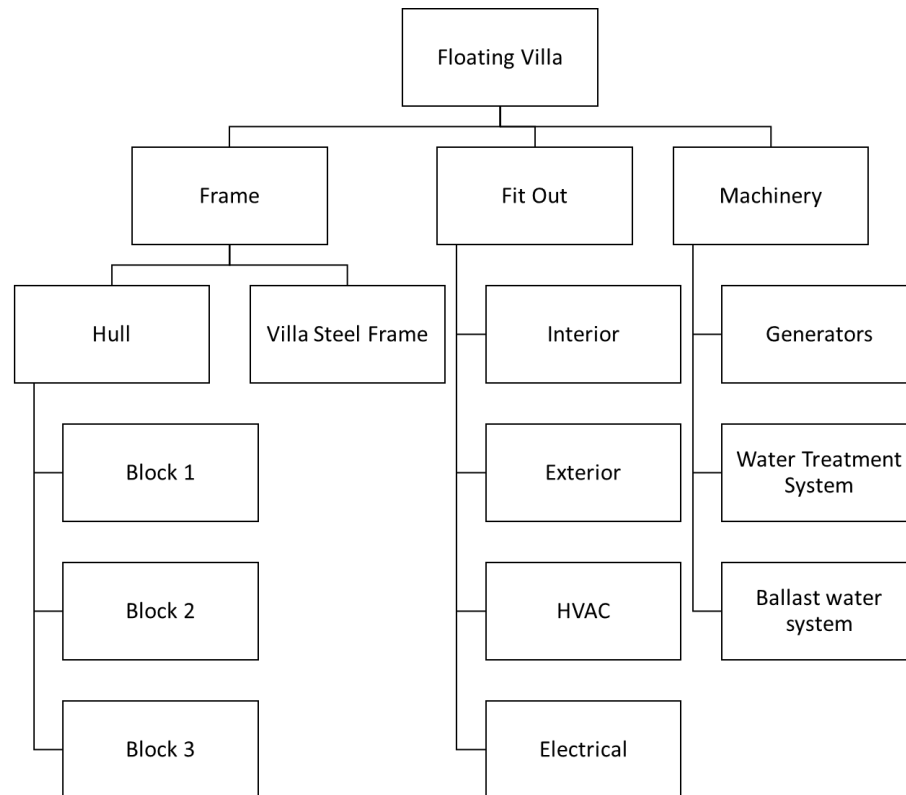
- 9.) Onko jotakin, jota haluat tuoda esille jo käytyjen asioiden lisäksi?

LIITE B: OHJELMISTOTESTAUKSEN RUNKO

- 1.) Onko tuoterakenne mahdollista jakaa osakokonaisuuksiin osien aikataulutusta varten ja materiaalienohjausta varten? Millä eri tavoin tuoterakenne voidaan jakaa?
- 2.) Voidaanko tietomalliin tuoda MS Project-aikatauluja? Pystytäänkö mallista linkittämään tuoterakenteen osia aikatauluun?
- 3.) Saadaanko mallista materiaalilistaus työpaketeittain ulos, jos ne on mallinnettu muussa ympäristössä?
- 4.) Miten mallintamatonta materiaalia voidaan hallita tietomallinnus-ohjelmistossa?

LIITE C: VERTAILUTUTKIMUKSEN RUNKO

- 1.) Mitä ohjelmistoja teillä on käytössänne?
- 2.) Millaisia tietomallinnusprosesseja ja toimintoja käytätte yleisesti tuotannonsuunnittelun tukemiseksi toimitusprojektien eri elinkaaren vaiheissa?
- 3.) Miten toteutate tuoterakenteen määrittelyn tietomalliin? Oletteko havainneet mikä on toimivin tapa tuoterakenteen pilkkomiseen tietomallissa?
- 4.) Miten linkitätte rakennusvaiheet ja vaiheissa tarvittavat materiaalit toisiinsa?
- 5.) Onko teillä käytössä vakioutuja prosesseja tietomallien käytöstä hankintojen- tai materiaalivirtojen ohjaamisen apuna?
- 6.) Minkä tasoisia komponentteja hallitsette tietomallien avulla? Onko esimerkiksi ainoastaan runkorakenteiden ohjaaminen mahdollista tietomallin avulla vai voitteko ohjata taloteknisiä laitteita tai viimeistelytyöitä tietomallien avulla?

LIITE D: ESIMERKKI MYYNTIVAIHEEN TUOTERAKENTEESTA

LIITE E: ESIMERKKI MYYNTIVAIHEEN TUOTERAKENTEESTA JOHDETUSTA TYÖN OSITUSRAKENTEESTA JA AIKATAULUSTA

