Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Automation and Electrical Engineering maisteriohjelma

Taloteknisen suunnitteluprosessin kehittäminen tahtituotannon optimoinniksi

Amanda Laakkonen

Diplomityö 2022

Copyright ©2022 Amanda Laakkonen

Tekijä Amanda Laakkonen

Työn nimi Taloteknisen suunnitteluprosessin kehittäminen tahtituotannon optimoinniksi

Koulutusohjelma Automation and Electrical Engineering

Pääaine Electrical Power and Energy Engineering

Vastuuopettaja/valvoja Professori Jaakko Ketomäki

Työn ohjaaja(t) Tapani Idman, DI, Osastonjohtaja – Granlund Oy

Yhteistyötaho Granlund Oy

Päivämäärä 18.07.2022 **Sivumäärä** 65 + 2 **Kieli** Suomi.

Tiivistelmä

Kiinteistöt ja rakennushankkeet ovat jatkuvan kehityksen alla. Rakennusalaan heijastuvat useat tulevaisuuden kehityssuunnat ja megatrendit, kuten esimerkiksi kaupungistuminen ja elintason noususta seuraava kulutuksen kasvaminen. Tämän johdosta rakennusalan kilpailukykyisessä markkinassa tavoitellaan tuottavampaa ja vaativampaa rakentamista. Valtioneuvoston tekemän selvityksen mukaan yksi tuottavuutta parantava keino olisi urakoitsijoiden osallistuttaminen jo rakennuksen suunnitteluvaiheeseen. Rakennusalan ja tuottavuuden ongelmien merkittävänä osasyynä onkin pitkään pidetty perinteistä taloteknistä suunnittelua.

Diplomityössä perehdyttiin nykyaikaisen taloteknisen suunnittelun prosesseihin ja menetelmiin rakennushankkeissa, erityisesti hankkeissa, jotka toteutetaan tahtituotantoa hyödyntäen. Diplomityössä pyrittiin löytämään erilaisia haasteita, joita talotekninen suunnittelu aiheuttaa, tuo mukanaan tai voisi tuoda tahtituotanhankkeisiin. Aihetta tutkittiin kirjallisuusselvityksen sekä teemahaastattelujen avulla, joita toteutettiin 16 kappaletta. Työssä painoitettiin sähkösuunnittelun osuutta TATE-suunnittelussa.

Kirjallisuuselvityksen aikana käytiin läpi aiempia tutkimuksia sekä tieteellisiä julkaisuja aiheesta, jotta kyettiin muodostamaan nykytilasta kokonaisvaltainne käsitys. Tämän jälkeen pidettiin 16 kappaletta teehamaastatteluja, joiden aikana käytiin keskustelunomainen haastattelu, seuraten luotua haastattelurunkoa. Teemahaastattelusta saadut tulokset litteroitiin ja niistä muodostettiin tulokset sekä tehtiin johtopäätökset.

Tutkimuksen johtopäätöksenä havaittiin, että TATE-suunnittelu itsessään ei ole este tai hidaste tahtituotannolle, vaan ongelmat kumpuavat muista asioista. Teemahaastattelujen aikana havaittiin ongelmia TATE-suunnittelussa, jotka johtuivat esimerkiksi sopimusmalleista, johtamisen puutteesta sekä suunnittelun suunnittelemattomuudesta. Tutkimuksen lopuksi saatiin laadittus tahtituotannon vaatimukset TATE-suunnittelulle tiekartta, jonka avulla suunnittelijat voivat seurata työnsä polkua ja tarkastaa mitä vaatimuksia heiltä odotetaan.

Avainsanat Tahtituotanto, TATE, Sähkösuunnittelu

Author Amanda Laakkonen

Title of thesis Development of a building services engineering design process to optimize synchronous production.

Programme Automation and Electrical Engineering

Major Electrical Power and Energy Engineering

Thesis supervisor Professor Jaakko Ketomäki

Thesis advisor(s) Tapani Idman, DI, Depanrtmend manager – Granlund Oy

Collaborative partner Granlund Oy

Date 18.07.2022 **Number of pages** 65 + 2 **Language** Finnish

Abstract

Real estate and construction projects are under constant development. Several future development directions and megatrends are reflected in the construction industry, such as urbanization and the increase in consumption following the rise in the standard of living. As a result, in the competitive market of the construction industry, more productive and more demanding construction is sought. According to the report made by the Government, one way to improve productivity would be to involve contractors already in the planning phase of the building. Traditional building engineering planning has long been considered to be a significant part of the problems in the construction industry and productivity.

In the master thesis, the processes, and methods of modern building engineering design in construction projects were introduced, especially in projects that are carried out using paced production. In the master thesis, the aim was to find different challenges that building engineering design causes, brings with it or could bring to paced production projects. The subject was researched with the help of a literature review and thematic interviews, 16 of which were carried out. The work emphasized the role of electrical planning in TATE planning.

During the literature review, previous studies and scientific publications on the subject were reviewed in order to form an overall understanding of the current state. After this, 16 tea farm interviews were held, during which a conversation-like interview took place, following the created interview framework. The results obtained from the thematic interview were transcribed and the results were formed from them, and conclusions were drawn.

As a conclusion of the study, it was found that TATE planning itself is not an obstacle or a slow-down for pace production, but the problems stem from other things, such as contract models, lack of management and the lack of direction in designing. At the end of the study, a road map of the requirements for paced production for TATE planning was drawn up, which enables designers to follow the path of their work and check what requirements are expected of them.

Keywords Pace production, TATE, Electrical design

Alkusanat

Työn aihepiiri, tahtituotanto, jyvittyi mieleeni jo vuonna 2016, enennkuin edes opiskelin Aallossa. Aihepiiri tuli tutuksi silloisesta työstäni valmistavan teollisuuden parissa. Kuitenkin vasta työni Granlundilla sai minut innostumaan kehittämään tahtituotanota nimenomaan rakennusalalla. Hetken sopivaa näkökulmaa miettien ja aihepiirin rajausta ajatellen ehdotin työni nykyistä aihetta esihenkilölleni Henkalle sekä osastomme johtajalle Tatulle. He näyttivät vihreää valoa asiaan, ja kokivat työn aiheen olevan ajankohtainen sekä alaa kehittävä.

Kun aloitin varsinaisesti diplomityöni teon, ajattelin sen valmistuvan 12 viikon aikana. Kerroin tämän myös professorilleni Jaakko Ketomäelle sekä ohjaajalleni Tapani Idmanille. He uskoivat minun pystyvän siihen suorilta käsin, sen suuremmin epäilemättä. Kerroin myös tekevän työni samalla työskennellen täyspäiväisesti. 20 viikko myöhemmin työ oli palautettu. Haluan kiittää Jaakkoa sekä Tapania, kun uskoitte minuun ja sain nauttia teidän luottamustanne työn aikana. Huolimatta aikataulun venymisestä, en koskaan tuntenut, ettette olisi luottaneet minuun sekä työhöni. Kiitos Granlund Oy.lle työni mahdollistamisesta sekä esihenkilölleni Henrille tuesta ja kannustamisesta.

Haluan kiittää myös perhettäni. Äitini Sari, isäni Marko sekä veljeni Alex ovat olleet tukenani koko opintojeni ajan ja kannustaneet minua jatkamaan. Lisäksi haluan kiittää kumppaniani Juhoa hänen tuestaan ja uskomattomasta joustamisesta opintojeni ajan.

Helsingissä 18.7.2022

Amanda Laakkonen

Amanda Laakkonen

Sisällys

Lyhenteet 7
1 Johdanto 8
1.1 Tutkimuksen taustat 8
1.2 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset sekä menetelmät 10
1.3 Tutkimusaineiston keruu 11
1.4 Työn rakenne 12
2 Talotekninen suunnittelu 13
2.1 Rakennushankkeen kulku 13
2.1.1 Suunnittelun vaiheet 14
2.1.2 Rakentamisen vaiheet 18
2.1.3 Sähkösuunnittelu 19
2.2 Lean-ajattelu ja Tahtituotanto 23
2.2.1 Lean menetelmät rakennusalalla 26
2.2.2 Ongelmanratkaisu- ja päätöksentekomenetelmät suunnittelussa 28
2.2.3 Tahtituotanto 30
2.2.4 Muda suunnittelussa 36
2.3 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto 37
3 Tutkimusmenetelmät 40
3.1 Tulokset 43
3.1.1 Haasteet 44
3.1.2 Prosessit 47
3.1.3 Kehitys 53
4 Johtopäätökset 54
4.1 Tutkimustulosten peilaus kirjallisuuteen 56
4.2 Tahtituotannon vaatimukset TATE-suunnittelulle 56
5 Yhteenveto ja jatkotutkimusmahdollisuudet 59
6 Lähteet 61
Liiteluettelo 65

Lyhenteet

BIM	Building Information Model
DFA	Design For Assembly
DFM	Design For Manufacturing
JIT	Just In Time
LPS	Last Planner System
LVI	Lämpö, Vesi, Ilma
TATE	Talotekniikka
TVD	Targer Value Design

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustat

Talotekniikka muodostuu kiinteistön taloteknisistä järjestelmistä kuten LVI-, sähkö-, sekä rakennusautomaatioratkaisuista ja se muodostaa kokonaisuuden, joka huolehtii kiinteistön teknisestä toimivuudesta sekä turvallisuudesta. Talotekniikka huolehtii myös esim. kiinteistöjen energiatehokkuuden hallinnasta sekä tilojen käyttömukavuudesta ja viihtyvyydestä. Talotekniikka (TATE) on siis vääjäämätön osa-alue jokaista rakennushanketta ja kiinteistöä.

Kiinteistöt ja rakennushankkeet ovat jatkuvan kehityksen alla. Rakennusalaan heijastuvat useat tulevaisuuden kehityssuunnat ja megatrendit, kuten esimerkiksi kaupungistuminen ja elintason noususta seuraava kulutuksen kasvaminen. Tämän johdosta rakennusalan kilpailukykyisessä markkinassa tavoitellaan tuottavampaa ja vaativampaa rakentamista. Valtioneuvoston tekemästä selvityksestä (2020) selviää, että rakennusalan työn tuottavuuden nostaminen on nähty tärkeänä sekä julkisen sektorin sopeutumiselle kestävyysvajeeseen että suomalaisen työn kilpailukyvyn kohentamiselle.

Valtioneuvoston selvityksestä (2020) selviää myös, että yksi tuottavuutta parantava keino olisi urakoitsijoiden osallistuttaminen jo rakennuksen suunnitteluvaiheeseen. Rakennusalan ja tuottavuuden ongelmien merkittävänä osasyynä onkin pitkään pidetty perinteistä taloteknistä suunnittelua. Tämä perinteinen suunnittelu sisältää huomattavan määrän hukkaa. (Formoso ym. 1998.). Hukka on lean-filosofiasta tuttu käsite, joka tarkoittaa kaikkea mikä ei lisää arvoa lopputuotteeseen tai palveluun asiakkaan näkökulmasta. Tällaisia voi olla esimerkiksi virheet, yliprosessointi, ylituotanto ja osaamisen hyödyntämättä jättäminen. Tämä hukka heijastuu TATE-suunnittelussa suunnitelmapuutteina, -muutoksina ja -viivästyksinä, jotka korostuvat toteutussuunnittelussa eli hankintaa ja toteutusta palvelevassa suunnittelussa. Useat tutkimukset viittaavat, että rakennusvirheistä valtaosa johtuu virheellisistä, ristiriitaisista tai puutteellisista suunnitelmista. (Formoso ym. 1998 .) Voidaankin todeta että tämänhetkinen taloteknisten järjestelmien suunnitteluprosessi ei kaikilta osin tue nykyistä ja tulevaisuuden rakentamista.

Ratkaisua rakennusalan tehokkuuteen, laatuun sekä kustannuksiin etsitään nyt kuumeisesti tahtituotannon avulla. Tämän seurauksena myös TATE-suunnittelu on samaisen muutoksen alla. Tahtituotanto on Lean-filosofiaan perustuva tuotantotapa, jossa projekti jaetaan identtisiin työpaketteihin,

jotka seuraavat toisiaan keskeytyksettä. Seppo Mölsä kertoo rakennuslehden artikkelissa (2019) kuinka tasainen virtaus tekee projektista tavanomaista ennustettavamman. Tahtituotannon voima perustuu tuotantosysteemin standardointiin, tuotannon eräkokojen ja puskureiden pienentämiseen sekä erinomaiseen kykyyn antaa tilannekuva tuotannon etenemisestä.

Vaikka tahtituotanto on laajasti rakennusalalla yleistyvä suuntaus, TATE-suunnittelun mukaan tuomisesta osaksi tahtituotantoa on vain hieman referenssejä sekä yhdellä kädellä laskettava määrä tutkimusta. TATE-suunnittelua ja suunnittelijoita koskeva tietämättömyys tahtituotannosta sekä nykyiset tavat toteuttaa suunnittelua luo haastavat olosuhteet tahtituotannon läpi viemiseksi suunnittelupuolella. Tahtituotantoa on jo sovellettu rakennushankkeissa rakennusvaiheessa ja sen hyödyt ovat todistettu. (mm. Linnik ym. 2013, Dlouhy ym. 2016, Binninger ym. 2018.)

Tämän tutkimuksen kohdeyrityksenä toimii Granlund Oy. Granlund on vuonna 1960 perustettu kiinteistö- ja rakennusalan konserni. Granlundin toimialoja ovat talotekninen suunnittelu, kiinteistöjohtamisen palvelut ja ohjelmistot, energia-, ympäristö- ja kiinteistöalan konsultointi, rakennuttaminen ja valvonta sekä isännöinti. Granlund-konserni on vuonna 2021 ja alkuvuodesta 2022 ollut mukana seitsemässä yrityskaupassa, ja näin ollen laajentanut osaamistaan muun muassa tietomallipohjaiseen 4D-aikataulutukseen. Tämä diplomityö ja tutkimus on toteutettu osana Granlundin Plan G-strategiaprojektia, jonka tavoitteena on parantaa kiinteistöjen toimivuutta, älykkyyttä ja samalla ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. (Granlund 2022)

Diplomityöllä pyritään edistämään ja kehittämään taloteknisen suunnittelun siirtymää kohti tahdistettua suunnittelua. Tutkimuksen avulla kartoitetaan nykyisten suunnitteluprosessien haasteita ja etsitään mahdollisia puuttuvia toimintatapoja sekä metodeja, joiden avulla tahdistettu suunnittelu on myös mahdollista. Joonas Lehtovaara (2019) kiteyttää Building 2030 - Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportissaan tutkimukseni tavoitteen loistavasti seuraavalla sitaatilla:

"*Suurimman hyödyn ja kilpailuedun saavuttavat yritykset, jotka kykenevät nopeiten poistamaan tahdin esteitä ja kehittämään tuotannon tukitoiminnot tukemaan tahtituotantoa.*"

1.2 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset sekä menetelmät

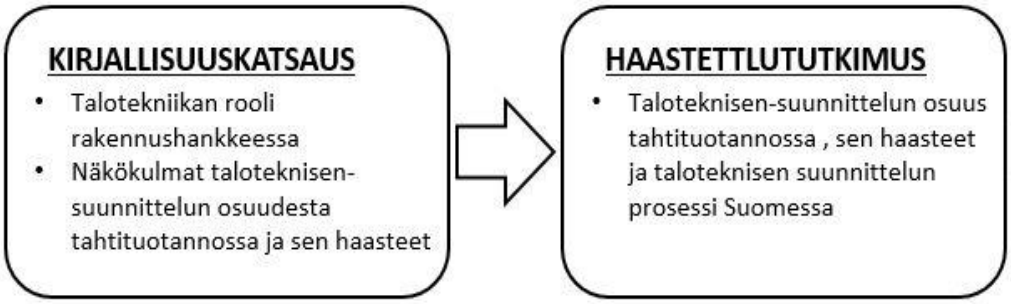
Diplomityössä perehdytään nykyaikaisen taloteknisen suunnittelun prosesseihin ja menetelmiin rakennushankkeissa, erityisesti hankkeissa, jotka toteutetaan tahtituotantoa hyödyntäen. Työ on rakenteellisesti jaettu kahteen osaan ja työssä käytetään useaa tutkimusmenetelmää.

Tutkimus rajautuu talotekniseen suunnitteluun ja sen vaikutuksiin tahtituotantohankkeissa. Tutkimuksessa kuitenkin pohjustetaan rakennushankkeiden kulkua, tukemaan ymmärrystä taloteknisestä suunnitteluprosessista.

Ensimmäisenä tehdään kirjallisuuskatsaus ja taustoitetaan aihetta. Kirjallisuuskatsaus keskittyy Lean- filosofiaan, tahtituotantoon sekä TATE- suunnitteluun ja sen prosesseihin. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään tarkemmin TATE-suunnittelualoista sähkösuunnitteluun, koulutuslinjan vuoksi.

Kirjallisuuskatsaus toteutetaan alkuun perinteisenä kirjallisuuskatsauksena, jolloin tunnistetaan, esitetään ja tulkitaan aihepiiriä. Tämän jälkeen toteutetaan integroiva kirjallisuuskatsaus. Tällä pyritään esittämään johtopäätöksiä aihepiirin aiemmista tutkimuksista sekä kirjoitelmista.

Toiseksi tehdään tutkimus, jossa pyritään selvittämään empiirisen tutkimuksen avulla TATE-suunnittelun tämänhetkisiä vaikutuksia, ongelmia ja heikkouksia tahtituotannon näkökulmasta. Pyritään esisijaisesti selvittämään Sähkösuunnittelun tämänhetkisiä vaikutuksia, ongelmia ja heikkouksia tahtituotannon näkökulmasta, mutta kaikkia TATE-lajeja käsitellään.



Kuva 1 Tutkimusprosessi

Tutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. *Mitä haasteita taloteknisten järjestelmien suunnittelussa kohdataan, jotta ei voida suunnitella rakennushankkeen kanssa tahtituotannossa?*
2. *Miten hyvin nykyiset suunnitteluprosessit ja työkalut tukevat tahtituotantoa?*
3. *Kuinka suunnitteluprosesseja ja työkaluja tulisi kehittää tai muuttaa, jotta taloteknisten järjestelmien suunnittelu saataisiin tukemaan rakennushankkeen tahtituotantoa?*

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä pyritään määrittämään haasteita, joita TATE-suunnitellussa on tahtituotannon näkökulmasta. Toinen kysymys selvittää kuinka meidän nykyiset prosessimme sekä erilaiset työkalut tukevat päämäärää. Lopuksi keskitytään kehittämiseen. Tutkimuskysymys tarkastelee minkälaisia asioita tulisi kehittää ja minkälaisia askeleita täytyy ottaa, jotta TATE-suunnittelu olisi optimoitua tahtituotannon näkökulmasta ja olisimme lähempänä tahdistettua suunnittelua.

1.3 Tutkimusaineiston keruu

Tutkimuksessa käytetty tutkimusaineisto on kerätty kvalitatiivisen eli laadullisen aineiston keruumenetelmällä, teemahaastattelulla. Teemahaastattelu on puolistruktuoirtu haastattelumenetelmä, joka mahdollistaa keskustelunomaisen haastattelutilanteen. Tutkimukseen valittiin teemahaastattelu, sillä tutkittavasta aiheesta on vain vähän tietoa saatavilla sekä teemahaastattelujen avulla voidaan ymmärtää tahtituotannon erilaisia keskinäisiä suhteita. Teemahaastattelu antaa tilaa haastateltavalle selittää sekä tarkentaa vastauksia, kommunikaatio on vuorovaikutteisempaa sekä keskustelu voi edetä seikkoihin, joita ei ole aiemmin ilmennyt, mutta osoittautuvat relevanteiksi ilmiön kannalta.

Teemahaastattelut on toteutettu vallitsevan pandemiatilanteen vuoksi etänä, teams-videokeskustelun välityksellä. Haastattelututkimuksen haastattelut toteutettiin helmi–huhtikuun 2022 aikana. Haastateltaviksi valikoitui Aalto-yliopiston kumppaniverkostojen jäseniä, TATE-alojen yritysten henkilöitä, joilla on aiempaa kokemusta tahtituotannosta sekä tutkijoita ja professoreja. Haastatteluita pidettiin yhteensä 16 kappaletta, joissa yhdessä haastattelussa

haastateltavia oli 2 henkilöä samaa aikaa. Haastateltavien tehtävät jakautuivat seuraavasti:

1. Rakennustekniikan professori, 2 hlö
2. Johtaja talotekniikan suunnittelutoimistossa, 3 hlö
3. Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen projektipäällikkö, 3 hlö
4. Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen kehitysjohtaja, 2 hlö
5. Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen kehitysinsinööri, 1 hlö
6. Rakennuttamisen ja projektinjohdon asiantuntija, 2 hlö
7. Rakennuttamis- ja projektinjohtoyrityksen toimitusjohtaja, 1 hlö
8. Rakennustekniikan tohtorikoulutettava, 1 hlö
9. Aikatauluekspertti, 1 hlö
10. Pääarkkitehti, 1 hlö

Haastatteluja päätettiin toteuttaa 15–20 kappaletta, jotta saavutetaan riittävän laaja-alainen vastausjoukko aiheen pariin. Haastateltavia pyrittiin valitsemaan erilaislta toimeenkuvilta, jotta saadaan aiheeseen erilaisia näkökulmia. Kuitenkin haastateltavilta vaadittiin riittävä kokemus sekä tieto tahtituoannon osalta. Tämä varmistettiin tutkimalla haastateltujen henkilöiden taustoja aiemmista hankkeista ja tutkimuksista, hyödyntäen menneitä tahtituotantohankkeita. Haastatteluja ei ollut järkevää pitää enempää kuin 16 kappaletta, sillä näiden haastattelujen aikana löytyi jo paljon toistuvuutta vastausten sisältöön riippumatta haastateltavan toimeenkuvasta.

Teemahaastattelujen lisäksi on kerätty erilaista tutkimusaineistoa, kuten erilaisten hankkeiden loppuraportteja, tutkimustöitä, tieteellisiä artikkeleita sekä erilaisia julkaisuja aiheesta. Tätä tutkimusaineistoa on hyödynnetty kirjallisuuskatsauksessa.

1.4 Työn rakenne

Seuraava luku sisältää kirjallisuuskatsauksen, joka käsittelee Lean- filosofiaa, tahtituotantoa sekä TATE- suunnittelua ja sen prosesseja. Seuraava luku tarkastelee myös TATE-suunnittelun nykytilannetta sekä sen jo tiedostettuja haasteita ja ongelmia. Kolmannessa luvussa keskitytään tutkimusaineiston keruuseen sekä sen jäsentelyyn ja litterointiin. Sen jälkeen päästään työn tuloksiin sekä päätelmiin, joita avataan luvussa neljä. Luku viisi on yhteenveto työn tuloksista.

2 Talotekninen suunnittelu

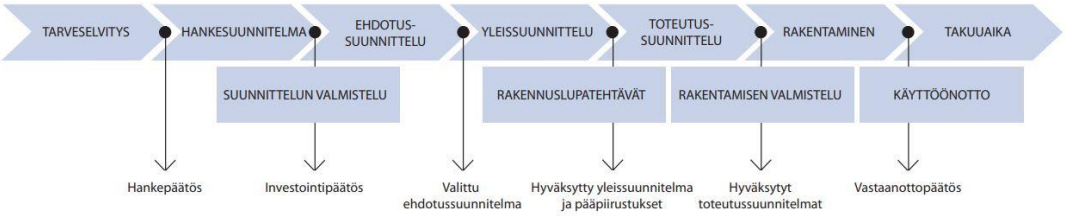
Diplomityön kirjallisuuskatsaus pyrkii taustoittamaan TATE-suunnittelun nykytilaa. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan TATE-suunnittelua suhteessa lean-filosofiaan sekä tahtituotantoon. Kirjallisuuskatsauksen aikana pyritään löytämään vastauksia ensimmäiseen sekä toiseen tutimuskysymykseen:

1. *Mitä haasteita taloteknisten järjestelmien suunnittelussa kohdataan, jotta ei voida suunnitella rakennushankkeen kanssa tahtituotannossa?*
2. *Miten hyvin nykyiset suunnitteluprosessit ja työkalut tukevat tahtituotantoa?*

Taloteknisen suunnittelun näkökulmasta tarkastellaan suunnitteluprosessien vaiheistamisen menetelmiä sekä menetelmiä leanista, tahtituotannosta ja jatkuvasta parantamisesta.

2.1 Rakennushankkeen kulku

Rakennushanke koostuu useista erilaisista vaiheista sekä päätöksistä. Hankkeiden eri vaiheet voivat olla peräkkäin yhtenäisenä janana, jolloin seuraava vaihe aloitetaan vasta kun edellinen on päättynyt. Vaihtoehtoisesti erilaiset vaiheet voivat olla myös toisiinsa limittyviä. Rakennusvaiheen vaiheet on kuvattu alla olevassa kuvassa 1.



Kuva 2 Rakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224)

Hanke lähtee liikkeelle tarveselvityksestä, jolla pyritään selvittämään tilanhankinnan tarpeellisuus. Vaiheessa pyritään kartoittamaan edellytykset, joilla hankkeen investointiprosessin kustannusten hallinta voidaan aloittaa ja systemaattisesti saattaa onnistuneesti läpi. Tarveselvityksen lopputuloksena on hyväksytty tarveselvitys sekä hankepäätös. Hankepäätöksessä hanke päätetään toteuttaa.

Tarveselvityksen jälkeen siirrytään hankesuunnitteluun. Hankesuunnitelmassa asetetaan rakennushankkeelle erilaisia tavoitteita. Näitä tavoitteita voi olla esimerkiksi laatua, kustannuksia, ajoitusta sekä rakennuksen toimivuutta koskevia seikkoja. Hankesuunnittelun aikana toteutetaan myös tarvittavat selvitykset ja päätetään toteutuksen alustava muoto. Hankeselvityksien lähtötietoina toimii käyttäjien ja omistajien omat tavoitteet, joita kuvataan esimerkiksi tarveselvityksessä tai erillisissä päätöksissä. Hankeselvitys jakautuu kahteen osaan. Toista käytetään hankeohjelman pohjana, johon kerätään tietoja ja suunnittelutavoitteita. Toisessa selvitetään rakennuspaikan rakennuskelpoisuutta.

Hankesuunnitteluvaiheessa ei välttämättä ole vielä mukana TATE- suunnittelijoita, koska suunnittelun kilpailutukset tulevat vasta hankesuunnittelun jälkeen. Jos kuitenkin on, heidän tehtävänsä ovat tyypiltään avustavia. TATE-suunnittelija voi hankesuunnitteluvaiheessa selvittää kohteen energiankulutusta, ympäristökuormaa sekä olosuhteiden tavoitearvoja. Myös taloteknisen kustannusarvion laadinta tai rakentamisaikataulun kannanotto voi tulla tässä vaiheessa. Rakennustietokortissa (RT 10-11290/ST 41.10) kuitenkin sanotaan:

> *”Koska talotekniikan osuus hankkeen investointi- ja erityisesti ylläpitokustannuksista on huomattava, olosuhde-, toiminnallisuus- ja turvallisuusvaatimusten ottaminen huomioon jo hankesuunnitteluvaiheessa tarkentaa hankkeen kustannustavoitteita ja vähentää mahdollisia yllätyksiä jatkosuunnittelun yhteydessä.”*

Tästä huolimatta hankesuunnitteluvaiheessa on todellisuudessa harvemmin mukana talotekniikan suunnittelijoita. Hankesuunnittelun lopputuloksena on hyväksytty hankintasuunnitelma sekä investointipäätös, jonka seurauksena voidaan siirtyä suunnittelun valmisteluun.

2.1.1 Suunnittelun vaiheet

Rakennushankkeen suunnitteluprosessi voidaan karkeasti neljään osaan: hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Kuten aiemmin mainittu, TATE-suunnittelijoiden osallisuus hankesuunnitteluun vaihtelee hankekohtaisesti ja TATE-suunnittelijat eivät välttämättä ole automaattisesti mukana hankesuunnittelussa. Tämä on kuitenkin kustannusten ja hankkeen toteutumisen osalta hyödyllistä.

Riippumatta siitä, onko hankesuunnitteluvaiheessa ollut mukana TATE-suunnittelijoita, hankesuunnittelun jälkeen siirrytään suunnittelun valmisteluun, jossa organisoidaan suunnittelu. Organisointi pitää sisällään mahdolliset suunnittelukilpailut, suunnittelijoiden valinnat, tarvittavat neuvottelut sekä suunnittelusopimukset. Suunnittelun tarjoukseen on suunnittelijoiden selvitettävä muun muassa lähtötiedot, tehtävän laajuus ja vaativuus sekä osallistutaan neuvotteluprosesseihin. Tässä vaiheessa myös tarkistetaan hankesuunnitteluvaiheessa laaditut suunnittelutavoitteet talotekniselle suunnittelulle. Jos hankesuunnitteluvaiheessa ei ole määritelty suunnittelutavoitteita, niiden määrittely tehdään tässä vaiheessa. Taloteknisistä tavoitteista on määriteltävä vähintään seuraavat:

- valaistus
- sisäolosuhteet
- energiankulutus
- investointikustannukset
- teknisten järjestelmien käyttöikä
- varustelutaso
- varaukset, muunneltavuus, laajennettavuus, joustavuus ja täydennettävyys
- turvallisuus, paloturvallisuus, henkilöiden ja omaisuuden suojaus, toimintavarmuus
- ympäristövaikutukset
- kiinteistön raportoivuus
- huollettavuus
- rakennuksen tiedonhallinta

Näiden lisäksi määritellään kiinteät perusjärjestelmät, kuten

- sähkössä pääjakelu-, tele- ja turvajärjestelmien keskuslaitteille, sähköenergian kulutukselle jne.
- LVI:n ja PALO:n osalta tavoitteet keskuslaitteille, jakelujärjestelmille, päätelaitteille, energiankulutukselle jne.
- RAU:n osalta valvomon keskuslaitteille.

Valmisteluvaiheen jälkeen on syntynyt suunnittelupäätös, jolloin suunnittelu voidaan käynnistää.

Ehdotussuunnitteluvaiheessa laaditaan asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut. Tässä vaiheessa selvitetään yhdessä koko suunnitteluryhmän kesken ne tekniset ratkaisut, joiden avulla edellä määritetyt suunnittelutavoitteet voidaan toteuttaa. Kyseisten ratkaisujen on sovelluttava ja tuettava arkkitehdin määrittelemiä tilaratkaisuvaihtoehtoja. Tarkoitus on selvittää ja vertailla erilaisia ratkaisuja, parhaan

mahdollisen ratkaisun löytämiseksi. Ehdotussuunnitteluvaiheen lopputuloksena syntyy ehdotussuunnitelma, joka on valittu.

Ehdotussuunnittelun jälkeen valittu ehdotussuunnitelma kehitettään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi. Siirrytään siis yleissuunnitteluvaiheeseen. Yleissuunnittelun aikana toteutetaan yleissuunnitelma paketti, joka sisältää seuraavat ratkaisut.

Sähkö:

- tila- ja suojausluokitukset tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- valaistusratkaisut tyyppitiloille tai niiden vaihtelumahdollisuudet

- ryhmitys- ja mittausalueet tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelyt
- jakelujärjestelmät tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- varmennetut ja keskeytymättömät jakelut tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- ohjaustarpeet ja ratkaisut tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- tele- ja turvajärjestelmien järjestelmäkaaviot

LVI:

- tilajärjestelmät ja niiden vaihtelumahdollisuudet
- pääjakelujärjestelmät ja niiden mitoitusperiaatteet
- keskuslaitteiden palvelualueet
- suoritetaan tarvittavat mitoituslaskelmat (painehäviö, tilavuusvirta, äänitekniikka yms.) niiltä osin kuin suunnittelutiedot sen mahdollistavat

Palotekniset järjestelmät:

- tilajärjestelmät ja niiden luokitukset ja vaihtelumahdollisuudet
- pääjakelujärjestelmät ja niiden mitoitusperiaatteet
- keskuslaitteiden mitoitukset ja palvelualueet
- suoritetaan tarvittavat mitoituslaskelmat niiltä osin kuin suunnittelutiedot sen mahdollistavat

RAU:

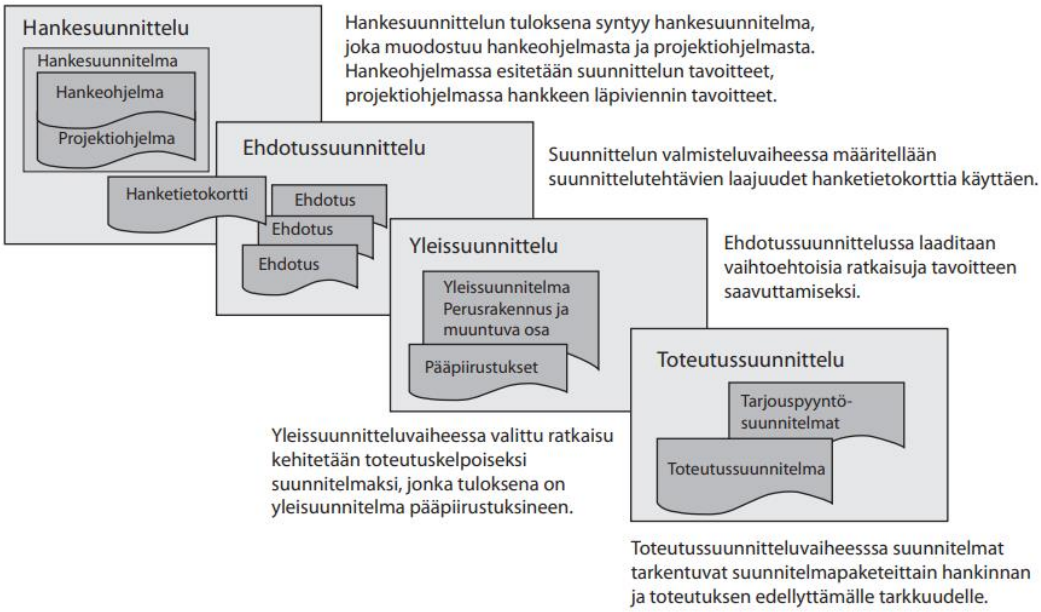
- rakennusautomaatiojärjestelmän järjestelmäkaaviot
- rakennusautomaatiojärjestelmän huonekohtaisten säätöjärjestelmien periaatekaaviot

Yleissuunnittelun aikana esitetään erilaiset liittymät sekä tekniset laskelmat rakennuksen ulkopuolisiin verkostoihin. Yleissuunnitteluvaiheessa TATE-suunnittelijat suorittavat taloteknisen yhteensovituksen, joka kattaa pääreittien yhteensovituksen. Myös seuraavat dokumentit laaditaan riippuen tarpeesta:

- järjestelmäkuvaukset ja -kaaviot toimintaperiaatteineen
- asemapiirustus
- tasopiirustukset pääjakelureitein
- järjestelmäkaaviot
- tarvittavat leikkaukset
- palvelualuekaaviot
- alustavat laiteluettelot
- alustavat pääreikätiedot
- huonekohtaisten säätöjärjestelmien kaaviot toimintaperiaatteineen

Yleissuunnitelmien laadinnan jälkeen siirrytään toteutussuunnitteluvaiheeseen. Toteutussuunnittelussa aiemmassa vaiheessa tehdyt suunnitelmat kehitetään rakentamista ja hankintaa edellyttämiksi suunnitelmiksi. Tässä vaiheessa mukaan tulee tuote- ja järjestelmäosasuunnittelu. Tässä vaiheessa tehdään myös esimerkiksi kaikki TATE-reititystarpeet. Toteutussuunnittelu jaetaan vielä kahteen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa tehdään hankintoja palvelevat suunnitelmat ja toisessa toteutusta palvelevat suunnitelmat. Hankintoja palvelevat suunnitelmat palvelevat nimensä mukaisesti hankintoja. Nämä suunnitelmat tehdään siinä laajuudella ja tarkkuudella, että kohde voidaan määrittää toteutuskustannuksen edellyttämällä tarkkuudella. Vaiheen lopputulemana on hyväksytyt toteutussuunnitelmat rakentamista varten. Toteutusta palvelevat suunnitelmat palvelevat itse rakentamista ja asennustyötä ja niissä esitetään näitä palvelevia asioita, kuten esimerkiksi tarkempia tuotetietoja. Jos käytössä on perinteinen kokonaisurakkamalli, tämän vaiheen voi toteuttaa joko suunnittelijan tai urakoitsijan toimesta.

Alla olevassa kuvassa on RT-kortissa 10–11105 esitetty malli suunnittelun vaiheiden etenemisestä.



Kuva 3 Suunnittelun eri vaiheet (RT 10-11105)

On hyvä tiedostaa, että suunnittelun eri vaiheet voivat elää ja muuttuu riippuen hankkeesta, sen muodosta ja laajuudesta. Jokaiseen hankkeeseen on sovellettava kyseiseen hankkeeseen sopivaa mallia.

2.1.2 Rakentamisen vaiheet

Rakennusvaiheessa varmistetaan aiemmin tehdyn sopimuksen mukainen toteutus, suunnitelmien pohjalta. Rakennusvaiheessa TATE-suunnittelijoilla voi olla erilaisia rakennusaikaisia suunnittelutehtäviä, jotka ovat suunnittelua täydentäviä tehtäviä. Näitä voi olla esimerkiksi erilaiset valvontakierrokset, työmaakokoukset sekä laitevalintojen kommentointia tai hyväksyntää. Lopputuloksena syntyy vastaanottopäätös ja urakka otetaan vastaan. Myös erilaiset huoltokirjamateriaalien laadinnat, luovutusdokumentit sekä takuu- sekä ylläpitoaikana tulevat suunnittelutehtävät voivat kuulua TATE-suunnittelijoille rakennusvaiheen lopussa ja sen loputtua.

Rakennusvaiheen jälkeen tulee käyttöönotto, jossa suunnittelijan roolina on varmistaa sopimuksenmukainen toteutus. Itse käyttöönoton suorittaa usein sähkö-, LVI- ja RAU-valvoja, kuitenkin jos kohteessa ei ole erillistä valvojaa, voidaan käyttöönotto teetättää myös suunnittelijalla. Lopputuloksena rakennus otetaan käyttöön.

2.1.3 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelu on osa taloteknisten järjestelmien suunnittelua. Sähkösuunnittelu pitää sisällään erilaisten sähköteknisten järjestelmien suunnittelua sekä mitoitusta. Taulukossa 1 on esitelty erilaisia sähköteknisiä järjestelmiä, joiden suunnittelu kuuluu sähkösuunnittelijan toimenkuvaan.

Sähköteknisiä järjestelmiä
Sähköpisteet
Varavoimajärjestelmä
Valaistusjärjestelmät ja niiden ohjaukset
Poistumistie- ja turvavalaistusjärjestelmä
Yleiskaapelointijärjestelmä
Paloilmoitinjärjestelmä
Kulunvalvontajärjestelmä
Murtohälytinjärjestelmä
Rikosilmoitinjärjestelmä
Hätäkuulutusjärjestelmä
Savunpoistojärjestelmä
LVI laitteiden sähköistys
Lämmitysjärjestelmät
Ovipuhelinjärjestelmä
Viranomaisverkot
AV-järjestelmät

Taulukko 1 Sähköteknisiä järjestelmiä

Sähköteknisten järjestelmien suunnittelun lisäksi sähkön jakelun suunnittelu sekä sähkökeskusten sekä niiden piirikaavioiden suunnittelu kuuluu sähkösuunnittelijan työhön. Sähkösuunnittelijalla on myös paljon erilaista selvitystyötä, kuten esimerkiksi ATEX-selvitykset sekä sähköliittymiin liittyvät selvitykset. ATEX (Appareils destinés à être utilisés en ATmosphères EXplosibles) -direktiivi säätelee räjähdysvaarallisia tiloja, niissä työskentelyä ja tiloissa käytettäviä laitteita (Euroopan yhteisön direktiiveistä 94/9/EY (laitedirektiivi) & 1999/92/EY (työolosuhdedirektiivi)).

Hankesuunnittelu

Kuten todettu aiemmin, hankesuunnitteluvaiheessa ei välttämättä ole vielä mukana TATE- suunnittelijoita, koska suunnittelun kilpailutukset tulevat vasta hankesuunnittelun jälkeen. Jos kuitenkin todetaan tarpeellisena esimerkiksi saneerauskohteissa tehdä erinäisiä selvityksiä sähköjärjestelmien nykytilasta, voi sähkösuunnittelijan rooli alkaa jo hankesuunnitteluvaiheessa.

Ehdotussuunnittelu

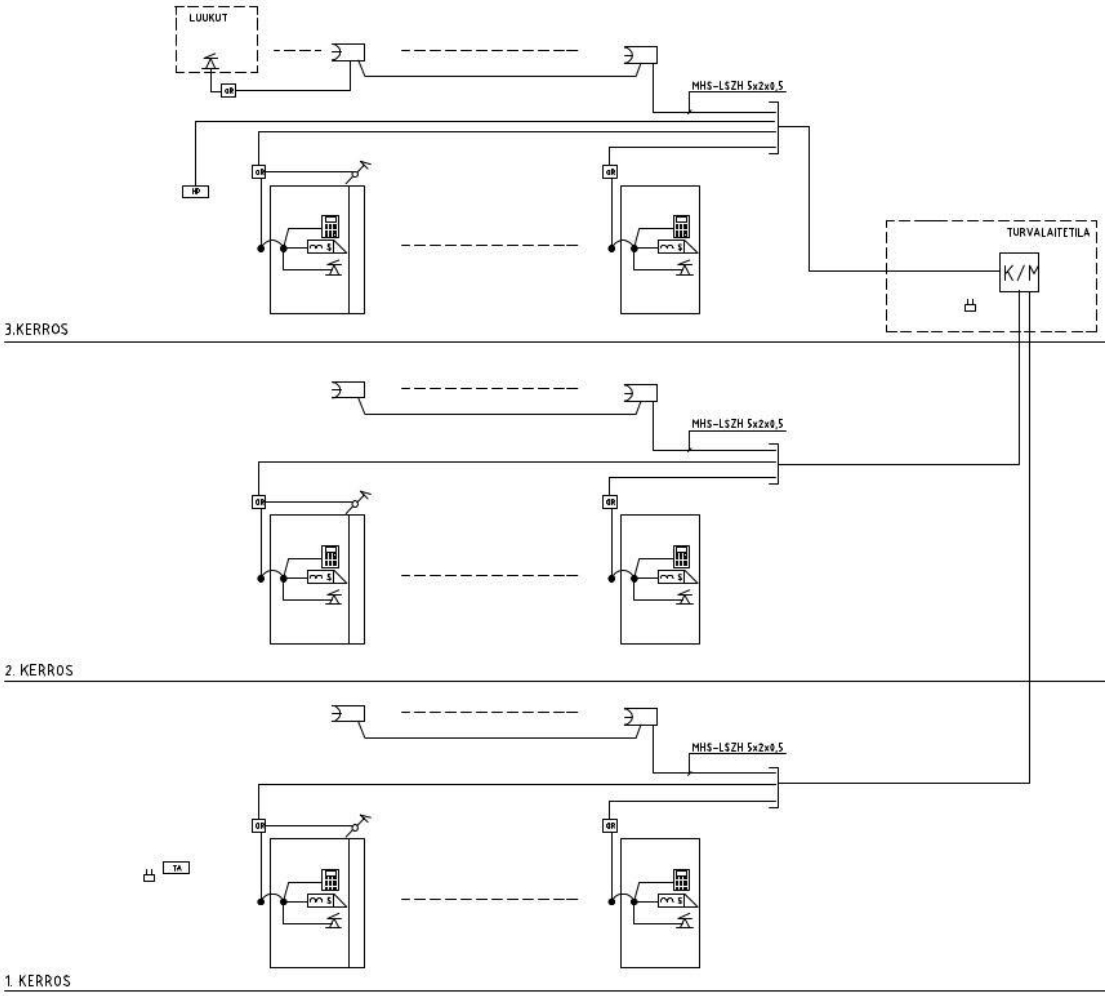
Ehdotussuunnitteluavaiheessa sähkösuunnittelijan rooli voimistuu. Ehdotussuunnitteluvaiheessa viimeistään määritetään rakennukselle talotekniset suunnittelutavoitteet, jotka ovat listattuna yllä kohdassa 2.1.1. Taloteknisten suunnittelutavoitteiden määrittämisen aikana sähkösuunnittelijan tehtäviin voi kuulua erinäiset liittymien selvitykset, valaistusenergian E-luvun laskemista rakennuslupaa varten, rakennuksen sähköjärjestelmien kokonaiskuvan hahmottaminen.Ehdotussuunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija tekee tiivistä yhteistyötä muiden suunnittelijoiden kanssa. Myös muiden suunnittelijoiden kanssa suunnitelmaratkaisujen yhteensovittaminen aloitetaan jo osittain tässä vaiheessa.

Taloteknisten suunnittelutavoitteiden määrittämisen jälkeen siirrytään laatimaan vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja määrittelyjen pohjalta. Sähkösuunnittelijan tehtävä on etsiä erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja tilaajalle ja vertaille erilaisten ratkaisuiden ominaisuuksia, esimerkiksi valaistuksen ohjausmenetelmiä tai sähkön jakelumenetelmiä.

Yleissuunnittelu

Valittu ehdotussuunnitelma jalostetaan tämän jälkeen toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi, joka pitää sisällään kohdassa 2.1.1 esitellyt ratkaisut. Sähkösuunnittelija tekee tässä vaiheessa valituille tyyppitiloille valaistuslaskelmat hyödyntäen valaistuksenlaskentaohjelmaa, kuten esimerkiksi DIALux: a. DIALux on kokonaisvaltainen valaistuksensuunnitteluohjelma, jonka avulla sähkösuunnittelija voi suunnitella valaistuksen. Ohjelma mahdollistaa valaistuksen teknisen laskelman, joka pitää sisällään esimerkiksi valaistusvoimakkuuden (lx)-määrän, valonjakokäyrät sekä heijastuskertoimet. DIALux: n avulla voidaan myäs tehdä erilaisia simulaatioita erilaisista valaistustilanteista. (DIAL BmbH, 2022)

Yleissuunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija on velvollinen suunnittelemaan kohteen jakelujärjestelmät ja ottamaan huomioon mahdollinen varavoimajakelu, ryhmitys- sekä mittausalueet, tila ja suojausluokitukset sekä kohteen maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelyt. Yleissuunnittelun jälkeen pitäisi olla suunniteltuna kaikki kohteen pääpiirustukset. Tässä vaiheessa sähkösuunnittelija toteuttaa myös suunnittelun paloteknisen järjestelmän osalta muun muassa keskuslaitteiden mitoitukset, pääjakelujärjestelmät sekä tilajärjestelmät. Myös kohteen tele- sekä turvajärjestelmien järjestelmäkaaviot toteutetaan tässä vaiheessa. Kuvassa 4 esitetystä yleissuunnitteluvaiheessa toteutetusta kulunvalvonta- ja murtoilmaisu- järjestelmän kaaviosta nähdään, että järjestelmä on suunniteltu hyvin karkealla tasolla, jotta saadaan yleiskuva tulevasta järjestelmästä ja sen laajuudesta. Toteutussuunnitteluvaiheessa kuvaa täydennetään asennuskelpoiseksi.



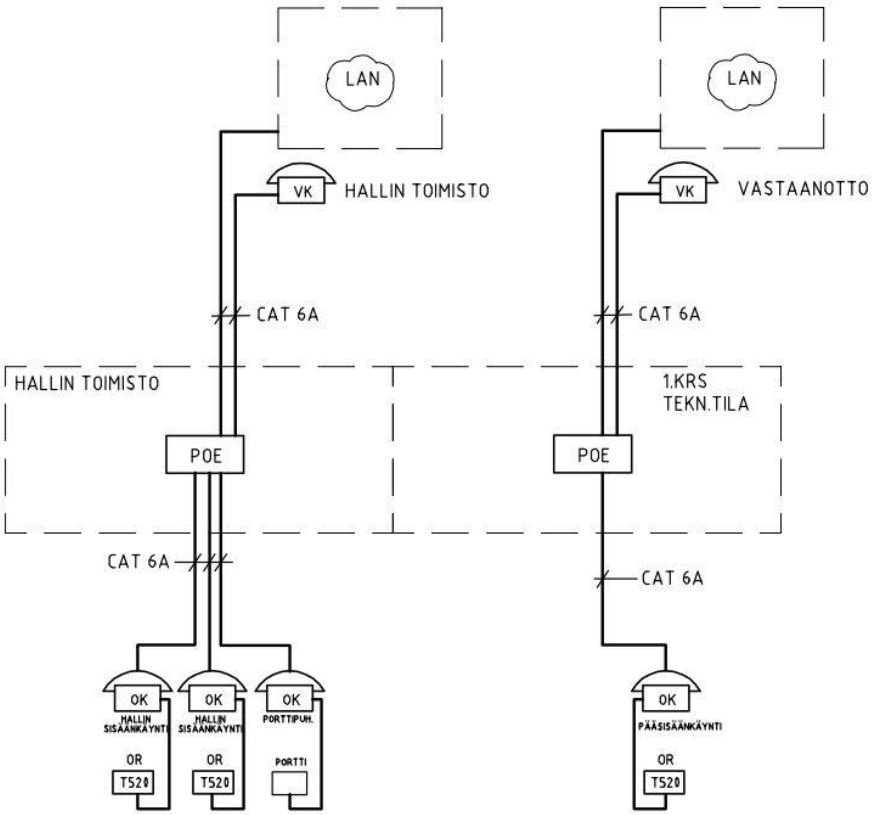
Kuva 4 Kulunvalvonta- ja murtoilmaisujärjestelmän kaavio yleissuunnittelu vaiheessa (Granlund 2021)

Yleissuunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija esittää rakennukseen tulevan tai tulevat sähkö- ja teleliittymät ja tekniset laskelmat rakennuksesta lähteviin ulkopuolisiin verkostoihin. Rakennukseen tulevat liittymät esitetään arkkitehdin laatimaan asemapiirustukseen, josta selviää rakennukseen tulevan liittymään suunta sekä maaputkitusten koot. Edellä mainittujen lisäksi yleissuunnittelun aikana laaditaan kohdassa 2.1.1 esitetyt dokumentit.

Yleissuunnitteluvaiheeseen kuuluu olennaisesti myös erilaisten leikkauspiirustusten teko, joidenka tarkoitus on varmistaa talotekniikan tilavarausten riittävyys, esimerkiksi alakaton yläpuolella. Leikkauspiirustusten tekoon osallistuu TATE- suunnittelijoita, kuten LVI-, sprinkleri- sekä sähkösuunnittelijat. Leikkauspiirustukset voidaan toteuttaa myös tietomallipohjaisesti käyttäen tietomalliohjelmistoa, kuten esim. Revit-ohjelmaa, joka on BIM-ohjelmisto suunnittelijoille, rakentajille sekä tekijöille. Revit-ohjelmalla suunnitellaan 3D-maailmassa, joka havainnoi todellista virtuaalista mallia rakennettavasta kohteesta. Näin saadaan helposti nähtyä objektien todelliset koot ja erilaisten järjestelmien, kuten esimerkiksi ilmanvaihdon ja sähkönjakelun yhteensovitus on aiempaa helpompaa.

Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelussa sähkösuunnittelija tekee aiemaa detaljitasoisempaa suunnittelua. Tässä vaiheessa suunnitellaan esimerkiksi tietyt järjestelmätoimittajat sekä tuotteet. Urakoitsijoille tehdään hankintoja varten erillisiä tuotelistauksia, riippuen siitä mitä on sisällytetty suunnitteluun. Yleisin urakoitsijaa palveleva tuotelistaus on valaisinluettelo. Valaisinluettelossa on esitetty kaikki rakennukseen tulevat valaisimet teknisineen tietoineen. Luettelossa ilmoitetaan myös rakennukseen tulevien valaisimien määrät positiokohtaisesti. Valaisinluetteloa ennen on siis tehtävä koko rakennukseen valaisinpisteiden sijoittelut, jotta saadaan tarkat määrät laskettua.



Kuva 5 Ovipuhelimen periaatekaavio (Granlund 2021)

Yllä mainitun lisäksi tehdään myös urakoitsijoita palvelevia toteutuskuvia, jos eroaa hankintasuunnitelmista asennusdetaljien osalta. Toteutusta varten urakoitsijalla on oltava tiedossa esimerkiksi sähköpisteiden ja kaapelihyllyjen tarkat asennuskorot, jotta suunnittelijan suunnittelemat tuotteet asennetaan niille suunniteluille paikoille, eikä näitä tarvitse selvittää rakennusaikana. Tasokuvien lisäksi tässä vaiheessa on mahdollista tehdä myös erilaisia asennusdetalji-kuvia tai periaatepiirustuksia, jotka palvelevat toteutusta työmaalla. Esimerkkinä kuvan 5 ovipuhelinkaavio, joka on luotu palvelemaan urakoitsijoita työmaalla.

2.2 Lean-ajattelu ja Tahtituotanto

Lean-ajattelu (engl. Lean Thinking) on muodostunut alun perin tuotantoinsinöörin Taiichi Ohno kehittämästä Toyota Production System:stä (TPS),

jonka hän loi Toyota Motor Corporation:lle 1950 ja 1960 luvun aikana. Varsinainen läpilyönti tapahtui kuitenkin vasta 1990-luvulla, kun kansainvälisen moottoriajoneuvo-ohjelman tutkimusjohtaja ja perustaja James P. Womack havaitsi TPS.n olevan huomattavasti tehokkaampi kuin perinteinen massatuotanto. Womack loi tällöin tutkimuksensa pohjalta termin lean, kuvastamaan tätä radikaalia lähestymistapaa tuotantoon. Womack kirjoitti myös löydöstensä pohjalta menestys kirjan ”The Machine That Changed the World”, jonka jälkeen lean on pompannut maailmantietoisuuteen.

James P. Womack.n sekä Daniel T. Jones.n mukaan lean-ajattelu perustuu viiteen perusperiaatteeseen, jotka ovat:

1. Identifioi arvo

Kohdassa 1 keskitytään arvon luontiin **asiakkaan** näkökulmasta. Pyritään löytämään asiakkaalle ne arvoa luovat asiat, kuten esimerkiksi TATE-suunnittelutyössä suunnitelmien valmistuminen asiakkaalle käyttöön. Kärjistettynä, kaikki sitä ennen tehtävät asiat eivät tuota asiakkaalle arvoa. Kun arvo on onnistuttu identifioimaan, voidaan keskittyä mudaan, joka tarkoittaa hukkaa. Hukka on työtä, joka ei lisää asiakkaan näkökulmasta arvoa tuotteeseen tai palveluun. Muda nähdään vain kustannuksen lisääjänä.

2. Arvovirtakuvauksen luonti

Toisessa kohdassa pyritään luomaan arvovirtakuvaus (value stream mapping=VSM). Arvovirtakuvaus esittää visuaalisesti materiaalin ja tiedon kulun siitä hetkestä, kun asiakas tekee tilauksen, siihen hetkeen, kun tuote on asiakkaalla. Arvovirtakuvausta käytetään identifioimaan virtauksen esteitä ja priorisoimaan arvoa tuottavia asioita. Arvovirtakuvauksesta nousee esille usein myös prosessin hukkaa, eli mudaa, jota pyritään eliminoimaan.

3. Luo virtaus

Kolmannessa kohdassa tahtotila on luoda virtaus. Toisin sanoen pyritään saamaan prosessit virtaamaan mahdollisimman hyvällä virtaustehokkuudella. Virtaustehokkuus mittaa kyseisen prosessin toimintaa asiakkaan näkökulmasta ja sitä mitataan kyseisen toiminnan läpimenoajalla.

4. Mahdollista tarveimu

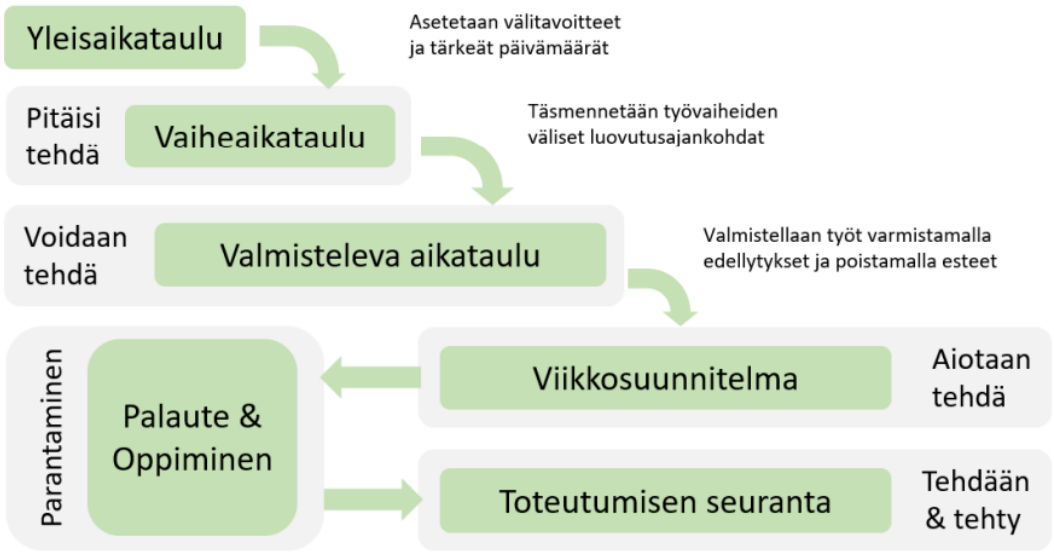
Neljäs kohta keskittyy tarveimuun ja nimenomaan sen luontiin ja hallintaan. Tarveimussa pyritään toimimaan asiakastarpeeseen perustuen, eli asiakkaalta tulee niin sanottu imuohjaus, joka toimii tuotannon käynnistäjänä. Mitään ei tehdä varastoon turhaan.

5. Täydellisyyden tavoittelu

Viidennessä kohdassa tavoitellaan täydellisyyttä. Sitä ei tietenkään saavuteta, mutta sitä tavoitellaan. Kohta viisi kuvastaa myös leanin periaatetta kaizen, joka tarkoittaa jatkuvaa parantamista. Jatkuvalla parantamisella yritetään eliminoida hukkaa mahdollisimman pienillä kustannusvaikutuksilla. (Womack & Jones 1996)

Leanin perusajatukseen, poistaa ei-arvoa tuottavaa tekemistä arvoa tuottavista prosesseista, hyödyntämällä jatkuvaa virtausta sekä imuohjausta, jotta saadaan oikeat asiat tehtyä oikeaan aikaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti, on olemassa useita menetelmiä sekä työkaluja. Näistä muutamia esimerkkejä ovat: JIT (Just In Time, juuri oikeaan aikaan), Kaizen (jatkuva parantaminen), Kanban (vain tarvittavien materiaalien saaminen), 5S (siisti ja järjestelmällinen työympäristö) PDCA (Plan–do–check–act, Suunnittele-Toteuta-Seuraa-Toimi) ja arvovirtakuvaus (Value Stream Mapping, VSM).

Lean-suunnitteluun on olemassa myös lukuisia menetelmiä, kuten LPS-menetelmä (Last planner system), jossa hankekohtaiset rajoitteet sekä tavoitteet ohjaavat tarkempaa tuotannonsuunnittelua. LPS.ssä keskityään yhteiseen tekemiseen, osapuolten sitouttamiseen sekä halutaan luoda luotettava työn virtaus (Seppänen ym. 2010). LPS.ssä tuotantosuunnittelussa tehtävät jaetaan kolmeen eri tasoon: Should (Pitäisi tehdä), Can (Voidaan tehdä) sekä Will (Aiotaan tehdä). LPS.ssä ne tehtävät, joiden aloitukseen vadittavat edellytykset on varmistettu ja tehtävät jotka aiotaan suorittaa siiryvät viikkosuunnitelmaan. (Koskela & Howell 2002)



Kuva 8. Last Planner –prosessi (mukailtu Ennova 2011)

Kuva 6 LPS- prosessi (mukailtu Ennova 2011)

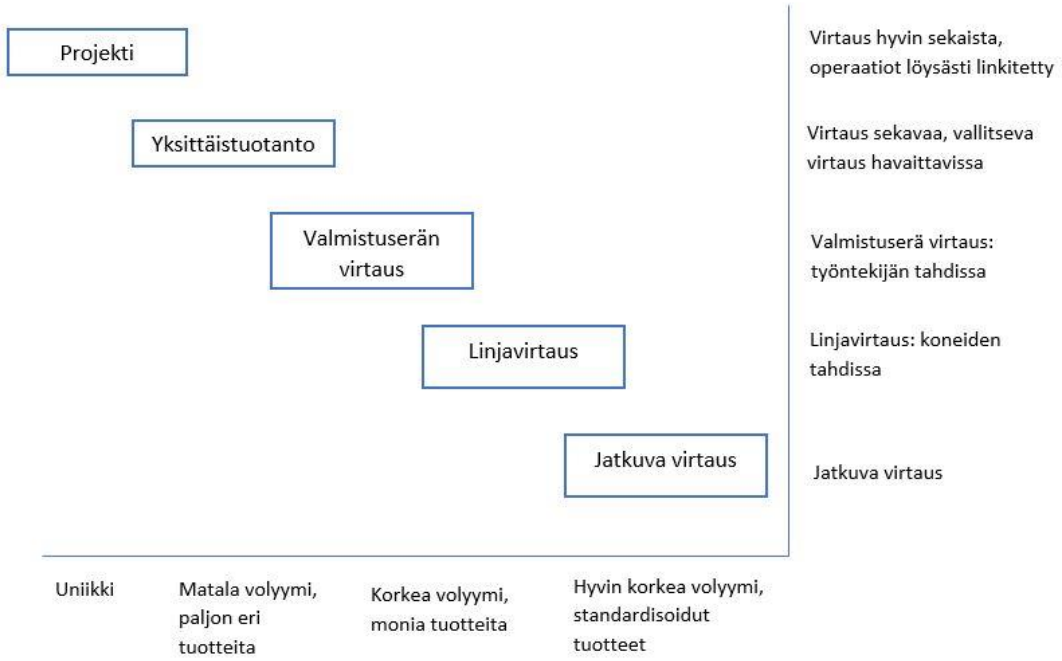
Toinen suosittu menetelmä on TVD (Target value design), jossa suunnitteluprosessissa ovat mukana tilaajat ja käyttäjät, suunnittelijat, rakentajat sekä alihankkijat. TVD.ssä työympäristönä toimii Big Room- ympäristö jossa tilaajan, suunnittelijoiden ja rakentajien asiantuntijat luovat työpajamenetelmin sekä laajemmalla, vapaammalla vuorovaikkuttamisella enemmän ideoita ja innovaatioita. Nämä innovaatiot varmistavat lopputuotteen laatutason ja näin ollen luovat arvoa asiakkaalle. TVD.n tavoitteena on lopputuote, joka palvelee paremmin käyttäjää, minimoi elinkaarikustannuksia sekä tuottaa paremman kannattavuuden tilojen omistajille. Tavoitteena on myös sujuvoittaa sekä tehostaa suunnittelu- ja rakentamisprosessia, näin ollen tuottaen lisäarvoa projektihenkilöille ja yrityksille. (Merikallio 2015) Muita menetelmiä ovat muun muassa: SBD (Joukkopohjainen suunnittelu), CBA (Choosing by advantages) sekä A3-raportit.

2.2.1 Lean menetelmät rakennusalalla

Lean ajattelu on rantautunut 1990-luvun puolivälistä myös rakentamiseen, jolloin International Group for lean construction- järjestö perustettiin vuonna 1993. Tämän jälkeen on puhuttu vahvasti lean-rakentamisesta (engl. Lean Construction). Kuitenkin alan muutosvastarinnan vuoksi implementointi rakennusalalle on ollut rajoittunutta mikä on hidastanut sen käyttönottoa (Soto, 2007). Lean-rakentamisessa hyödynnetään samoja periaatteita kuin lean-ajattelussa, joka pohjautuu tuotantoteollisuuteen. Rakennusalaa

ei voi kuitenkaan täysin rinnastaa tuotantoteollisuuteen, mihin Lean on alun perin kehitetty, sillä rakentamisen prosessi eroaa tuotantoprosessista merkittävästi. Rakennusteollisuus on lähtökohtaisesti uniikkeja projekteja, toisin kuin tuotantoteollisuus, jossa identtiset yksiköt virtaavat eteenpäin (Sacks, 2016).

Tuotantoteollisuudessa virtaus kuvaa tuotteen tai prosessin sujuvaa liikkumista, esimerkiksi työpisteiden välillä. Rakennusalalla kuitenkin tuote, eli rakennus ei virtaa itsessään. Rakennusteollisuudessa virtausta joudutaan käsittelemään eri tavoin. Sacksin (2016) tekemän tuoteprosessimatriisin mukaan, joka on esitetty kuvassa X rakennusteollisuuden virtausta voidaan kuvailla esimerkiksi valmisturerävirtauksena tai linjavirtauksena.



Kuva 7 Tuoteprosessimatriisi, mukaillen (Sacks, 2016)

Rakennusprojektin rakennusvaiheet sekä prosessit ovat luonteeltaan erilaisia. Rakenteelliset työt tulee hoitaa tietyssä järjestyksessä, mutta Sacksin (2016) mukaan talotekniikan tai sisätyövaiheen viimeistelyosuuksilla samalaisia teknisiä rajoituksia ei ole, jolloin eri työvaiheet voidaan jakaa prosessituotantomatriisissa eri kohtiin. Näin voidaan ottaa huomioon niiden erilaisten tuotantovirtaukset. (Sacks, 2016)

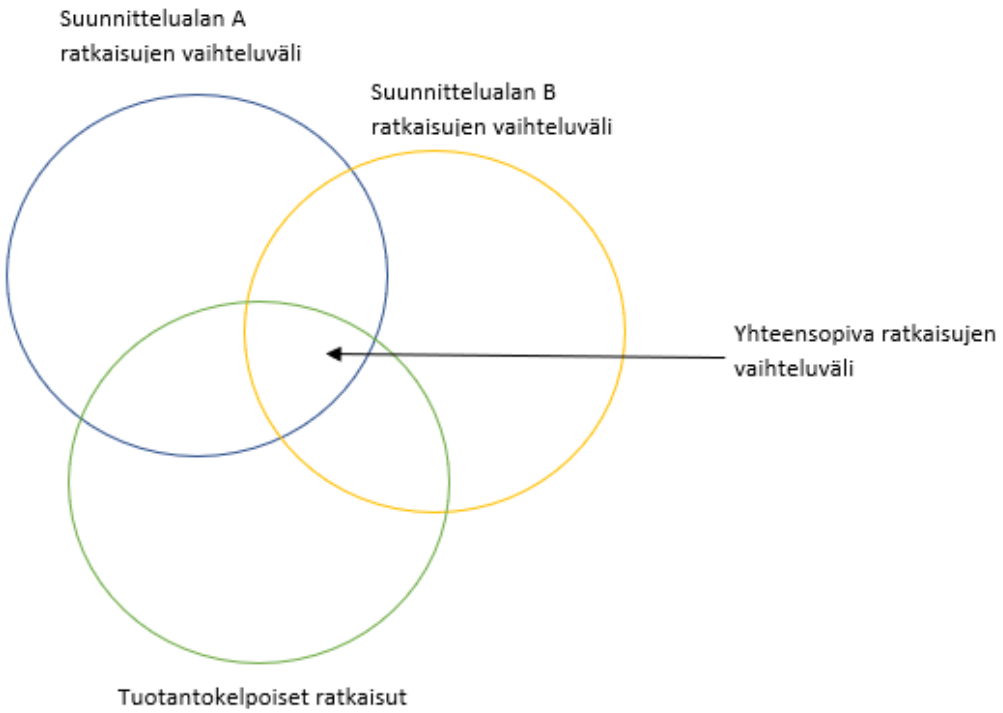
Lean-rakentamisessa keskitytään suorituskyvyn maksimointiin asiakkaalle, toimitusjärjestelmän tarkkoihin tavoitteisiin sekä kokonaisvaltaiseen projektinohjaukseen suunnittelusta aina rakentamiseen asti. Erilaisten lean-

työkalujen käyttöönotto on tehnyt rakennusprojekteista turvallisempia, tehokkaampia sekä nopeuttaneet projektien läpimenoaikoja paremmalla laadulla ja pienemmillä kustannuksilla. (Aziz & Hafez 2013) Koskelan (1992) mukaan tuotantoteollisuudesta tuotuja konsepteja kuten pohjapiirustuksien yksinkertaistaminen, eräkoon pienentäminen ja keskeneräisen tuotannon vähentäminen nähdään kuitenkin haastavana toteuttaa täysin erilaisessa ympäristössä, kuin mitä tehdas on. Tämä tuo haasteita leanin käyttöönottoon rakennusteollisuudessa.

2.2.2 Ongelmanratkaisu- ja päätöksentekomenetelmät suunnittelussa

Lean-suunnittelumenetelmät, joista osa on esitetty luvussa 2.2, pohjautuvat vahvasti ihmisten sosiaaliseen puoleen sekä heidän väliseensä vuorovaikutukseen. Näin ollen projektissa valliteva luottamus ihmisten välillä korostuu ja projektin tekijöiden välisen luottamuksen luominen voi olla tärkeä osa onnistunutta suunnittelunohjausta (Uusitalo et al. 2019b). Ballard et al. (2002) mukaan suunnittelussa käydään ennemmin hyvää keskustelua erilaisten kriteetien sekä vaihtoehtojen välillä, eivätkä liian rationaaliset ongelmanratkaisumallit sovellu suunnitteluprosesseihin.

Luvussa 2.2 mainittu joukkopohjainen suunnittelu (SBD) pohjautuu tiedon aikaiseen saantiin, jolloin heti alusta alkaen on tiedossa suunnittelua rajottavia kriteerejä. Kriteerien sisällä eri alojen suunnitteljiat kehittävät suunnitelmiaan. Kriteerit luovat vaihteluvälit, joiden sisällä suunnittelijoiden on syytä pysyä, samalla huomioiden suunnitelmien tuptantokelpoisuuden sekä suunnittelualojen väliset yhteiset vaihteluvälit. Tämä mahdollistaa toisistaan riippumattomien suunnittelijoiden työn jatkumon, jos eri ryhmän rajojen sisällä on jotain harkinnan alla. Tämä myös auttaa punnitsemaan eri suunnitteluratkaisuita, sen sijaan että ratkaisut lyötäisiin lukkoon mahdollisimman nopeasti (Koskela et al. 2002b). Tiedon kasvaessa saadaan vaihteluväliä kavennettua ja lopullinen ratkaisu saavutetaa. (Ballard, 2000)



Kuva 8 Joukkopohjaisen suunnittelun periaatekuva (Ballard, 2000, s.4)

Hyötyihin perustava valintamenettely, CBA-valintamenetelmä, edesauttaa myös SBD-menetelmän käyttöä (Parrish & Tommelein 2009). CBA-menetelmässä kaikkien suunnittelun päätösten tulee pohjautua hyötyjen tärkeyteen (Macomber et al. 2012). CBA-valintamenettelyn prosessi on seitsemän osainen: Tunnista vaihtoehdot, Määrittele tekijät, Määrittele tekijöille kriteerit, Kuvaile vaihtoehtojen ominaisuudet, Vaihtoehdon etujen päätös, Etujen tärkeyden päätös, Kustannustietojen arviointi (Arroyo et al. 2014).

A3-raportit ovat toyotalla kehitetty ongelmien tunnistamiseen ja ratkaisemiseen tarkoitettu prosessi. A3-raportti esittää visuaalisesti sekä tekstitse tarvitut tiedot ongelmasta. Raportissa keskitytään vain ongelmaan ja sen ratkaisemiseen. (Chakravorty 2009) Raportissa hyödynnetään tekniikkaa nimeltä 5 Whys, jossa kysytään viidesti miksi. Näiden viiden kysymyksen jälkeen pitäisi ongelman juurisyy olla selvillä. A3-raporttia voidaan kuitenkin hyödyntää suunnittelussa esimerkiksi tulevan implementoinnin sekä seurannan suunnittelun onnistumiseen, faktaperusteiseen suunnitteluun sekä suunnittelun dokumentointiin (Macomber et al. 2012).

2.2.3 Tahtituotanto

Tahtituotanto on teollisuuden tuotantoon syntynyt käsite, jonka avulla pyritään rytmittämään ja tehostamaan toimintaa. Tahdin on tarkoitus löytää tuotantoprosessin oikeanlainen virtaus, mikä vähentää prosessin aikahukkaa (Frandson et al. 2013). Tahtituotanto nojaa vahvasti tahtiaikaan (engl. takt time), joka on aika, jonka pitäisi kulua yhden komponentin tuottamiseen yhteen lopputulokseen. Tahtiajan voi matemaattisesti määrittää seuraavalla kaavalla (Haghsheno et al., 2016):

$$Tahtiaika = \frac{Tahtialue\ (m2) * Työmenekki\ (h/m2)}{Käytetty\ työvoima}$$

Tahtiaika kuvaa myös jonkun tietyn vaiheen kestoa, esimerkiksi lattioiden laatoitusta, jossa yhden laatan tahtiaika voi olla esimerkiksi 1 minuutti. Tämän minuutin aikana työvaihe on suoritettu alusta loppuun. Työn tahdittaminen luo aikaan tasaisen virtauksen ja mahdolliset poikkeamat havaitaan nopeasti, jos työ ei valmistu tavoiteltavassa ajassa. Tästä seuraa läpimenoajan lyhentyminen. (Lättilä 2017) Jotta tietty tahtiaika voidaan vakioida, täytyy työ olla standardisoitu. Tämä tahtiajan vakiointi ja tahtiaikojen oikea rytmittäminen ovat kriittisiä tahtituotannon onnistumiselle (Frandson et al. 2013).

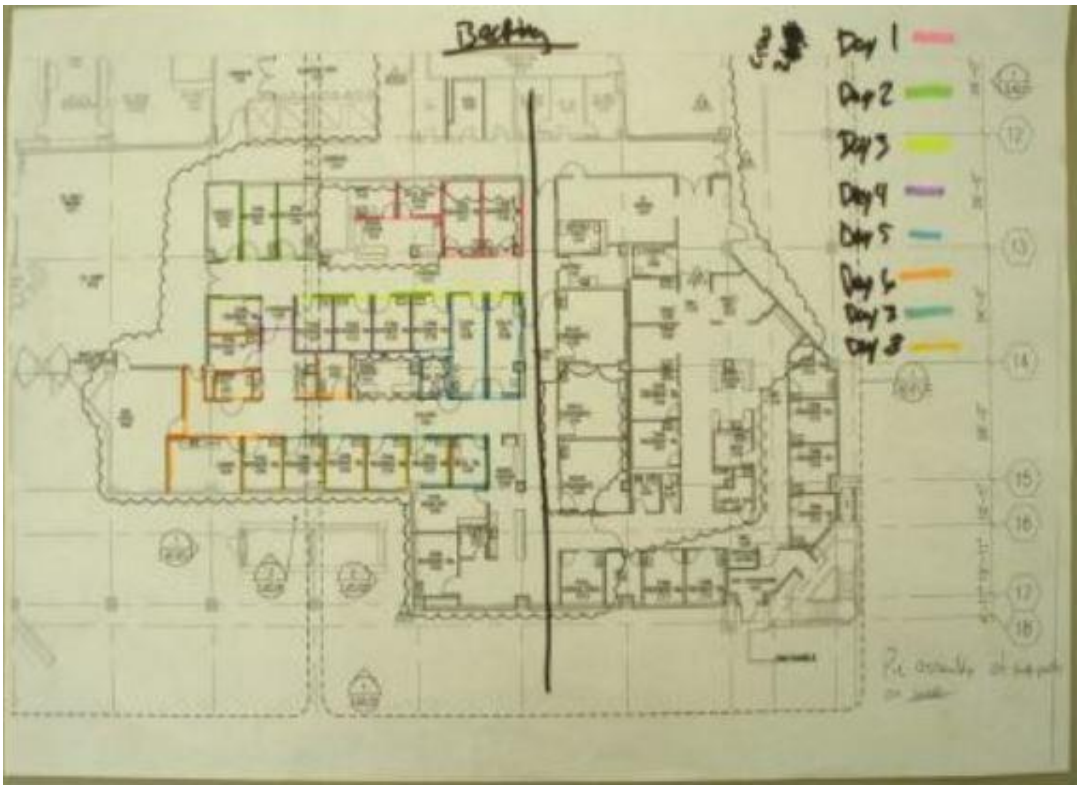
Kuuden vaiheen malli – ns Kalifornian malli

Kuuden vaiheen malli on Yassine et al. (2014), Linnik, Berghede & Ballard (2013) sekä Frandson et al. (2013) mukainen tahtisuunnitelma. Mallin ensimmäinen vaihe koostuu tiedon keruusta, toisessa määritetään tahtialue, kolmannessa vaiheessa luodaan ymmärrys työjärjestyksestä, neljäs vaihe keskittyy työn virtauksen tasapainotukseen, viidennessä vaiheessa määritetään työvaiheisiin kuluva aika ja kuudennessa vaiheessa luodaan varsinainen, lopullinen tuotantosuunnitelma. Kyseinen kuuden vaiheen malli on kehitetty toistuviin prosesseihin ja näin ollen soveltuvuus rakennusalalla on vähäistä. Rakennusalalla on paljon ei-toistuvia tiloja ja näitä on tutkinut Tommelein (2017) yhteistoiminnallisella tahtisuunnittelulla. Tarkoituksena on löytää toistuvuutta ei-toistuvissa töissä perustuen työn tiheyteen. Tässä yhteistoiminnallisessa tahtisuunnittelussa on mukana eri projektin osapuolet sekä siinä hyödynnetään urakoitsijoiden erikoisosaamista. Siinä pyritään yhdessä määrittämään erilaisten työnjaot osiin sekä työjärjestys. Yhteistoiminnallisessa tahtisuunnittelussa on vain viisi eri vaiheetta, mutta koska ne ovat

samanlaisia kuin edellä mainittu kuuden vaiheen prosessi ne esitetään yhdessä.

Vaihe 1 – Tiedonkeruu

Tiedonkeruu vaiheessa urakoitsijoiden on selvitettävä mitä työtä on tehtävä kussakin projektin vaiheessa ja nämä selvitetyt tiedot tulee toimittaa kunkin urakoitsijan toimesta erikseen eteenpäin tiedon kerääjälle. Yksi keino on, että jokaisen urakoitsijan ”nokkamies” merkitsee arkkitehtipohjaan omalla värillään ne työt, jotka he kykenevät tekemään, esimerkiksi päivän aikana.

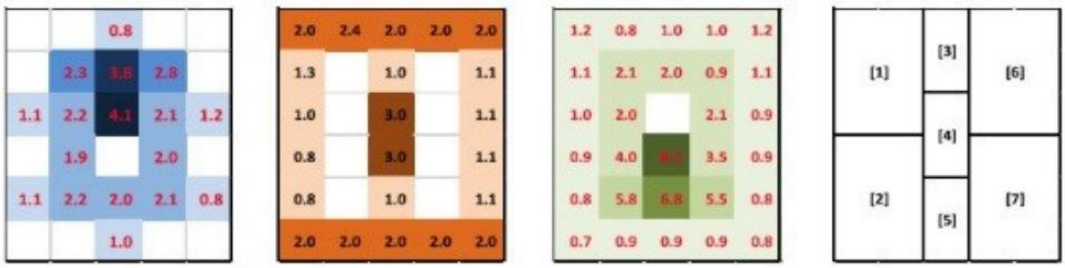


Kuva 9 Tiedonkeruu vaihe - Esimerkki (Frandson et al. 2013)

Jokaisen urakoitsijan väritettyä pohjakuva, saadaan color-up -malli, josta voidaan identifioida nopeasti kunkin urakoitsijan työt ja arvioida niiden aika. Näiden perusteella voidaan myös määritellä vaadittavat tauot työhön, esimerkiksi palo-osastoinneista johtuvat tauot sekä alueet, joihin sisältyy enemmän työtaukoja esimerkiksi saumojen vuoksi. (Frandson et al. 2013)

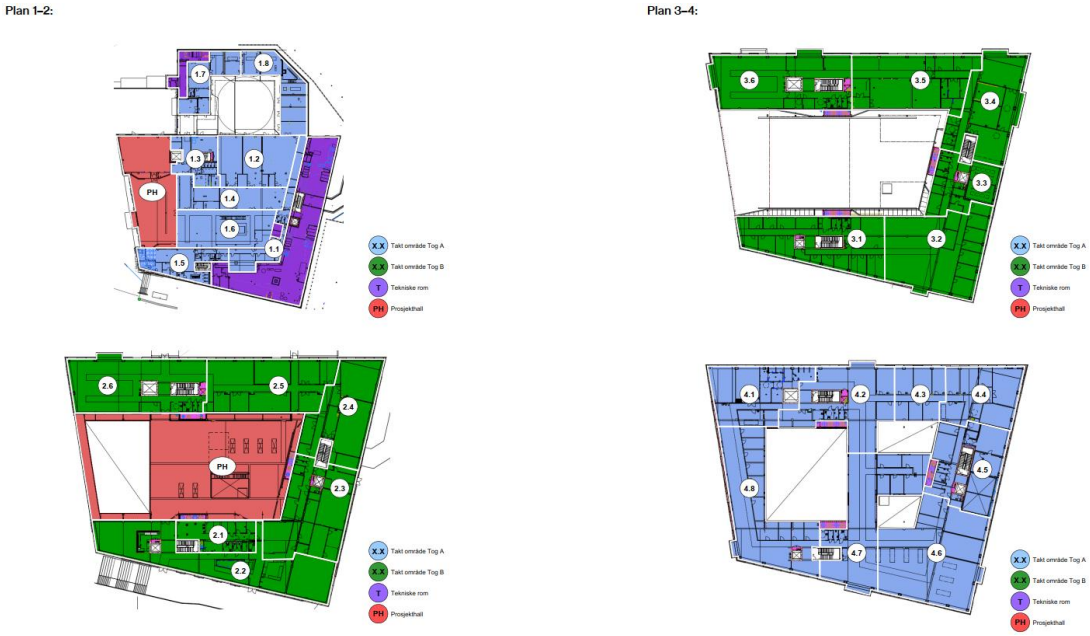
Vaihe 2 – tahtialueiden määritys

Toisessa vaiheessa määritetään tahtialueet. Tahtialue on alue, jossa tietyssä tahtiajassa tehtävät työt suoritetaan. Rakennuksen ideaaliset tahtialueet ovat alueita, joissa on mahdollisimman sama määrä samaa aikaa vieviä tehtäviä. Tahtialueet luodaan ensimmäisen tiedonkeruuvaiheen pohjalta kohdistamalla tuotetut kuvat päällekkäin. Tässä vaiheessa itse tahtiaika on vielä määrittelemätön, sillä sen määrittämiseen ei ole vielä riittäviä tietoja. Tässä vaiheessa olisi ideaalista kohdistaa tahtialueet ja määrittää niille tahtiaika, mutta tässä vaiheessa malli on usein vielä kehitysvaiheessa ja detaljitason suunnitelmia puuttuu, jonka vuoksi niiden märittäminen on haastavaa. Tommelein (2017) ehdottaa tässä vaiheessa myös tahtiajan määrittämistä työtiheyden määrittämisen kautta.



Kuva 10 Työtiheyden perusteella määritellyt ajat alueittain (Tommelein, 2017)

Kuvasta 6 nähdään urakoitsijoiden merkitsemät ajat kuhunkin työvaiheeseen. Kukin väri kuvastaa yhtä urakoitsijaa. Kun kuvat laitetaan päällekkäin, niin saadaan hahmoteltua kokeellinen työtiheys. Kun tahtialueet ja työtiheys on saatu määriteltyä, iteroimalla voidaan selvittää tahtiaika. (Tommelein, 2017)



Kuva 11 The KHiB projektin tahtialueet (Holm et. al 2018)

Tahtialueiden määrityksen aikana pyritään saavuttamaan kuvan 8 kaltainen lopputulos, jossa rakennus on jaettu tiettyihin tahtialueisiin, jotka ovat identifioitu esimerkiksi numeroin helpottamaan tulevaa tuotantosuunnittelua.

Vaihe 3 – Ymmärrys järjestyksestä

Kolmannessa vaiheessa pyritään saavuttamaan ymmärrys työjärjestyksestä. Pyritään ymmärtämään imuohjauksen merkitys. Imuohjaus tarkoittaa ohjausmenetelmää, missä tehty tilaus tuotteesta toimii herätteenä uuden samanlaisen tuotteen valmistukselle (Liker. 2011). Se vaatii usein tahtialueilla työskentelevien henkilöiden välisiä tapaamisia sekä tiivistä yhteistyötä eri urakoitsijoiden välillä. Tapaamisissa pyritään ymmärtämään, kuka työskentelee missäkin tehtävässä, missäkin vaiheessa ja minkälaisia tehtäviä kullakin urakoitsijalla on kyseisessä tahtialueessa. (Frandson et al., 2013) Tässä vaiheessa voidaan hyödyntää LPS = Last Planner Systemiä, jonka tarkoituksena on suunnitella työ yhteistoiminnallisesti urakoitsijoiden kanssa lähempänä työn varsinaista aloitusta. Yhteistoiminnallisessa suunnittelussa tarkoituksena on tunnistaa sekä poistaa erilaisten töiden rajoitteet, varmistua lupauksista ja oppia erittelemään tehtäviä. (Ballard et al., 2010). Jotta voidaan saavuttaa yhteisymmärrys urakan tekijöiden välillä, Tommelein (2017) mainitsee imuohjaussuunnitelman teon tärkeänä vaiheena, imuohjaussuunnittelun aikana voidaan kehittää työtapoja nopeuttamaan työn kulkua. Tässä vaiheessa on kriittistä luoda, että mitä tietoa/tavaraa/tms. tarvitaan oman työn suorittamiseen ja keneltä se tarvitaan, jotta jokainen osaa suoriutua

omasta tehtävästä siihen määritetyssä ajassa. Tämän lisäksi tässä vaiheessa pyritään tunnistamaan mahdollista työn pullonkaulat ja parantamaan aikaa vievien töiden läpimenoaikoja (Yassine et al., 2014).

Vaihe 4 – Työn virtauksen tasapainotus

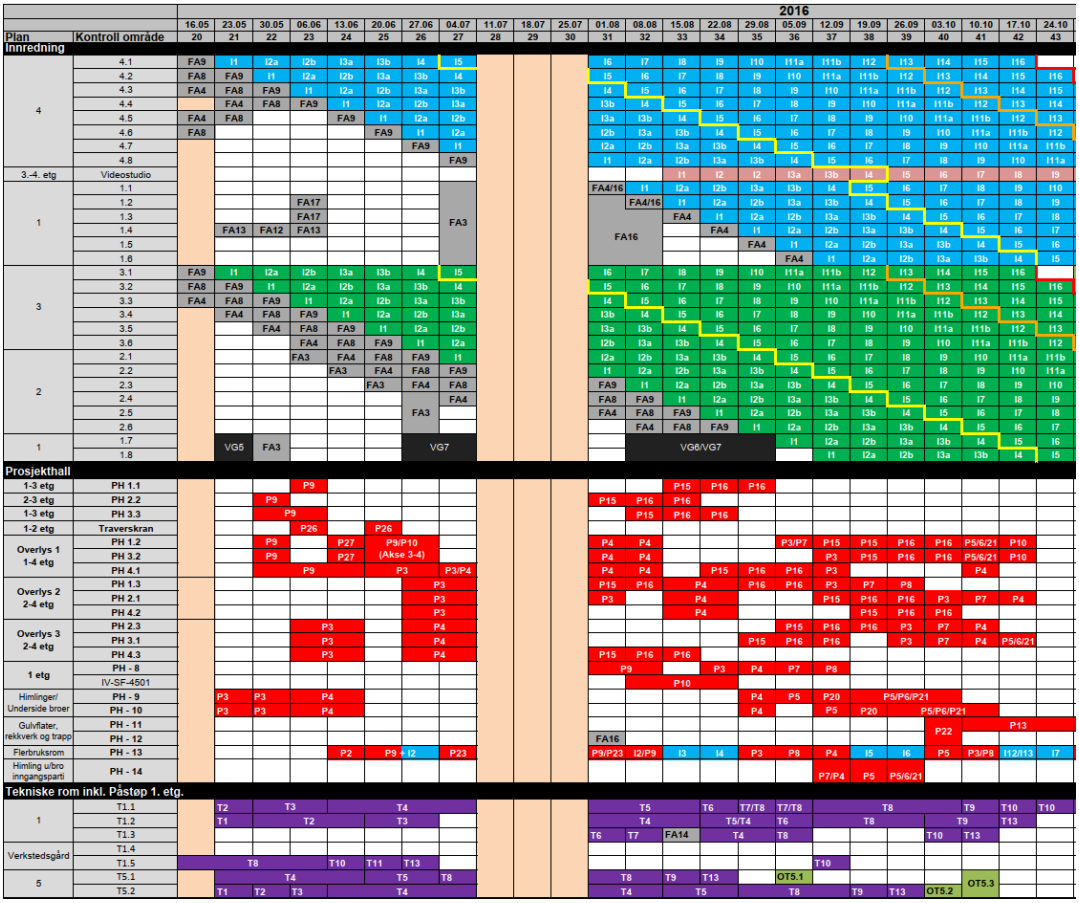
Kun ymmärrys työjärjestyksestä on saavutettu, on aika laittaa se tasapainoon kaikkien työvaiheiden kanssa. Tässä vaiheessa määritellään tehtävät, jotka täytyy suorittaa hitaammin tai nopeammin, jotta saavutetaan sopiva työvirtaus.

Vaihe 5 – Työajan ymmärrys

Viidennessä vaiheessa tutkitaan tarkempia vaihekohtaisia töitä, jotta voidaan määrittää työhön vaadittava aika ja saavuttaa sopiva työvirtaus. Työhön vaaditun ajan selvittäminen vaatii pitkäjänteistä selvitystä ja sopivan työvirtauksen saavuttaminen ei tule itsestään. Jatkuvien kokeiluiden seurauksena, eri tahtiaikoja iteroimalla, saavutetaan työn virtaus, jonka pohjalta paljastuu sopiva tahtiaika. (Yassine et al., 2014)

Vaihe 6 – Tuotantosuunnittelu

Tuotantosuunnitteluvaiheessa on selvitetty tahti, jonka aikana työt etenevät tasaisella virtauksella tahtialueiden läpi, joka luo kokonaisvaltaisen tahtiajan tahtialueiden töille. Viimeisessä vaiheessa kuitenkin tahtialueet pyritään pilkkomaan tahtiaikaa pienemmiksi kokonaisuuksiksi, jotta pystytään seuraamaan yksittäisten töiden etenemistä. Näin voidaan varmistaa se, että tahdista ”putoaminen” huomataan ajoissa, eikä vasta kun tahtiaika on ohitettu. (Frandson et al., 2013). Suunnitelman avulla suunnittelijat saavat nopeasti tietoa siitä, että mitä suunnitelmia tarvitaan missäkin vaiheessa, jotta työn virtaus ei pysähdy. (Linnik et al., 2013) Lopputuloksena on hienosäädetty tahtiaikataulu. (Tommelein, 2017)



Kuva 12 Osa The KHiB projektin tahtiaikataulusta (Holm et. al 2018)

Kolmen vaiheen malli – ns Saksan malli

Tahtituotantoa voidaan jakaa rakennushankkeissa myös vain kolmeen vaiheeseen. Karlsruhe Institute of Technologyn kehittämässä kolmen vaiheen mallissa on tarkoitus suunnitella tahti niin, että informaatiokatkoksia ei pääse syntymään. (Dlouhy ym. 2016) Ensimmäisellä vaiheella suunnitellaan hankkeelle projektirakenne, joka toteutetaan imuohjatusti. Vaiheen aikana pyritään tunnistamaan karkealla tasolla vastaan tulevat riippuvuussuhteet sekä yhteentörmäykset. Tässä vaiheessa ei ole olennaista keskittyä vielä detaljitasoon, vaan pyritään hahmottamaan tarvittavien prosessien lukumäärää sekä arvioimaan tahtialueiden lukumäärää. Ensimmäisessä vaiheessa tilaajan tehtävä on määritellä asiakkaan tarpeiden pohjalta tärkeimmät välitavoitteet projektille.

Toinen vaihe on tarkoitettu tahtialueiden jakoon ja niiden sisältämien tahtivaunujen määrittelyyn, kolmas vaihe on rakentamisen aikainen taso, joka pitää sisällään työn aikaiset muutokset ja tarkennukset. (Saari et al. 2018) Tahtituotanto aloitetaan tahtisuunnittelulla, jonka avulla saadaan suunniteltua

jatkuva virtaus kyseistä tuotantoa varten (Frandson & Tommelein, 2014). Tahtisuunnittelussa työ suunnitellaan noin 80 prosentin tasolla, jolloin urakoitsijat alikuormittavat tuotantoyksikkönsä. Tällä puskurilla pyritään luomaan mahdollisimman luotettava ja toimiva suunnitelma. (Tommelein, 2017) Tahtisuunnittelun avulla urakoitsijat työskentelevät ennalta määritetyllä alueella (tahtialue), tietyssä ajassa (tahtiaika), joka luo työvirtauksen.

Kolmen vaiheen malli on kuitenkin huomattavasti suppeampi, mutta sitä on helpompi hyödyntää esimerkiksi pienemmissä hankkeissa, tai hankkeissa, joissa urakoitsijoita ei ole vielä valittuina ensimmäisen vaiheen kohdalla.

2.2.4 Muda suunnittelussa

Mudaa (hukkaa) on mahdoton välttää, joka korostaa sen tunnistamisen tärkeyttä. Hukan poistaminen on aloitettava sen tunnistamisella. Toyotan johtaja Taiichi Ohno tunnisti 7 eri tyypin hukkaa, jotka löytyvät mistä tahansa prosessista:

Ylituotanto	Ylituotannon aikana valmistetaan enemmän, kun asiakas tai kyseinen prosessi tarvitsee. Tämä on hukista pahin, sillä se aiheuttaa kaikkia muita hukkia.
Varastointi	Varastointi pitää sisällään kaikkea ylimääräistä, jota ei tarvitse juuri nyt. Tämä on usein seurausta yllä mainitusta ensimmäisestä hukasta.
Kuljetus	Kuljetus kattaa materiaalien, puolivalmisteiden sekä tiedonsiirtelyn paikasta toiseen. Tämä on usein seurausta kohdista 1 ja 2
Liike	Liike tarkoittaa hukan näkökulmasta liikettä, joka ei lisää lopputuotteen arvoa. Esimerkiksi tavaroiden tai tiedon etsiminen on liikettä. Tämä on usein seurausta kohdista 1-3
Odotus	Odotus on kaikki toimeton aika, odottaminen.
Virheet	Tuote tai palvelu, joka ai täytä asiakkaiden laatuvaatimuksia.
Prosessointi	Prosessointi on hukan näkökulmasta toimintaa, joka ei lisää arvoa asiakkaan näkökulmasta, esimerkiksi saman tiedon syöttäminen moneen eri järjestelmään.

Taulukko 2 Seitsemän eri tyypin hukkaa

Näiden seitsemän hukan lisäksi Womack sekä Jones lisäsivät vuonna 1996 yhden hukkatyypin lisää:

Osaamisen alihyödyntäminen - Henkilökunnan osaamista ja ammattitaitoa ei hyödynnetä kokonaisvaltaisesti, jolloin potentiaali jää käyttämättä ja syntyy hukkaa.

Suunnittelun hukka on todettu aiemmissa tutkimuksissa olevan monimutkaisempi käsite kuin rakentamisen hukka. Kun suunnitteluprosessia tarkastelee virtausyksikön näkulmasta, eli tiedon näkökulmasta hukan tunnistaminen helpottuu. Asiakkaan näkökulmasta ainoa arvoa tuottavat asia suunnittelussa on suunnittelu, muut tukitoiminnot kuten tiedon siiryminen, odottelu ja suunnitelmien tarkastus ovat puhdasta hukkaa. (Koskela & Huovila 1997) Hukkaa on myös suunnitteluvihreet sekä tarpeeton suunnittelu. Hamzehin mukaan suunnittelussa negatiivista iterointia, joka ei tuota arvoa, eli toistoa jota suunnittelussa tapahtuu on hankala ennustaa sekä kitkeä, sillä suunnittelutyö kostuu toisistaan riippumattomista monimutkaisista töistä (Hamzeh, 2009).

2.3 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Kirjallisuuskatsauksen aikana perehdyttiin TATE-suunnitteluun suhteesssa lean-filosofiaan sekä tahtituotantoon. Kirjallisuuskatsaus aloitettiin rakennushankkeen kululla, sillä rakennusvaiheen kulku on olennainen ymmärrettävä osa TATE-suunnittelussa. Rakennushankkeen vaiheet ovat esiltety RT kortissa RT 10-11224 ja sen mukaan rakennushanke koostuu seuraavista vaiheista: Tarveselvitys, Hankesuunnitelma, Ehdotussuunnittelu, Yleissuunnttelu, Toteutussuunnittelu, Rakentaminen sekä Takuuaika. Näiden vaiheiden välissä on myös erilaisia välivaiheita, kuten esimerkiksi Rakennuslupatehtävät sekä käyttöönotto. Rakennushankkeen kulun aikana havaittiin, että talotekniikan osuus hankkeen investointi- ja erityisesti ylläpitokustannuksista on huomattava ja sen ottaminen huomioon jo hankesuunnitteluvaiheessa tarkentaa hankkeen kustannustavoitteita ja vähentää mahdollisia yllätyksiä jatkosuunnittelun yhteydessä.

Rakennushankkeen kulun jälkeen siirryttiin käsittelemään suunnittelun vaiheitai. Rakennushankkeen suunnitteluprosessi voidaan karkeasti neljään osaan: hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Nämä neljä osaa pitää sisällään erilaisia toimia kyseisen osan valmistumiseksi. Osilla on myös erilaisia tavoitteita, jotka tulee saavuttaa sen kyseisen osan aikana. Suunnittelijan näkökulmasta työläin osuus on

yleissuunnitelma vaihe. Yleissuunnittelun aikana toteutetaan yleissuunnitelma paketti, jossa ehdotussuunnitteluvaiheessa valittu paras ratkaisu jalostetaan toteutuskelpoiseksi suunnitelmaksi. Yleissuunnitteluvaiheessa esimerkiksi sähkösuunnittelija laatii seuraavat ratkaisut:

- tila- ja suojausluokitukset tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- valaistusratkaisut tyyppitiloille tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- ryhmitys- ja mittausalueet tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelyt
- jakelujärjestelmät tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- varmennetut ja keskeytymättömät jakelut tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- ohjaustarpeet ja ratkaisut tai niiden vaihtelumahdollisuudet
- tele- ja turvajärjestelmien järjestelmäkaaviot

Yleissuunnitteluvaiheeseen kuuluu myös olennaisesna osana talotekninen yhteensovitus, jossa TATE-suunnittelutiimi katsoo yhdessä ratkaisusnsa ja yhteensovittaa ne suunniteltuun tilaan. Kirjallisuuskatsauksessa avattiin laajemmin sähkösuunnittelun erilaisia tehtäviä ja toimintoja suunnittelun vaiheissa.

Rakennushankkeen sekä suunnittelun vaiheiden katsauksen jälkeen siirryttiin käsittelemään lean-ajattelua sekä tahtituotantoa. Lean-ajattelu (engl. Lean Thinking) on muodostunut alun perin tuotantoinsinöörin Taiichi Ohno kehittämästä Toyota Production System:stä (TPS), jonka hän loi Toyota Motor Corporation:lle 1950 ja 1960 luvun aikana. Tämän jälkeen Lean-ajattelu ja sen erilaiset menetelmät ovat olleet juurtunut osa tuotantoympäristöissä. 1990- luvun puolivälissä lean-ajattelu rantautui myös rakentamiseen International Group for lean contrcution- järjestön kautta. Kirjallisuuskatsauksen aikana käsiteltiin useita erilaisia menetelmiä, joiden avulla lean-suunnittelua sekä lean-rakentamista harjoitetaan. Aziz ja Hafez ovat vuonna 2013 tekemässään tutkimuksessa esittäneet, että erilaisten lean-työkalujen käyttöönotto on tehnyt rakennusprojekteista turvallisempia, tehokkaampia sekä nopeuttaneet projektien läpimenoaikoja paremmalla laadulla ja pienemmillä kustannuksilla. Lean-rakentamisessa keskitytään suorituskyvyn maksimointiin asiakkaalle, toimitusjärjestelmän tarkkoihin tavoitteisiin sekä kokonaisvaltaiseen projektinohjaukseen suunnittelusta aina rakentamiseen asti. Koskela (1992) totesi että rakennushankkeiden poikkeavan ympäristön vuoksi, verraten tavanomaiseen tuotantoympäristöön, leanin käyttöönotto rakennusteollisuudessa on ollut haastavaa.

Kirjallisuuselvityksen loppuvaiheessa perehdyttiin tahtituotantoon. Tahtituotanto on teollisuuden tuotantoon syntynyt käsite, jonka avulla pyritään

rytmittämään ja tehostamaan toimintaa. Frandonin (2013) mukaan tahdin on tarkoitus löytää tuotantoprosessin oikeanlainen virtaus, mikä vähentää prosessin aikahukkaa. Tahtituotantoon on luotu kaksi erilaista mallia. Kalifornialainen, toiselta nimeltä kuuden vaiheen malli noudattaa nimensä mukaisesti kuutta vaihetta, joita ovat: Tiedonkeruu, tahtialueiden määritys, järjestyksen ymmärrys, työn virtauksen tasapainoitus, työajan ymmärrys sekä tuotantosuunnittelu. Tämän kuuden vaiheen lopputuloksena on Tommeleinin (2017) mukaan hienosäädetty tahtiaikataulu. Kalifornian mallin lisäksi on luotu myös saksan malli, joka noudattaa kolmea vaihetta. Tätä kutsutaan myös kolmen vaiheen malliksi. Dlouhyn (2016) mukaan tahti on tarkoitus suunnitella niin että minkäänlaisia informaatiokatkoksia ei pääse syntymään. Kolmen vaiheen mallin vaiheet ovat: projektirakenteen suunnittelu, tahtialueiden jako ja niiden sisäistäminen ja rakentamisen aikainen taso, mikä pitää sisällään työn aikana vastaan tulevat muutokset sekä tarkennukset.

Kirjallisuuskatsauksen aikana saatiin luotua kokonaiskuva rakennushankkeen kulusta, TATE-suunnittelun eri vaiheista, painottaen sähkösuunnittelua. Katsauksen aikana pohjustettiin lean-ajattelua, tahtituotantoa ja niiden rajapintoja rakennusalaan. Seuraavassa kappaleessa perehdytään tutkimuksen tutkimusmenetelmiin sekä tutkimuksen suorittamiseen.

3 Tutkimusmenetelmät

Tässä kappaleessa kerrotaan tarkemmin pidetyistä asiantuntijahaastatteluista ja kuinka Kvalitatiivinen tutkimusaineisto on kerätty sitä hyödyntämällä. Luvun alussa käydään läpi kohdeyrityksen taustoja ja nykytilannetta tutkimuksen aikana. Luvussa avataan kohdeyrityksen lähtökohtia tahtituotannolle. Luvussa selvitetään yrityksen tämänhetkinen tahtituotannon tilanne ja yrityksen valmistaso toteuttaa tahtituotantoa. Luvussa etsitään myös yritykselle vastaan tulevia haasteita tahtituotannon osalta, joihin haetaan ratkaisuja kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen tutkimuksen kautta. Tässä kappaleessa käydään läpi käytetty haastattelurunko, jonka jälkeen siirrytään analysoimaan ja vertailemaan asiantuntijahaastatteluiden tuloksia.

Asiantuntijahaastattelut päätettiin toteuttaa puolistrukturoidulla haastattelumenetelmällä, teemahaastattelulla. Teemahaastattelu antaa haastateltavalle henkilölle tilaa kysymyksiin, sekä mahdollistaa haastateltavalle liikkumatilaa haastatteluista. Teemahaastattelussa ennalta määrittämien kysymysten paikkaa voi vaihdella. Myös se, että kysyykö kyseistä kysymystä lainkaan tai kysykö ennalta määrittämättömiä kysymyksiä on mahdollista teemahaastattelussa. Koska aihepiiristä tiedetään vielä vähän ja saatavilla olevaa aineistoa sekä dataa on saatavilla heikosti, oli teemahaastattelu parhaaksi valittu aineiston keruutapa tässä laadullisessa tutkimuksessa.

Haastattelun runko pyrittiin pitämään teemahaastatteluille tyypillisenä. Kysymykset ovat mahdollisimman avoimia ja tarkoitus on herättää keskustelunomainen haastattelu, jossa kysymykset ohjaavat keskustelua aihepiiriin. Teemahaastatteluja toteutettiin 16 kappaletta, ja haastateltavat henkilöt valittiin heidän aiemman tutkimukseensa tai työnsä vuoksi tahtituotannon parissa. Aineistosta on pyritty nostamaan esiin merkityksellisiä teemoja sekä aineistoa analysoidessa on hyödynnetty induktiivista päättelyä.

Teemahaastattelut aloitettiin aina lyhyillä esittelyillä. Esittelyjen jälkeen runko jaettiin kolmeen osaan. Ensimmäinen osa käsitteli haasteita. Osiossa pyrittiin selvittämään TATE-suunnittelun haasteita tahtituotannon näkökulmasta. Ohjailevien kysymysten kautta yritettiin selvittää haastateltavien omakohtaisia kokemuksia hankkeista, joissa ongelmia tai haasteita olisi kohdattu. Ensimmäisessä kohdassa pyrittiin myös avaamaan keskustelua mahdollisista ongelmista, joita haastateltavat voisivat kuvitella olevan.

Haastattelun toinen osio käsitteli prosesseja, nimenomaan taloteknisen suunnittelun prosesseja. Prosessit osio oli jaettu vielä kolmeen eri osa-alueeseen, jotka olivat: Yhteistyö ja toiminta, Ymmärrys sekä Työkalut. Yhteistyö ja toiminta osiossa pyrittiin selvittämään nykyisten toimintamallien, kuten esimerkiksi työmaan, suunnittelun sekä hankkeen yleisissä toimintamalleissa mahdollisia ongelmia ja haasteita. Osiossa pyrittiin myös ohjaamaan keskustelua, että olisiko haastateltavan mielestä kannattavaa kehittää uusia toimintamalleja tahtituotantoa varten.
Ymmärrys osiossa käsiteltiin hankkeiden aikana tapahtuvaa ymmärrystä päätöksistä.

Työkalut osiossa pyrittiin selvittämään, tukeeko tämänhetkisen työkalut, esimerkiksi tietomallit, suunnitteluohjelmat, resurssiohjelmat yms. tahtituotannon onnistumista.
Haastattelurungon lopussa oli myös kohta kehitykselle, mutta missään haastattelussa ei ehditty käymään läpi mahdollisia kehityskohteita, joten kehityspuolen analyysi toteutetaan kirjallisuuskatsauksen sekä haastatteluissa ilmenneiden seikkojen pohjalta.

Teemahaastattelun runko:

Haasteet
Onko sinulla omakohtaisia kokemuksia hankkeista, joissa TATE-suunnittelu on ollut esteenä/hidastanut tahtituotantoa työmaalla tai jossain hankkeen vaiheessa, kertoisitko niistä?

a) Onko sähkösuunnittelulla merkittävää osaa tässä?

Minkälaisia haasteita sinun mielestäsi voisi olla/on tällä hetkellä TATE-suunnittelussa, että työmaa ei kykene tahtituotantoon?

a) Onko jokin näistä yksinään sähkösuunnittelua koskeva ongelma?

Minkälaisia haasteita sinun mielestäsi voisi olla tulevaisuudessa TATE-suunnittelussa, että työmaa ei kykene tahtituotantoon?

a) Onko jokin näistä yksinään sähkösuunnittelua koskeva ongelma?

Prosessit
Yhteistyö ja toiminta

a) Onko nykyisissä toimintamalleissa ongelmia? Esimerkiksi työmaan, suunnittelun tai hankkeen yleiset toimintamallit

i) Näetkö että tahtituotantoa varten täytyisi kehittää uusia, erilaisia toimintamalleja?

Ymmärrys

a) Koetko että hankkeissa ymmärretään riittävästi päätösten vaikutuksia toisiinsa?

i) Ymmärretäänkö hankkeissa aina mitä ja mihin aikaan päätetään?

ii) Täytyisikö päätöksentekotapoja ja aikatauluja muuttaa koska tehdään tahtituotantoa?

Työkalut

a) Tukeeko nykyiset työkalut päämäärää? Esimerkiksi suunnitteluohjelmat, Tietomallit, resursointi ja aikataulutustyökalut

b) Minkälaisia haasteita olet kohdannut työkalujen osalta tahtituotannossa?

c) Tietomalli

i) Onko nykyisten tietomallin sisältö riittävä?

ii) Kenen tehtävä on mielestäsi huolehtia tietomallin oikeista määristä ja massoista?

Kehitys

Kuinka mielestäsi suunnitteluprosesseja tulisi kehittää tai muuttaa, jotta taloteknisten järjestelmien suunnittelu saataisiin tukemaan hankkeen tahtituotantoa?

Kuinka mielestäsi työkaluja tulisi kehittää tai muuttaa, jotta taloteknisten järjestelmien suunnittelu saataisiin tukemaan hankkeen tahtituotantoa?

Haastattelujen aikana havaittiin jo vallitsevia teemoja, joihin haastateltavat tarttuivat sekä tietyt teemat ja aihepiirit nousivat esiin selkeästi muita enemmän. Haastattelujen objektiivisuus oli kuitenkin varmistettu yllä olevalla haastattelurungolla, jolla varmistettiin, että jokaisen haastateltavan kanssa käsiteltiin samanlaiset aihealueet. Se mihin keskustelu ohjautui aihealueista, oli jokaisen haastateltavan kanssa yksilöllistä, kuitenkin samanlaisuuksia aihealueisiin tarttumisia havaittiin. Toiset aihealueet herättivät haastateltavissa enemmän keskustelua, kuin toiset.

Haastatteluja pidettiin myös laajalla aikavälillä, niin että haastatteluja ei kuunneltu nauhalta siinä välissä, joka mahdollista haastattelijan orientoitumisen haastattelurunkoon aina uudelleen. Tämä seikka vahvisti myös haastattelujen objektiivisuutta. Haastatteluja ei myöskään analysoitu missään

haasatttelujen välissä, vaan haastattelujen analysointi suoritettiin kaikkien haastattelujen jälkeen.

3.1 Tulokset

Tutkimusaineistoa kertyi kokonaisuudessaan 16 haastattelun verran. Tutkimusaineiston kokonaispituudeksi muodostui 14 tuntia ja 36 minuuttia, keskiarvohaastattelun pituus oli 52 minuuttia. Haastattelujen kokonaispituudet vaihtelivat 86–28 minuutin välillä.

Tutkimusaineistoa lähdettiin purkamaan yksitellen litteroimalla analysoinnin mahdollistamiseksi. Jokainen haastattelu litteroitiin yksitellen haastattelurungossa esitettyjen aihepiirien mukaisesti. Ensimmäiseksi haastateltavat jaettiin OneNote muistikirjaan omiksi sivuikseen. Haastatelavien alle kopiotiin haastattelurunko helpottamaan haastattelujen aikana tulleiden kommenttien jäsentelyä oikeaan aihepiiriin. Haastattelut kuunnteltiin kukin haastetltava kerrallaan ja nauhoitteita pysäytettiin paikoittain uudelleenkuuntelun vuoksi. Haastattelut kuunneltiin läpi kertaalleen, jotta haastattelun aikana tulevat kommentit saatiin kirjattua mahdollisimman objektiivisesti ylös. Lopuksi haastatteluaiheet analysoitiin. Haastatteluista satuja tuloksia on esitelty tässä kappaleessa.

Haastateltavat jaoteltiin numeroin sekä kirjaimin alla olevan taulukon mukaisesti. Näin ollen suoriin henkilöiden sitaatteihin viittaaminen on selkeämäpää.

Rakennustekniikan professori	A1
Rakennustekniikan professori	A2
Johtaja talotekniikan suunnittelutoimistossa	B1
Johtaja talotekniikan suunnittelutoimistossa	B2
Johtaja talotekniikan suunnittelutoimistossa	B3
Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen projektipäällikkö	C1
Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen projektipäällikkö	C2
Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen projektipäällikkö	C3
Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen kehitysjohtaja	D1
Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen kehitysjohtaja	D2
Rakennustekniikan alalla toimivan yrityksen kehitysinsinööri	E1
Rakennuttamisen ja projektinjohdon asiantuntija	F1
Rakennuttamisen ja projektinjohdon asiantuntija	F2
Rakennuttamis- ja projektinjohtoyrityksen toimitusjohtaja	G1

Rakennustekniikan tohtorikoulutettava	H1
Aikatauluekspertti	I1
Pääarkkitehti	J1

Taulukko 3 Haastateltavat henkilöt

3.1.1 Haasteet

Haastattelun ensimmäinen ja suurin teema käsitteli haasteita ja sillä pyrittiin löytämään vastausta ensimmäiseen tutkimuskysymykseen:

Mitä haasteita taloteknisten järjestelmien suunnittelussa kohdataan, jotta ei voida suunnitella rakennushankkeen kanssa tahtituotannossa?

Haastattelututkimusrungossa haasteet on esitetty vahvasti omakohtaisen kokemusten kautta tunnistettaviksi, jotta voidaan löytää mahdollisimman laajasti erilaisia haasteita. Tässä kappaleessa käsitellään haastatteluissa esille tulleita keskeisiä haasteita.

Haastattelujen aikana nousi esiin lukuisia haasteita TATE-suunnittelijoiden kädenjäljen jälkeen. Suurin haaste, joka toistui haastattelusta toiseen, oli työmaalla soveltaminen sekä improvisointi. Tällä tarkoitetaan työmaalla tapahtuvaa TATE-suunnitelmien soveltamista, esimerkiksi kaapelihyllylle joudutaan miettimään työmaalla uusi reitti poiketen suunnitelmasta, sillä suunnitelmat eivät olleet asennuskelpoisia. Haastateltava A2 nosti esille usean haasteen juuri soveltamiseen liittyen:

“Jos suunnitelmat ei oo tarkkoja niin työaika-arvio ei riitä, mitä varattu työhön. Jos on paljon improvisointia niin tahdissa ei pysytä.”

"Asentajilla on tiettyä halua siihen, että suunnitelmat eivät ole liian tarkkoja vaan he voivat improvisoida ja näin ollen osoittaa ammattitaitoaan..."

"Helpompi reitti on, että urakoitsijat suunnittelee ne viimeiset detaljit...”

Myös haastateltava A1 nosti esiin, että tahtituotannossa improvisoidaan liikaa työmaalla. Hän sanoi, että päästäisiin parempiin tuloksiin, jos tahtiaikoihin ei laskettaisi mukaan suunnitelmien improvisointia, joka edellyttää, että työmaalla tehtävää improvisointia täytyy saada vähennettyä. Hän painotti, että suunnitelmien improvisointia tapahtuu erityisesti LVI-puolella.

Kyseinen soveltaminen ja improvisointi toistui monien haastetaltavien puheissa, eikä kukaan ollut sitä mieltä, että suunnitelmien soveltamista taikka improvisontia kannattaisi työmaalla harrastaa. Moni kuitenkin koki, että hankkeiden suunnittelu kaipaa jonkin sortin muutosta työmaahan päin, eli tarvitaan esimerkiksi erillisiä työmaasuunnittelijoita joko urakoitsijoiden tai suunnittelutoimistojen puolelta.

Monien haastateltavien mielestä hankkeiden suunnittelutiimin oli myös haastavaa pysyä aikataulussa, vaikka sellainen olisi luotu. Monet haastateltavat kokivat, että aikatauluja laiminlyödään asenneperusteisesti.

"Jotenkin se on niin että aikataulujen noudattaminen ei ole se muodissa oleva juttu" -D2

"Jos halutaan tuottavuusparannusta niin näitä aikatauluja täytyy ryhtyä noudattamaan" -B2

Miltei jokaisessa haastattelussa nousi esille ongelmana TATE-suunnittelun suunnittelu. Nimenomaan sen puute. TATE-suunnittelun suunnittelu nähtiin haasteena toteutusmuodosta riippumattomana haasteena. Haastatteluissa koettiin, että tahtituotanto nostaa esiin ja korostaa kyseistä ongelmaa muita toteutustapoja herkemmin. Myös yhteistyön puute hankkeen eri osapuolien välillä koettiin ongelmana ja nimenomaan se, että suunnitelijoita ei osallistuteta suunnitelmien laadinta-aikatauluihin mukaan. Tämä on myös ongelma, jossa kerrannaisvaikutukset korostuvat nimenomaan tahtituotantohankkeissa. Moni haastetaltava kertoi, että suunnittelijoille ei ole edes kerrottu tahittuotannosta. Haastateltava I1 sekä F2 olivat olleet hankkeessa mukana jossa TATE-suunnittelutiimi ei ollut tietoinen tahtituotannosta, joka johti tilanteeseen rakennusvaiheessa, että TATE-palvelualueet olivat täysin erilaiset kuin suunnitellut tahtialueet. Kyseisen syyn vuoksi koko hankkeen tahti otti suuren harppauksen taaksepäin. Haastateltava I1 totesi että: Kaikki suunnittelu oli perässä koska tahtisuunnitteluun ei otettu suunnittelijoita mukaan. Myös haastateltava D1 sanoi että: Mitä paremmin suunnittelijat ovat mukana tuotantoaikataulussa ja ymmärtävät milloin vaaditaan mitäkin, niin sitä paremminhan se menee...

Esimerkkitapauksessa, josta I1 sekä F2 kertoivat, suurena ongelmana kohdattiin TATE-palvelualueiden ristiriidan tahtialueiden kanssa. Sähkösuunnittelun osalta suurimmaksi identifioiduksi haasteeksi mainittiin nimenomaan palvelualueiden ristiriita tahtialueiden kanssa. Palvelualueilla tarkoitetaan esimerkiksi sähkökeskusten palvelualueita. Kun kysyttiin, minkälaisia

haasteita tahtituotannossa kohdataan (yksinomaan sähkösuunnittelua koskevia ongelmia) 7 henkilöä totesi, että palvelualueiden ristiriidat ovat suurin haaste. Muita ongelmia, joita haastattelujen aikana lueteltiin, liittyen juuri sähkösuunnitteluun oli: Silmukkamalliset järjestelmät, Käyttäjien omat teknologiat sekä turva- ja palotekninensuunnittelu niiden laajojen palvelualueiden vuoksi. Juurisyyksi tälle ongelmalle koettiin kuitenkin suunnittelun suunnittelun puute sekä se että suunnittelijoille ei kerrota hankkeessa käytettävästi tahtituotannosta. Suunnittelijoiden kompetenssin puute ei ollut kenenkään haastateltavan mielestä ongelma.

Eräs useasti mainittu haaste työmaalla TATE-suunnittelun osalta oli suunnitelmien valmistuminen joko etuajassa tai liian myöhään. Useammin mainttiin jälkimmäinen vaihtoehto. Haastateltavat kuitenkin olivat sitä mieltä että tämä suunnitelmien aikataulutus on myös suunnittelun suunnittelun puutetta, eikä niinkään TATE-suunnittelun ongelma. Itse teknisen suunnittelun osalta haasteita mainittaan haastatteluissa harvakseen ja moni koki, että teknisessä suunnittelussa ei ole ongelmaa vaan se piilee suunnitteluprosesseissa.

”Tahtituotanto kaatuu jo ennen suunnittelua jos on kaatuakseen” -B1

Muita ongelmia, joita esiintyi haastattelurungon ”Haasteet” osiossa oli suunnittelun olematon läpinäkyvyys. Haastattelija F1.n mielestä suunnittelun eräkokoa täytyy kyetä pienentämään. Tällä hetkellä tiedetään milloin suunnitelmat valmistuvat, mutta mitä siinä välissä tapahtuu, on musta laatikko. Myös haastateltava B2 totesi, että suunnitteluun tarvtiaan jonkin sortin seurantaa, ettei ihmiset tee vain jotain tekemisen vuoksi. Tämä kyseinen asia tuli ilmi myös, kun haastattelija F1 totesi, että suunnittelutoimistot toimivat resurssitehokkuudella. Useissa haastatteluissa ongelmaksi muodostui myös TATE-suunnittelua palvelevien lähtötietojen puuttuminen, kun suunnittelua on ollut tarkoitus aloittaa. Haastateltava B3 totesti että lähtötietojen saaminen ja niiden saaminen oikeaan aikaan on kriittistä tahtituotannon kannalta.

"Pahempaa kuin lähtötietojen puuttuminen on se että meillä on lähtötiedot jotka on väärät" -B3

Haastatteluissa manitittiin, että vääristä tai puutteellisistä lähtötiedoista aiheutuu usein virheitä ja muutoksia suunnitelmiin.
Useassa haastattelussa minittiin se, että puuttuu kokonaan yksi suunnittelu”ala”, joka on kannakointisuunnittelu. Kannakointisuunnittelulla tarkoittetaan LVI, SÄH sekä SPR kanavien, hyllyjen sekä putkien kannakointia

kattoihin. Monet olivat sitä mieltä, että kannakointisuunnittelun puuttuuminen hidasti tahtituotannon etenemistä työmaalla.

3.1.2 Prosessit

Haasteiden jälkeen haastatteluissa siirryttiin prosesseihin. Prosessi osion avulla etsittiin vastauksia toiseen tutkimuskysymykseen: *Miten hyvin nykyiset suunnitteluprosessit ja työkalut tukevat tahtituotantoa?*
Haastattelurungossa prosessit ovat jaettu lisäksi kolmeen ala-alueeseen: Yhteistyö ja toiminta, Ymmärrys sekä Työkalut. Näiden avulla pyrittiin ohjaamaan haastattelun aikana syntyvää keskustelua kyseisten alueiden prosesseihin.

Yhteistyö ja toiminta

1. *Onko nykyisissä toimintamalleissa ongelmia? Esimerkiksi työmaan, suunnittelun tai hankkeen yleiset toimintamallit*
    1. *Näetkö että tahtituotantoa varten täytyisi kehittää uusia, erilaisia toimintamalleja?*

Yhteistyö ja toiminta osa-alueessa haastateltavat toivat esiin suurimman osan tahtituotannon TATE-suunnittelua koskevista ongelmista, mutta mitkään niistä eivät koskeneet teknistä suunnittelua. Haastateltavista 100 % oli sitä mieltä, että nykyisissä toimintamalleissa on ongelmia. Luvussa 4.1.1 mainittu haaste suunnittelijoiden tietoisuudesta hankkeen tuotantomallista nousi esille myös tässä kohdassa valtaosassa haastatteluissa. Haastateltavat kokivat, että suunnittelijoiden täytyy tietää, jos kohde aiotaan toteuttaa tahtituotannolla, sillä sillä on vaikutusta nimenomaan TATE-palvelualueisiin sekä järjestelmien valintoihin.

Haastateltavat löysivät ongelmia, huolimatta siitä olivatko suunnittelijat tietoisia tahtituotannon toteutumisesta. Erityisesti haastateltavat korostivat ongelmia suunnittelun ja työmaan aikataulutuksen kanssa. Kaikissa haastatteluissa toistui ongelmana se, että on liikaa erilaisia aikatauluja, jotka eivät keskustele keskenään, kuten esimerkiksi hankinta-aikataulu, hankeaikataulu, suunnitteluaikataulu, rakennusaikataulu tms. Nämä aikataulut eivät ole lähtökohtaisesti yhteensovitettuna keskenään, varsinkaan tilanteissa, joissa jokin aikataulu muuttuu. Monessa haastattelussa nähtiin myös ongelmana, että pääurakoitsija on se, joka laatii aikataulun, johon kuuluu TATE mukaan, vaikka hänellä ei ole välttämättä ole parasta tietoa tai taitoa kyseisestä osa-alueesta.

"Talotekniikan aikataulutukseen ei ole pääurakoitsijoilta riittävää osaamista" -A2

Yhteinen aikataulun luonti TATE:n ja pääurakoitsijan kanssa nähtiin hyvänä ratkaisuna tälle. Aikataulujen lisäksi kaikkien haastateltavien mielestä on hankkeelle sekä tahtituotannolle suuri etu, jos TATE-suunnittelijat saadaan hankkeeseen mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Moni haastateltava kyseenalaisti, että tehdäänkö tällä hetkellä suunnittelua oikeaan aikaan, oikealla tarkkuustasolla sekä oikeiden tahojen kanssa. Erityisesti kategorian B henkilöt olivat sitä mieltä, että pitäisi paremmin sisäistää kuka niitä suunnitelmia oikein tarvitsee. Kyseisen kategorian henkilöt nostivat myös muita kategorioita enemmän esille suunnittelun maksajatahon, ja he kyseenalaistivat, että ostaako suunnittelun tällä hetkellä oikea taho. Haastattelija A1 sekä B1 olivat erityisesti sitä mieltä että urakoitsijan täytyisi maksaa suunnittelusta. A1 sekä H1 nostivat esiin myös urakkatyön haasteen.

”Haasteena on urakkatyö. Jos urakoitsija tilaisi suunnittelun niin voitaisiin päästä parempiin tuloksiin.” -A1

”Urakoinnissa pitäisi siirtyä tuntihintaiseen työhön ja urakkapohjainen työ on suuri halla tahtituotannolle. ” – H1

”Suunnittelijat mielellään jeesaisi työmaata, mutta siitä ei ole kukaan valmis maksamaan.” – B1

Useiden haastateltavien mielestä suunnittelua tehdään liikaa urakkalaskentavaiheessa, jolloin saadut lähtötiedot ovat liian heikot suhteutettuna vaadittuun laseknta-aineistoon. Neljä haastateltavaa mainitsi suoraan että urakkalaskentavaiheen aikaisen vaiheen tarkkuustaso suunnitelmissa on mahdoton toteuttaa ilman tulevia muutoksia. Haastatteluissa koettiin myös että alan sopimukset eivät tue yhteisöllistä tekemistä, kuten esimerkiksi tahtituotantoa.

Ymmärrys

1. *Koetko että hankkeissa ymmärretään riittävästi päätösten vaikutuksia toisiinsa?*

Haastateltava	Kysymys 1. vastaukset
A1	Ei
A2	Ei
B1	Pitäisi ymmärtää mitä päätöksiä hankkeessa täytyy tehdä
B2	Ei
B3	Toiset ymmärtävät ja toiset ei, toiset haluaa ymmärtää ja toiset ei ja toisia ei kiinnosta
C1	Ei
C2	On jonkinlainen tatsi siitä että mihin kaikki vaikuttaa
C3	Ei
D1	Varmasti voisi olla parantamisen varaa. Riippuu hankkeesta ja projektista ja niiden urakkamallista
D2	Ei
E1	Varmasti voisi olla parantamisen varaa. Riippuu hankkeesta ja projektista ja niiden urakkamallista
F1	Kyllä
F2	Ei
G1	Joskus ymmärretään, joskus ei
H1	Kyllä ja ei
I1	En osaa sanoa
J1	Ei

Taulukko 4 Kysymys 1. vastaukset

Ymmärrys osa-alue oli haastattelurungon suurin suorien mielipiteiden jakaja. Puolet haastateltavista vastasivat kysymykseen, että hankkeissa ei ymmärretä päätösten vaikutuksia toisiinsa. Toinen puolisko, luukunottamatta henkilöitä C2 sekä F1, eivät osanneet sanoa suoraan ja he kokivat, että ymmärrys on tapauskohtaista. Henkilöt C2 sekä F1 olivat sitä mieltä että hankkeissa ymmärretään päätösten vaikutuksia toisiinsa.

Moni haastateltava koki päätösten teon haastavana sekä niitä voidaan jopa vältellä. Moni kertoi myös, että päätöksiä pusketaan liikaa eteenpäin turhan varhaisissa vaiheissa, jolloin on jo tiedossa, että ne tulevat muuttumaan. Eräs haastateltava korosti, että nopea päätöksenteko ei ole sama asia kuin hyvä päätöksenteko.

"Päätöksentekoa voidaan vältellä ja pallotella" - J1

Eräässä haastattelussa tuli myös ilmi, että päätösten intressien vaihtelu korostuu paikoittain. Aihealueiden, jotka eivät ole intressien yläpäässä, yli saatetaan hypätä huolimatta siitä, että kyseisen aihealueen päätökset olisivat kriittisiä.

Haastateltavat korostivat päätöksenteon tärkeyttä hankkeen onnistumiselle. Monen mielestä päätöksenteot ovat niitä hetkiä, jotka edesauttavat hankkeen onnistumista.

"Täytyy pystyä päättämään että miten se tullaan toteuttamaan, muuten se on ku yrittäis laittaa ympyrää neliöön" -B2

1. *Ymmärretäänkö hankkeissa aina mitä ja mihin aikaan päätetään?*

Haastateltava	Kysymys 1.1. vastaukset
A1	Ei
A2	Varmaan jotain tehdään liian ajoissa ja jotain liian myöhään
B1	On hankala ymmärtää ja analysoida mitä vaikutuksia päätöksillä on
B2	Pitäisi kuitenkin ymmärtää omien päätösten vaikutus ja ne pitäisi olla jollain tasolla aikataulutettuja sen hankkeen osalta
B3	Kyllä
C1	Ei
C2	Ei
C3	Ei
D1	Päätöksenteon prosessi voi olla jengille epäselvä
D2	Ei
E1	Päätöksenteon prosessi voi olla jengille epäselvä
F1	Tässä on enemmän harjoiteltavaa
F2	Ei
G1	Joskus ymmärretään, joskus ei
H1	Kyllä isossa kuvassa, mutta detalji tasossa ei välttämättä
I1	En osaa sanoa
J1	Ei

Taulukko 5 Kysymys 1.1 vastaukset

Ymmärrys osa-alueen kysymys 1.1 tuotti jo hieman hajanaisia vastauksia, eikä osa haastateltavista saatu suoraa vastausta kysymykseen. Kategorian C henkilöt olivat kuitenkin yksimielisiä kysymyksen kohdalla ja kaikki olivat sitä mieltä, että hankkeissa ei aina ymmärretä mitä ja mihin aikaan

päätetään. Henkilö C3 sanoi seuraavaa: ” Työmaahenkilöt sen tajuaa, mutta tilaaja ei ymmärrä”. Kyseisen kommentin sisältö nousi myös muitenkin haastateltavien kanssa esille, sillä monen mielestä nimenomaan tilaaja tai vaihtoehtoisesti käyttäjä, ovat niitä henkilöryhmiä, jotka tuottavat eniten haasteita päätöksentekoprosesseihin.

Useiden haastateltavien mukaan päätöksentekoon liittyy riskejä, nimenomaan väärien päätösten tekoon. Päätösten teossa pelätään päätöksistä koituvia kustannusvaikutuksia ja niitä pyritään totta kai minimoimaan. Tämä ajaa tilanteeseen, jossa päätöksen teko vaikeutuu ja niiden tekemistä lykätään. Tahtituotantohankkeissa kuitenkin päätösten teon lykkääntyminen viivästyttää itse tuotantoa, joka luo taas lisää kustannusvaikutuksia.

2. *Täytyisikö päätöksentekotapoja ja aikatauluja muuttaa koska tehdään tahtituotantoa?*

Haastateltavien mielestä päätöksentekotapoja hankkeissa täytyy kehittää joka tapauksessa, mutta erityisesti tahtituotannon kannalta niiden kehittäminen on kriittistä. Tahtituotanto nostaa haastateltavien mukaan päätöksentekoon liittyvät asiat herkästi esille, sillä täytyy olla tietoisempia mitä tarvitaan ja mihin aikaan. Haastateltavat D1 sekä E1 totesivat että: ” Jos ei tiedetä mitä päätöksiä pitää tehdä, ne ovat automaattisesti myöhässä”, he myös korostivat, että heti kun päätökset ovat tiedossa, ne pitäisi aikatauluttaa. Monen haastateltavan mielestä päätöksentekoon täytyisi kehittää joku malli, jossa päätökset kategorioitaisiin eri tasoisiin päätöksiin. Kyseisille päätöksille luotaisiin aikataulut, joita täytyy noudattaa.

Ymmärrys osa-alueessa nousi myös esille päätösten vaikutusten simulointi muutaman haastateltavan kanssa. Heidän mielestänsä olisi hyvä kyetä simuloimaan erilaisten päätösten vaikutuksia hankkeeseen sekä erilaisiin ratkaisuihin, jotta niihin osataan reagoida riittävässä ajassa. Haastateltavien mielestä päätökset olisivat myös hyvä luokitella erilaisiin tasoihin, riippuen siitä kuinka suuria vaikutuksia niillä on. Simulaation avulla kyettäisiin tarkastelemaan päätöstä ennen sen toteuttamista ja kyettäisiin punnitsemaan kyseisen päätöksen hyötyjä ja haittoja.

Työkalut

a) *Tukeeko nykyiset työkalut päämäärää? Esimerkiksi suunnitteluohjelmat, Tietomallit, resursointi ja aikataulutustyökalut.*
b) *Minkälaisia haasteita olet kohdannut työkalujen osalta tahtituotannossa?*

Työkaluista haastateltavilla oli hyvin erilaisia näkemyksiä. Osan mielestä nykyist työkalut tukevat päämäätää, eli tahtituotannon onnistumista hyvin. Osan haastateltavan mielestä nykyiset työkalut tukevat tahtituotantoa sekä alaa yleisesti todella heikosti. Samalla kuitenkin koettiin, että kyseinen osa-alue kehittyy jatkuvasti, joten ollaan menossa parempaan suuntaan.

Työkalujen osalta haastateltavat totesivat seuraavaa:

"Kysymys on se että hyödynnetäänkö näitä työkaluja oikein" – H1

”Kaikki aikataulut täytyy saada samaan tiedostoon eikä erillisinä exceleinä” – A1

”Seurantaan pitäisi olla joku työkalu” – C1

”Urakoitsijoilla ei ole välttämättä samoja suunnitteluohjelmistoja kuin sähkösuunnittelijalla” – D2

Useat haastateltavat kertoivat, että alla ei ole minkään näköistä työkalua päätöksien tekemiseen, niiden tukemiseen sekä hallintaan. Koettiin että päätökset voivat esimerkiksi unohtua tehdä, koska niistä ei ole minkään näköistä kirjaa, että mitä pitää olla mihinkin mennessä päätettynä. Tämä ajaa pikaisiin päätöksiin, jotka eivät aina palvele hanketta optimaalisimmalla tavalla. Myös päätöksenteon vaikutukseen kaivattiin helpottavia työkaluja. Eräs haastateltava sanoi että: ”Pitäisi ihan selkeästi nähdän jonkun suunnitteluohjelman kautta esim että mihin kaikkeen joku kanavan koon kasvatus tai sähkökeskuksen siirto vaikuttaa, niin osattaisiin punnita onko niitä päätöksiä ja niiden seurauksia”

Monessa haastattelussa koettiin myös että tietojen integraatio on heikolla tasolla tällä hetkellä ja se kaipaisi kehitystä. Moni kuitekin sanoi että tässäkin asiassa on tapahtunut huimaa kehitystä, esimerkiksi revitin käyttöönoton sekä ylipäätään tietomallipohjaisen suunnittelun seurauksena. Kuitenkin aikataulut ovat usein omia irrallisia tiedostojaan ja niiden integrointiin moni kaipasi parempia työkaluja.

c) *Tietomalli*
   i) *Onko nykyisten tietomallin sisältö riittävä?*
   ii) *Kenen tehtävä on mielestäsi huolehtia tietomallin oikeista määristä ja massoista?*

Monien haastateltavien mielestä tietomallin sisältä koettiin riittäväksi, mutta sen hyödyntämisessä koettiin puutteita. Useat sanoivat että meillä on käytössämme todella hyviä työkaluja, ja tietomalli kuuluu niihin, mutta sen käytössä kohdataan selkeää alihyödyntämistä varsinkin työmaan puolelta.
Tietomallin oikeat määrät sekä massa aiheuttivat haastateltavissa hieman ristiriitaa. Osa ei ottanut kantaa kysymykseen, osa koki sen sopimusteknisenä asiana ja osan mielestä suunnittelija vastaa suunnitelmistaan.

3.1.3 Kehitys

Haastatteluiden lopuksi keskusteltiin osan haastateltavien kanssa kehityksestä. Valtaosan kanssa tähän ei jäänyt aikaa. Kehitys osa-alueella keskusteltiin paljon myös samoja asioita, joita oli ilmenny haastattelun edetessä. Esimerkiksi eräs haastateltava mainitsi, että alan yleinen kunnioitus täytyy kehittyä, mutta se edellyttää myös osaamisen kehitystä ja yhteistyön kasvua.

”Raksalla ei kunnioiteta suunnitelmia lainkaan vaan sovelletaan liikaa koska suunnitelmat on paskoja.” -B3

Yhteistyön kehitykseen ottivat kantaa myös haastateltavat D1 sekä E1.

”Keskusteluyhteys täytyy kehittyä suunnittelun ja tuotannon kesken.” -D1 & E1

Muutoin kehitykseen ei jäänyt valitettavasti enempää aikaa haastateltavien kanssa.Seuraavassa kappaleesa käsittellään tutkimusmateriaalin pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä.

4 Johtopäätökset

Talotekninen suunnitteluprosessi koostuu useista eri hankkeen vaiheista ja pitää sisällään lukuisia eri asioita. Kirjallisuuskatsauksen avulla pohjustettiin rakennushankkeen kulkua sekä sen aikaista taloteknistä suunnittelua, keskittyen eniten sähkösuunnitteluun.

Kirjallisuuskatsauksen aikana huomasin, että itse TATE-suunnittelusta ja sen osallistuttamisesta tahtituotantohankkeiseiin, löytyi erittäin vähän referoitavaa sisältöä sekä tutkimusta. Kirjallisuuskatsauksen aikana löydetyt tukimukset pohjautuivat vahvasti työmaa-aikatauluihin sekä kuinka työmaa-aikatauluja on soviteltu suunnitelmien mukaan. En kuitenkaan onnistunut löytämään tutkimusta tai tieteellistä julkaisua, jossa TATE-suunnittelua olisi erinäisesti tehty teknisesti eri tavalla, koska tehdään tahtituotantoa. Tutkimukset ja tieteelliset julkaisut keskittyivät pääosin tahtiaikataulujen luontiin, rakentamisvaiheen virtautukseen sekä rakentamisvaiheen koordinointiin.

Molemmissa, kirjallisuuskatsauksessa sekä haasatttelututkimuksessa ilmeni, että TATE-suunnittelu pitäisi ottaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa mukaan hankkeeseen. Hankkeen alussa usein tehdään suurempia linjauksia toteutusmuotoihin ja hankkeen aikatauluisin liittyen, joten tuntuu absurdilta ajatukselta, että TATE-suunnittelua ei osallistuteta tässä vaiheesssa mukaan automaattisesti. TATE:n osallistuttaminen katsotaan tapauskohtaisesti hankesuunnitteluvaiheessa, ja jos se koetaan tarpeellisena niin se otetaan mukaan. Ei kuitenkaan aina. TATE-suunnittelu pitää sisällään tulevan rakennuksen tekniset järjestelmät, jotka palvelevat rakennusta läpi sen koko elinkaaren, joten TATE suunnittelun kannanotto hankesuunnitteluvaiheessa voisi olla hyödyksi hankkeelle.

Haastattelujen aikana moni haastateltava toi esille suunnittelun suunnittelun puutteen, jonka myös itse tunnistan ongelmana. Suunnittelun suunnittelemattomuus luo suunnittelijoille häilyviä aikatauluja sekä epävarmuutta hankkeen tilannekuvaan. Tällä hetkellä tyypillinen suunnittelun suunnittelu on esimerkiksi 18 viikkoa pitkä uimarata Last Plannerissa, joka on identifoitu sanalla ”sähkösuunnittelu”. On sanomattakin selvää, että kyseinen aikataulu, jos sitä voi edes aikatauluksi kutsua, luo suunnittelijoille hankaluuksia hahmottaa suunnittelun kokonaiskuvaa sekä hankkeen yleistä etenemistä. Tämän lisäksi yllä kuvattu tapa aikatauluttaa TATE-suunniittelua luo suunnittelun tilaajalle epätietoisuutta suunnitelmian vaiheista ja niiden valmistumisesta. Tarkempi suunnittelun suunnittelu ja TATE-suunnittelun

yksityiskohtaisempi aikataulutus toisi lisää läpinäkyvyyttä suunnittelun etenemiselle, sekä se loisi suunnittelijoille tarkempaa tilannekuvaa omista meneillä olevista töistä. Tämä helpottaisi samalla suunnittelijoiden päivän työtehtävien priorisointia sekä aiktaulutusta.

Eräissä haastatteluissa keskusteltiin myös suunnitteluprosessin ja suunnitelmien nykytilasta. Osa haastateltavista kokivat, että suunnittelijoilta puuttuu tietynlainen käsitys suunnitelmien toteutuskelpoisuudesta ja suunnittelualan oliis syytä ottaa mallia rakennettavasta teollisuudesta, jossa DFA (Design for assembly) on suuri ohjuri tuotteiden kehitykselle. Olen haastateltavien kanssa samaa mieltä asiasta. Suunnittelualalla täytyy alkaa miettimään entistä enemmän suunnitelmien toteutuskelpoisuutta ja sitä, kuinka rakennus oikeasti valmistuu. Suunnittelualalla täytyy kyetä etsimään optimaalisimmat ratkaisut rakennettavuuden kannalta, kuitenkin tinkimättä tilaajan vaatimuksista ja rakennuksen laadusta. Tämä kuitenkin vaatii suunnittelijoilta aiempaa laajempaa asuantuntijuutta rakennushankkeista itsessään, rakentamisesta sekä laajempaa osaamista erilaisista teknisistä järjestelmistä.

Muutamassa haastattelussa nousi esille myös suunnitelmien maksajataho ja että tilaako suunnitelmat aina oikea taho. Haastateltavien ajatukset siitä, että pitäisikö suunnitelmat maksatuttaa urakoitsijoilla on mielestäni aiheellinen. Suunnitelmia tehdään kuitenkin palvelemaan kyseisen suunnitelman toteuttajaa, eli urakoitsijaa. Olisi siis vähintäänkin järkevää, että se joka suunnitelmia hyödyntää, on myös niiden maksaja sekä tilaajataho. Tällä tavoin voitaisiin kehittää suunnitelmia paremmin palvelemaan työmaata. Eräs haastatetava totesi osuvasti: ”Suunnittelijat kyllä mielellään jeesaisi työmaata, mutta siitä ei ole kukaan valmis maksamaan.” Jos urakoitsijat maksaisivat suunnitelmista, heillä olisi myös intressit saada sellaisia suunnitelmia, jotka palvelevat heidän työtään. Tällä tavoin urakoinnin aikana olevat improvisoinnit sekä urakkaan käytetty aika voisi pienentyä. Tämä myös toisi suunnittelijoita sekä urakoitsijoita tiiviimpään yhteistyöhön, joka lisäisi molemminsuuntaista tietoisuutta niin urakoinnista, kuin suunnittelusta. Myös suunnitelmien yhteinen kehittäminen nousisi kuvaan, kun itressit ovat samat.

Kun siirrytään itse tekniseen suunnitteluun, niin suurimpana ongelmana koettiin TATE-palvelualueiden suunnittelu. Tämä koettiin ongelmana nimenomaan sähkösuunnittelun osalta. Jos sähkön keskualuerajat poikkeavat käytössa olevista tahtialueista, joudutaan keskuksilta tulevia kaapelointeja vetämään tahtialueiden läpi. Tämä haitalueiden lävistys riitelee tahtituotannon menetelmiä vastaan, jossa tahtialueet suoritetaan lusta loppuun valmiiksi. Keskusalueiden suunnittelu tahtialueittain palvelee myös toimintakokeita

rakennusvaiheen lopussa. Jokainen oma keskuksen palvelualue voidaan ottaa käyttöön ns ”omanaan” ja näin ollen rakennuksen käyttönotto voidaan suorittaa myös vaiheittain ja näin ollen sovitettua tahtiin.

Haastattelujen aikana tunnistettiin monia ongelmia, jotka kaipaavat kehitystä sekä muutosta nykyisiin toimintamalleihimme sekä menetelmiimme. Myös itse teknisen suunnittelun osalta tunnistettiin merkittävä pullonkaula tahtituotannon onnistumiselle.

4.1 Tutkimustulosten peilaus kirjallisuuteen

Tutkimustulokset seurasivat pitkälti kirjallisuuskatsauksesta poimittuja asioita. Kirjallisuuskatsauksen aikana ei kuitenkaan löytynyt paljon tutkimusmateriaali, nimenomaan koskien teknistä suunnittelua. Haastattelujen aikana ilmeni useita työkaluja, joita käsiteltiin kirjallisuuskatsauksen aikana, esimerkiksi monet haastateltavat mainitsivat Last Plannerin käytön työmaalla. Myös JIT-käsite oli monille konkreettisesti tuttu.

Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin tahtituotantoa yleisellä tasolla. Katsauksen aikana avatiin tahtituotannon kahta erilaista mallia. Monet haastatteluista käydyistä esimerkeistä noudattivat kalifornian mallia, mukaillen kuutta vaihetta.

4.2 Tahtituotannon vaatimukset TATE-suunnittelulle

Kirjallisuuskatsauksesta sekä tutkimuksesta selvisi, että monet tahtituotantohankkeet tehdään ”normaalilla” TATE-suunnittelulla. Tämä hetkinen tahtituotannon tutkimus sekä eri pilotit keskittyävät itse tuotannon suunnitteluun, joka on tuotantotapaa uudistaessa luonnollinen ensimmäinen kehityskohde. Dlouhy ym. 2018a, Binninger ym. 2018, Frandson ja Tommelein 2016 ovat kuitenkin havaineet, että ennen tuotantoa tehdyt päätökset ovat usein tuotannon esteiden juurisyy. Tahdin osalta suunnittelussa keskitytään saamaan informaatio virtaamaan, sillä suunnittelutyön iteratiivisen luonteen vuoksi tarkemman tahdistuksen luominen pelätään johtavan epäideaaleihin ratkaisuihin. (Lehtovaara 2021) Oleellisena osana tahtisuunnittelussa pidetään oman työn hyvää suunnittelua sekä johtamista. Toimeksiantojen oikeanlainen aikataulutu sekä resursointi, sisäinen päivittäisjohtaminen ja erilaistet korjaavat toienpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi nähdään keinona tahdistaa suunnittelua. (Kulta 2018) Useissa hankkeissa on kuitenkin

havaittu, että parhaisiin lopputuloksiin voidaan päästä kehittämällä tuotantoa valmistelevien sekä toteuttavien toimintojen yhteispeliä. (Lehtovaara 2021)

Yllä mainitut keinot tahtisuunnitteluun ja tahtihankkeisiin nousi esille myös useissa haastattelutukimuksen haastatteuissa. Moni haastateltava mainitsi myös, että usein suunnittelijat eivät ole edes tietoisia tahtituotannosta hankkeessa. Tämä nähtiin ongelmana, kun tahtihankkeessa edettiin rakennusvaiheeseen, jossa käytössä päisi olla toteutuskelpoisi suunnitelmia. Tahtituotano asettaa mielestäni edellytyksiä myös itse tekniseen suunnitteluun. Vaikka oma työ olisi yhteensovitettu tahdin kanssa aikatauluun ja suunniteltu tarkasti, ei se auta asiaa, jos tekniset ratkaisut eivät sovellu tahtituotantoon. Mielestäni suunnittelijoille ja itse TATE-suunnittelulle täytyy luoda raamit, jotka tulee täyttyä tahtihankkeissa onnistuneeseen lopputulokseen tähdätessä.

Useassa haastattelussa nousi esille ongelmana, että suunnitellut tahtialueet ja taloteknisten järjestelmien palvelualueet eivät olleet linjassa toistensa kanssa. Tämä aiheutti rakennusvaiheessa ongelmia, kun tahtialueiden välillä jouduttiin paljon hyppimään, jotta TATE-järjestelmät saatiin toimimaan. Tahtialueiden sekä taloteknisten järjestelmien palvelualueiden yhteensovitus on ensimmäinen ja suurin vaatimus, joka TATE-suunnittelulle asetetaan. Ilman tätä yhteensovitusta ja ymmärrystä, miksi kyseiset alueet kulkevat käsikädessä, ei voida onnistuneesti suunnitella tahtiin. Vartevan vuonna 2021, tekemä tutkimus osoittaa, että onnistunut taloteknisten järjestelmien suunnittelu sekä toteutus ovat merkittävät tekijät rakennushankkeen onnistumiselle. Tahtiatuotantoa varten taloteknisten järjestelmien valinta ja niiden asiantuntijuus korostuu aiempaa enemmän.

Tahtituotannon onnistuminen vaatii myös tiivistä yhteistyötä eri tahojen kanssa, eikä talotekninen suunnittelu ole poikkeus. Onnistuneeseen tahtisuunnitteluun suunnittelijoiden täytyy pystyä sitoutumaan tiiviiseen yhteistyöhön työmaan kanssa. Tuleviin ongelmiin sekä mahdollisiin muutoksiin reagointi tulee tapahtua nopeasti, jotta niillä ei ole merkittävää vaikutusta tahtituotantoon. Lehtovaara (2019) kiteyttää: ”Totutussa rakennustuotannossa yleisaikataulun ja valmistelevan aikataulun suunnittelu on melko suuripiirteistä.”

Viimeisenä, muttei missään nimessä vähäisimpänä, vaatiumksena voidaan pitää suunnittelua palvelevien lähtötietojen saamista aikataulun puitteissa. Aiemmat tutkimukset sekä haastattelutukimukseni osoittivat, että

puutteelliset tai väärät lähtötiedot ovat ongelma rakennusalalla. Tahtituotantohankkeissa ei ole aikaa odotella viikkokausia lähtötietoja, vaan rakentaminen täytyy kyetä aloittamaan suunnitellussa aikataulussa. Jos talotekniset suunnitelmat eivät valmistu ajoissa puuttellisten tai virheellisten lähtötietojen vuoksi, rakentamisen aloitusta voidaan joutua lykkäämään.

Tahtituotantoa varten täytyy kyetä suunnittelmaan aiemmasta poiketen eri tavalla, jos tahtituotannosta halutaan ottaa mahdollisimman paljon hyötyä. Niin sanottu yhtiestoiminnallinen tahti, jossa kaikki tuotantoon liittyvät osapuolet, myös epäsuorasti liittyvät, ovat mukana tahdin valmistelussa ja toteutuksessa on tulevaisuuden tahtituotannon muoto ja siihen on syytä alkaa valmistautua jo nyt. Tätä varten diplomityön aikana luotiin TATE-suunnittelijalle tiekartta, jonka avulla hän kykenee seuraamaan tahtihankkeiden erilaisten virstanpylväiden etenemistä ja tunnistaa omat vastuunsa kyseisellä alueella. Tahtituotannon vaatimuksia TATE-suunnittelulle on hahmoteltu karkealla tasolla liitteen 2- Tahtituotannon vaatimukset TATE-suunnittelulle kartassa. Seuraavassa kappaleessa esitellään työn yhteenveto sekä esitetään mahdolliset jatkotutkimusmahdollisuudet.

5 Yhteenveto ja jatkotutkimusmahdollisuudet

Tutkimus kartoitti taloteknisen suunnittelun nykytilaa sekä sen valmiutta tahtisuunnitteluun. Tutkimuksen aikana havaittiin useita erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat tahtituotantohankkeiden onnistumiseen, niissä menestymiseen sekä suoriutumiseen. Työn kautta tunnistettiin erilaisia tarpeita taloteknisen suunnittelun osalta, jotka ovat avaintekijöitä tahtituotantohankkeissa. Näiden havaintojen avulla kyettiin luomaan kokonaiskuva kuinka taloteknistä suunnitteluprosessia kannattaa lähteä kehittämään tahtituotantohankkeita ajatellen.

Suurimpana löydöksenä voidaan pitää seikkaa, että TATE-suunnittelun ei koettu olevan este eikä suuri hidaste tahtituotanohankkeille. Tämä ei kuitenkaan poista tarvetta kehittää TATE-suunnittelua paremmin osaksi tahtituotantohankkeita ja edistää suunnittelijoiden tietotaitoa tahtituotantohankkeisiin liittyen. Suunnittelijoiden laajempi osaaminen tahtituotannosta sekä siihen liittyvät suunnittelun laajempi suunnittelu, koettiin haasatttelututkimuksen aikana hyödylliseksi. Kirjallisuuskatsauksen aina löydettiin myös tukevaa tietoa siihen, että suunnittelijoita olisi syytä osallistuttaa hankkeeseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tätä asiaa tukivat myös haastattelututkimuksen aikana tehdyt löydökset.

Tutkimus loi TATE-suunnittelulle edellytyksiä kehittää toimintaa kohti sujuvempia tahtituotantohankkeita. Tutkimuksen aikana löydetyt seikat TATE-suunnitteluun auttaa alan toimijoita kehittämään omaa toimintaasa tahtituotantohankkeissa ja suunnittelijat osaavat paremmin tunnistaa omia vastuitaan sekä huomioitavia seikkoja tahtituotantoon liittyen.

Tutkimuksen aikan nousi esille uusia jatkotutkimusmahdollisuuksia. Pääasiallinen jatkotutkimusaihe koskee taloteknisen suunnitteluprosessin pilkkomista sopiviin eräkokoihin.

1) **Taloteknisen suunnittelun optimiaalisen eräkoon selvittäminen:** Jatkotutkimuksen tavoitteena on tunnistaa taloteknisestä suunnitteluprosessista erilaisia vaiheita, jotka voidaan pilkkoa pienempiin suurudeltaan samankokoisiin osiin. Jatkotutkimuksen avulla TATE-suunnittelua voitaisiin jäsennellä paremmin tahtituotannon mukaisesti ja tämä auttaisi myös tahtisuunnittelun aikataulutuksessa sekä resurssienhallinnassa.

Tämän lisäksi löydettiin myös seuraavat sekundääriset jatkotutkimusmahdollisuudet:

TATE-palvelualueiden rajoitteet: Yksi tutkimuksessa havaittu haaste koski TATE-palvelueiden suunnittelua. Jatkotutkimuksessa erilaisia palvelualueiden järjestelmärajoitteita sekä rajoja täytyisi tutkia ja etsiä ratkaisuja esimerkisi palo, sekä kulunvalvonta palveluaiden suuriin kokoihin.

Taloteknisen tahtisuunnitteluaikataulun yhteensovitus työmaa-aikataulun kanssa: Tutkimuksen aikana havaittiin, että suunnittelua täytyy suunnitella paremmin ja yhteensovittaa se työmaa-aikataulun kanssa. Olisi syytä tutkia kuinka työmää-aiaktaulu ja suunnitteluaikataulu on mahdollista yhteensovittaa palvelemaan tahtitutoantoa parhaalla mahdollisella tavalla

6 Lähteet

Aziz, R.; Hafez, S. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. Alexandria Engineering Journal, 52 (4), s. 679-695

Ballard, G. (2000). Positive vs. Negative Iteration in Design. Proceedings for the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Brighton, UK

Ballard, G., Hammond, J. & Nickerson, R. (2010). Production Control Principles. In: Proc. 17th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan

Ballard, G., Tommelein, I., Koskela, L. & Howell, G. (2002). Lean construction tools and techniques. Teoksessa: Best, R. & de Valence, G. (toim.) Design and construction: Building in Value, Butterworth-Heineman, Oxford, s. 227-255. ISBN: 978-113641166- 3

Chakravorty, S. S. (2009). Process improvement: using Toyota's A3 reports. Quality Management Journal, 16 (4), s. 7-26

DIAL GmbH. For Users [Verkkosivu]. [Viitattu 09.06.2022]. Saatavilla: https://www.dialux.com/en-GB/dialux

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Three-Level Method of Takt Planning and Takt Control – A New Approach for Designing Production System in Construction. Proceedings (IGLC 24). Boston, MA, USA

Ennova. (2011). Agile and Lean for Construction. Engineering Innovation

Euroopan yhteisön direktiivi 94/9/EY

Euroopan yhteisön direktiivi 1999/92/EY

Frandson, A., Berghede, K., Tommelein, I.D. (2013). Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding. s.527-536

Frandson, A. & Tommelein, I. (2016). Takt Time Planning of Interiors on a Pre-cast Hospital Project. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 6. 143-152

Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J. & Sterlike, S. (2016). History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 1. 53-62

Hamzeh, F. Ballard, G. Tommelein, T. (2009). Is the last planner system applicable to design? A case study. Proceedings for the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Taipei, Taiwan. Saatavissa: http://www.prosjektnorge.no/files/pages/364/hamzeh-ballard-tommelein-2009-is-the-last-planner-system-applicable-to-design-a-case-study-ballard-et-al-2009.pdf

Granlund (2022) . [Verkkosivu]. [Viitattu 17.05.2022]. https://www.granlund.fi/meista/

Koskela, L. (1992). Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report No.72. CIFE. Stanford University. CA.

Koskela, L., Huovila, P., & Leinonen, J. (2002). Design management in building construction: From theory to practice. Journal of Construction Research.

Kulta, I. (2018). Implementing takt planning in structural design. Diplomityö, Rakennustekniikan laboratorio, Tampereen teknillinen yliopisto.

Lehtovaara, J. Seppänen, O. Heinonen, A.(2021). Building 2030 - Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.07.2022]. Saatavilla:https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building_2030_tahti_suunnittelussa_ja_tuotannossa_loppuraportti_22.1.201.pdf

Liker, Jeffrey K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-139231-0.

Linck, J. & Cochran, D. S. (1999). The importance of takt time in manufacturing system design (No. 1999-01-1635). SAE Technical Paper

Linnik, M., Berghede, K. & Ballard, G. (2013). An Experiment in Takt Time Planning Applied to Non-Repetitive Work. Proceedings IGLC-21, July 2013. Fortaleza, Brazil. s. 609-618.

Lättilä, H. (2017). YIT:n tuottavuusloikka tuo tuloksia – läpimenoaika puolittui asumiskohteen sisätöissä. Rakennuslehti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 05.06.2022]. Saatavilla: https://www.rakennuslehti.fi/2017/12/yitn-tuottavuusloikka-tuo-tuloksialapimenoaika-puolittui-asumiskohteen-sisatoissa/

Macomber, H., Howell, G. & Barberio, J. (2012). Target-Value Design: Nine Foundational and Six Advanced Practices For Delivering Surprising Client Value. Lean Project Consulting, Inc. [Verkkodokumentti]. [viitattu 14.6.2022]. Saatavissa: https://leanconstruction.org/media/learning_laboratory/Target_Value_Design/Target%2 0Value%20Design%20%5BLPC%5D.pdf

Merikallio, L. (2015). Tilaajan tavotteisiin suunnittelu – Target value design (TVD). LCI Finland. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.06.2022]. Saatavilla: http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tilaajan-tavoitteisiin-suunnittelu-target-value-design-tvd/

Monsberger M. & Fruhwirth, M. (2018). Die Gebäudetechnik im österreichischen Bauprozess.

Rakennustieto Oy. (12. 2017). Taloteknisten suunnittelun tehtäväluettelo RT 10-11290. Noudettu osoitteesta: https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2010-11290?navref=Search

Rakennustieto Oy. (12. 2017). Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu RT 10-11224. Noudettu osoitteesta: https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2010-11224?navref=Search&page=1

Saari, A., Keskiniva, K. & Junnonen, J-M. (2018). Virtauttaminen rakennushankkeissa. Teoksessa: Haapasalo H., Aaltonen K., Kähkönen K. & Saari A. (toim.) Rakentamisen Integraatiomekanismit. Tuotantotalouden tutkimusraportteja. Oulun yliopisto [verkkodokumentti] S. 32-45. ISBN 978-952-62-2160-1. [viitattu 5.6.2022]. Saatavilla: http://lci.fi/wpcontent/uploads/2018/12/RAIN-hankkeen-loppuraportti.pdf

Sacks, R. (2016). What constitutes good production flow in construction? Construction Management and Economics, 34:9, 641-656

Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. Lean Construction Journal, 2010, 43–54

Soto, L. (2007). Construction Design as a Process for Flow: Applying Lean Principles to Construction Design, Master of Science, Massachusetts institute of Technology.

Tommelein, I. D. (2017). Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work. In: LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the IGLC. Herkalion, Greece. s. 745-752.

Uusitalo, P., Seppänen, O., Peltokorpi, A. & Olivieri, H. (2019b). Solving design management problems using lean design management: the role of trust. Engineering, Construction and Architectural Management, 26 (7), S. 1387-1405

Varteva, K. (2021). Talotekniikan prosessin kehittäminen rakennushankkeen johtamisessa.

Peltokorpi, A., Varteva, K. & Seppänen, O. (2021). Taloteknisten järjestelmien rooli rakennushankkeen prosessissa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.07.2022]. Saatavilla: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2021-12/TATE-jarjestelmat-loppuraportti-2021-12-02.pdf

Yassine, T., Bacha M., Fayek, F. & Hamzeh, F. (2014). Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow. Proceedings IGLC-22. June 2014. Oslo, Norway.

Liiteluettelo

Liite 1. Teemahaastatteluejen haastattelurunko. 1 sivua.

Liite 2. Tahtituotannon vaatimukset TATE-suunnittelulle. 1 sivua.

Liite 1. Teemahaastatteluejen haastattelurunko.

Kerro lyhyesti itsestäsi ja taustastasi

1. Haasteet
    - Onko sinulla omakohtaisia kokemuksia hankkeista, joissa TATE-suunnittelu on ollut esteenä/hidastanut tahtituotantoa työmaalla tai jossain hankkeen vaiheessa, kertoisitko niistä?
        - Onko sähkösuunnittelulla merkittävää osaa tässä?

    - Minkälaisia haasteita sinun mielestäsi voisi olla/on tällä hetkellä TATE-suunnittelussa, että työmaa ei kykene tahtituotantoon?
        - Onko jokin näistä yksinään sähkösuunnittelua koskeva ongelma?

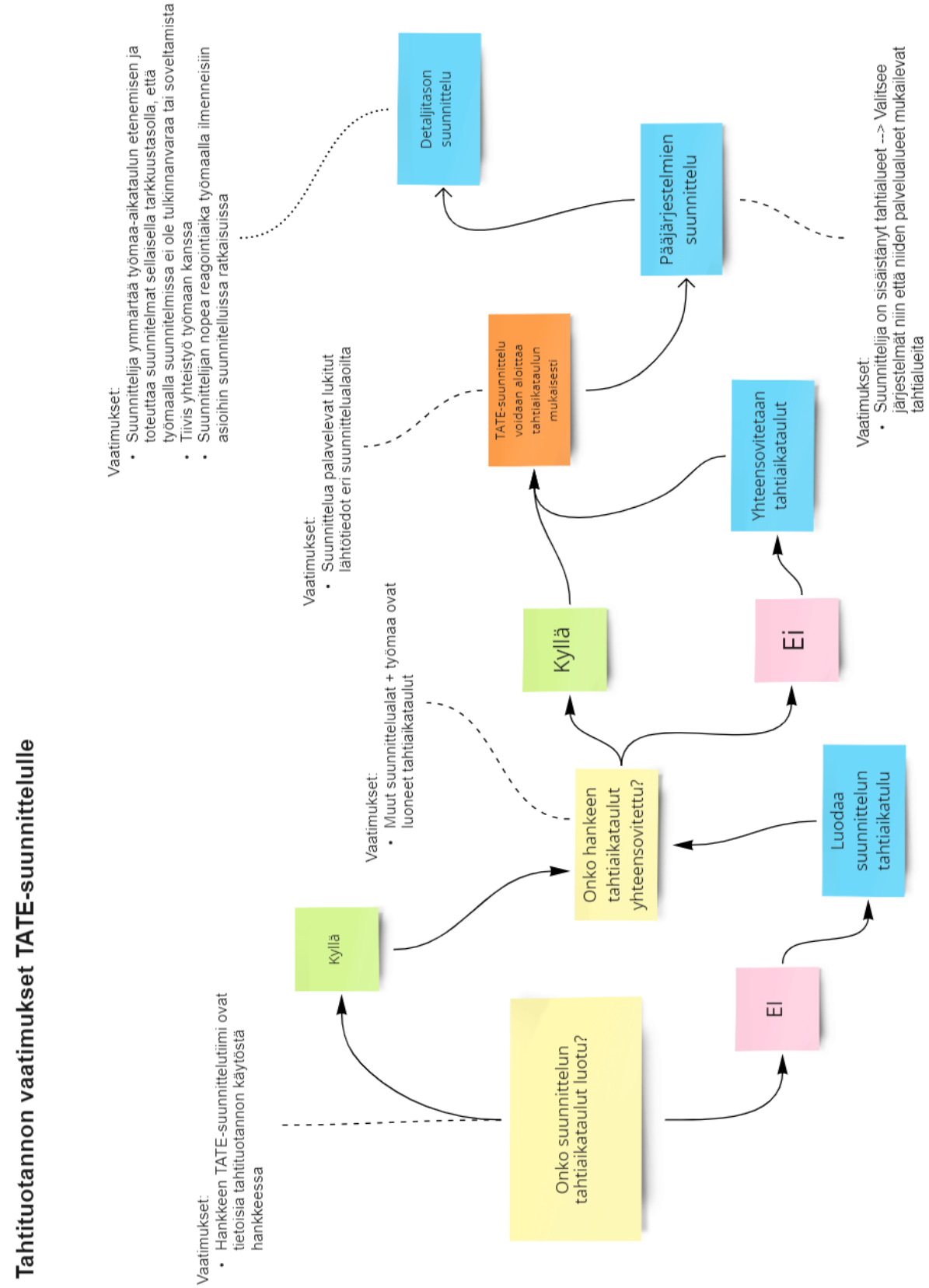
    - Minkälaisia haasteita sinun mielestäsi voisi olla tulevaisuudessa TATE-suunnittelussa, että työmaa ei kykene tahtituotantoon?
        - Onko jokin näistä yksinään sähkösuunnittelua koskeva ongelma?

2. Prosessit
    - Yhteistyö ja toiminta
        - Onko nykyisissä toimintamalleissa ongelmia? Esimerkiksi työmaan, suunnittelun tai hankkeen yleiset toimintamallit
            1. Näetkö että tahtituotantoa varten täytyisi kehittää uusia, erilaisia toimintamalleja?

    - Ymmärrys
        - Koetko että hankkeissa ymmärretään riittävästi päätösten vaikutuksia toisiinsa?
            1. Ymmärretäänkö hankkeissa aina mitä ja mihin aikaan päätetään?
            2. Täytyisikö päätöksentekotapoja ja aikatauluja muuttaa koska tehdään tahtituotantoa?

    - Työkalut
        - Tukeeko nykyiset työkalut päämäärää? Esimerkiksi suunnitteluohjelmat, Tietomallit, resursointi ja aikataulutustyökalut
        - Minkälaisia haasteita olet kohdannut työkalujen osalta tahtituotannossa?
        - Tietomalli
            1. Onko nykyisten tietomallin sisältö riittävä?
            2. Kenen tehtävä on mielestäsi huolehtia tietomallin oikeista määristä ja massoista?

3. Kehitys (Jos aikaa)
    - Kuinka mielestäsi suunnitteluprosesseja tulisi kehittää tai muuttaa, jotta taloteknisten järjestelmien suunnittelu saataisiin tukemaan hankkeen tahtituotantoa?

    - Kuinka mielestäsi työkaluja tulisi kehittää tai muuttaa, jotta taloteknisten järjestelmien suunnittelu saataisiin tukemaan hankkeen tahtituotantoa?

Liite 2. Tahtituotannon vaatimukset TATE-suunnittelulle.