



Aino Rajalaakso

Rakenne- ja elementtisuunnittelun integrointi ja tietomallipohjaisen suunnitteluprosessin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö 7.3.2024

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|--|
| Tekijä: | Aino Rajalaakso |
| Otsikko: | Rakenne- ja elementtisuunnittelun integrointi ja tietomallipohjaisen suunnitteluprosessin kehittäminen |
| Sivumäärä: | 37 sivua + 2 liitettä |
| Aika: | 7.3.2024 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Rakennustekniikka |
| Ammatillinen pääaine: | Rakennetekniikka |
| Ohjaajat: | Suunnittelupäällikkö, Juho Akola Lehtori, Anssi Knuutila |

Opinnäytetyössä selvitettiin Ramboll Finland Oy:n rakenne- ja elementtisuunnittelun kulkua pääasiassa tietomallipohjaisen suunnittelun näkökulmasta. Tavoitteena oli verrata prosessin toteutumista suhteessa yleiseen ohjeistukseen sekä selvittää organisaation sisäisiä käytäntöjä sekä näkemyksiä suunnitteluprosessiin liittyvistä haasteista. Taustalla vaikutti ajatus siitä, miten aiempien suunnitteluvaiheiden onnistuminen näkyy toteutussuunnitteluvaiheen elementtisuunnitelmissa ja kuinka toteutussuunnitelmien korjaamistarvetta voitaisiin eliminoida pois suunnitteluprosessista.

Työn tuloksena saatiin kerättyä kattava selvitys suunnittelutyön kulusta, toteutumisesta ja mahdollisista haasteista. Tämän lisäksi työ tarjosi myös konkreettisia esimerkkejä siitä, minkälaisia asioita voidaan tulevaisuudessa lähteä kehittämään suunnitteluprosessin parantamiseksi.

Kehittämistyökaluna työssä haluttiin esitellä maailmanlaajuisesti levinnyt johtamisoppi Lean, jonka arvon tuottoon ja hukan eliminointiin perustuva filosofia ja menetelmät soveltuvat myös hyvin rakennusosalalle ja suunnitteluun. Lean -periaatteiden mukaisesti opinnäytetyössä selvitettiin suunnitteluprosessien sisältämää hukkaa ja tuloksena syntyi myös kehitystyökalu, riippuvuusmatriisi.

Avainsanat: rakennesuunnittelu, elementtisuunnittelu, tietomallintaminen, Lean

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Aino Rajalaakso
Title: Integration of Structural and Element Design and Development of BIM-based Design Process
Number of Pages: 37 pages + 2 appendices
Date: 7 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Juho Akola, Design Manager
Anssi Knuutila, Senior Lecturer

The graduate study examined the course of Ramboll Finland Oy's structural and element design mainly from the perspective of BIM-based design. The aim was to compare the implementation of the process in relation to the general guidelines and to chart the organisation's internal practices and views on the challenges related to the design process. The idea behind this was how the success of previous design phases is reflected in the element designs of the implementation phase and how the need to correct the implementation plans could be eliminated from the design process.

As a result of the study, a comprehensive report on the progress, implementation and potential challenges of the design work was collected. In addition to this, the work also provided concrete examples of what kinds of factors can be developed in the future to improve the design process.

As a development tool, the aim was to present the globally spread management doctrine Lean, whose philosophy and methods based on value creation and elimination of waste are also well suited to the construction industry and design. In accordance with the Lean principles, the study investigated the waste contained in design processes, and the result was also a development tool, the dependency matrix.

Keywords: structural design, element design, BIM, Lean

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Projektin tausta | 1 |
| 1.2 | Projektin tavoitteet | 1 |
| 1.3 | Aineisto, rakenne ja tutkimusmenetelmät | 2 |
| 1.4 | Projektin rajaukset | 2 |
| 2 | Talonrakennushanke | 3 |
| 3 | Elementtirunkoisen rakennuksen suunnitteluprosessit ja mallintava suunnittelu | 5 |
| 3.1 | Rakennesuunnittelun prosessi | 5 |
| 3.2 | Elementtisuunnitteluprosessi | 8 |
| 3.3 | Tietomallipohjainen suunnittelu | 10 |
| 3.3.1 | Tietomallinnuksen aloituspalaveri | 12 |
| 4 | Tietomallinnusta koskevat ohjeet | 13 |
| 4.1 | Yleiset tietomallivaatimukset 2012 | 13 |
| 4.2 | Elementtisuunnittelun mallinnusohje BEC2012 | 14 |
| 4.3 | Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18 | 15 |
| 4.4 | Tietomallin suunnitteluvaatimukset eri suunnitteluvaiheissa | 15 |
| 4.4.1 | Yleissuunnittelu | 17 |
| 4.4.2 | Hankintoja palveleva suunnittelu | 17 |
| 4.4.3 | Toteutussuunnittelu | 18 |
| 5 | Lean-filosofia | 19 |
| 5.1 | Lean-periaatteet | 19 |
| 5.1.1 | Arvon tuotto ja hukan eliminointi | 20 |
| 5.2 | Lean-ajattelun soveltaminen rakennesuunnitteluprosessiin | 21 |
| 5.3 | Lean-työkaluja suunnitteluprosessien kehittämiseen | 23 |
| 5.3.1 | Juurisyyanalyysi 5 x miksi | 24 |
| 5.3.2 | Riippuvuusmatriisi | 25 |
| 6 | Yrityksen suunnitteluprosessin nykytila ja kehitysehdotukset | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1 | Yleissuunnittelu | 26 |
| 6.2 | Hankintoja palveleva suunnittelu | 27 |
| 6.3 | Toteutussuunnittelu | 27 |
| 6.4 | Suunnitteluprosessin haasteet | 28 |
| 6.4.1 | Lähtötiedot ja tiedonhallinta | 28 |
| 6.4.2 | Osaaminen ja johtaminen | 29 |
| 6.4.3 | Ajanhallinta ja toteutussuunnitelmien korjaamistarve | 29 |
| 6.5 | Suunnitteluprosessin kehittäminen | 30 |
| 6.5.1 | Lähtötiedot ja tiedonhallinta | 30 |
| 6.5.2 | Osaaminen ja johtaminen | 31 |
| 6.5.3 | Ajanhallinta ja toteutussuunnitelmien korjaamistarve | 32 |
| 7 | Tulokset ja johtopäätökset | 33 |
| 8 | Yhteenveto ja pohdinta | 34 |
| | Lähteet | 36 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1: Kyselylomake | |
| | Liite 2: Riippuvuusmatriisin käyttöohje (Vain työn tilaajan käyttöön) | |

Lyhenteet

BEC: *Betonelementti-CAD.*

BIM: *Building Information Model.*

CAD: *Computer-aided Design.*

IFC: *Industrial Foundation Classes.*

LVI: *Lämpö, vesi ja ilmanvaihto.*

RIL: *Rakennusinsinööriliitto.*

TATE: *Talotekniikka.*

UDA: *User Defined Attributes.*

YTV 2012: *Yleiset tietomallivaatimukset 2012.*

1 Johdanto

Projektin tilaajana toimi Ramboll Finland Oy, joka on kansainvälinen suunnittelu- ja konsulttialan yritys. Säätiömisteinen yritys työllistää globaalisti noin 18 000 henkilöä ja Suomessaakin toimii maanlaajuisesti 2500 asiantuntijaa. Rambollin palveluihin kuuluu ratkaisut kaupunkien, infrastruktuurin, liikenteen, ympäristön ja rakennusten suunnittelussa, rakennuttamisessa, rakentamisessa ja ylläpidossa. [1.]

1.1 Projektin tausta

Opinnäytetyön taustalla vaikuttaa halu tarkastella nykyisten rakenne- ja elementtisuunnitteluprosessien välistä työnjakoa ja suunnitteluprosessin aikana ilmeneviä solmukohtia. Lähtökohtana on etenkin urakkalaskenta- eli hankintavaiheen tietomallin eriateinen mallinnustaso ja sen hyödyntäminen toteutussuunnitteluvaiheessa elementtisuunnittelussa. Toisin sanoen taustalla on halu selvittää, miten nykyisellään aiempien suunnitteluvaiheiden onnistuminen näkyy toteutussuunnitteluvaiheen elementtisuunnitelmissa ja kuinka suunnitelmien mahdollista korjaamistarvetta voitaisiin eliminoida jo aikaisessa vaiheessa suunnittelutyötä.

1.2 Projektin tavoitteet

Työn tarkoituksena on tunnistaa haasteita kahden prosessin välillä elementtirunkoisissa suunnittelukohteissa, lähestyen aihetta eritoten mallintavan suunnittelun näkökulmasta. Aihetta lähestytään suunnitteluvaiheittain, perehtyen niitä koskeviin yleisiin ohjeistuksiin ja verrataan näitä organisaation nykytilaan. Tämän lisäksi on syytä kartoittaa, millaiset asiat nähdään mahdollisina haasteina organisaation sisällä, jotta voidaan tulevaisuudessa tuottaa keinoja niiden eliminointiin. Työn tavoitteena on tehdä nykytilaselvitys tietomallipohjaisesta rakenne- ja elementtisuunnittelun prosessista ja tuottaa kehitysehdotuksia sen kehittämiseksi.

1.3 Aineisto, rakenne ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössä käydään läpi rakennusalan ajankohtaista ohjeistusta liittyen mallintavaan suunnitteluun ja näistä tärkeimpiä lähteitä ovat yleiset tietomallivaatimukset, elementtisuunnittelun mallinnusohje sekä rakennesuunnittelun tehtäväluettelo. Näitä ohjeistuksia verrataan tietoon organisaation rakennesuunnittelun ja tuoteosasuunnittelun nykyisistä menetelmistä, joista saadaan tietoa muun muassa suunnittelijoilta kyselomakkeen avulla. Kysely tapahtuu sähköisen lomakkeen avulla, jotta jakelu saadaan mahdollisimman suureksi ja siten läpileikkaus organisaation sisällä tarpeeksi kattavaksi.

Lisäksi työssä hyödynnetään Toyotan Lean-filosofiaa ja sitä käsittelevää kirjallisuutta luomaan uutta näkökulmaa solmukohtien havaitsemiseksi ja niiden korjaamiseksi. Mikäli kyselyvastausten perusteella nousee esiin jokin toistuva kehityskohde, voidaan siihen tarttua hyödyntämällä yleisesti käytettyjä Lean -menetelmiä luomalla työkalu sen tueksi. Lean -filosofian taustalla tärkeimpänä lähteenä toimii RIL:n julkaisu 'Lean rakentamisessa' vuodelta 2021. Vaikka teos keskittyykin enemmän tuotannon näkökulmaan, luo se riittävän läpileikkauksen koko rakennushankkeeseen ja käsittelee myös suunnitteluvaiheen merkitystä Lean- rakentamisen onnistumisessa sekä hukkan eliminoinnissa. Myös sen tarjoamat Lean-ajattelun menetelmät ovat hyvin sovellettavissa suunnittelu-prosessiin.

1.4 Projektin rajaukset

Opinnäytetyö rajataan koskemaan betonielementtirunkoisia suunnittelukohteita ja kyselylomakkeen kysymykset luodaan koskemaan tyyppillisiä asunto- ja toimitilarakennuksia. Tarkoituksena on saada aikaiseksi mahdollisimman kokonaisvaltainen selvitys, joka on sovellettavissa pitkälti kaikissa betonielementtirunkoisissa kohteissa. Rajaus koskee lisäksi pelkästään kohteita, joissa projektiin kuuluu tietomallinnus osana rakennesuunnittelua ja elementtisuunnittelua.

Rajausta ei tehdä koskemaan mitään yksitällistä projektia tai Rambollin suunnittelemaa kohdetta. Sen sijaan tarkoitus on kyselyvastausten avulla tarkastella suunnittelun kokonaiskuvaa, ja nostaa esiin yleisimpiä haasteita, jotka on voitu yhdistää eri suunnittelualojen tai -vaiheiden yhteensovittamiseen.

2 Talonrakennushanke

Rakennushanke lähtee liikkeelle rakennuttajan, sijoittajan tai kiinteistökehittäjän aloitteesta. Tehtävänimikkeinä rakennuttaja, rakennushankkeeseen ryhtyvä ja tilaaja tarkoittavat usein samaa tahoa, joka huolehtii rakennushankkeen läpiviennistä lupien ja rakentamista säätelevien lakien ja asetusten mukaisesti. Muita osapuolia tilaajan lisäksi rakennushankkeessa ovat suunnittelijat, asiantuntijat, urakoitsijat, viranomaiset ja käyttäjät. [2.]

Suunnitteluryhmät koostuvat eri suunnittelualojen asiantuntijoista, joiden tehtävät painottuvat eri tavoilla riippuen hankkeen ominaispiirteitten mukaan. Suunnittelutehtävät on jaettu maakäyttö- ja rakennuslaissa vaativuusluokkiin, joiden kelpoisuusvaatimuksia suunnittelijan tulee vastata. Suunnitteluryhmä sisältää yleensä pääsuunnittelijan, rakennussuunnittelijan (arkkitehti), erityissuunnittelijat, rakennesuunnittelijat, talotekniset suunnittelijat sekä erityisasiantuntijat. [2.]

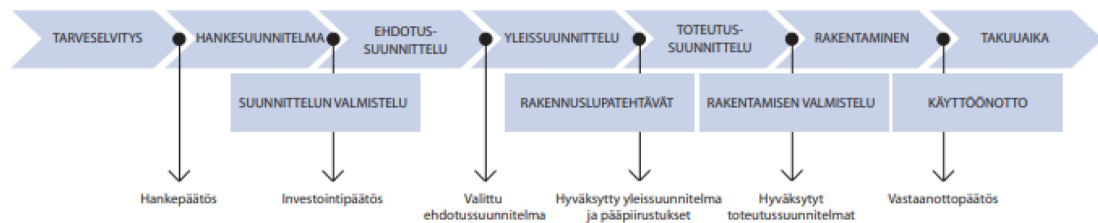
Urakoitsijat ovat rakennushankkeen osapuolia, jotka vastaavat rakennuksen konkreettisesti toteutuksesta tilaajan toimeksiannon mukaisesti ja heidät voidaan jakaa päätoteuttajaan, pää-sivu- ja aliorakoitsijoihin, osaurakoitsijoihin, erityisalan urakoitsijoihin sekä tuoteosatoimittajiin. Viranomaisten tehtävä rakennushankkeessa on valvoa, että rakentamisessa noudatetaan lakia ja sen nojalla säädettyjä määräyksiä ja huolehtia, että hankkeen toteuttajat vastaavat täyttävät heille määrätyt kelpoisuudet ja velvollisuudet. Käyttäjät ovat lopulta niitä henkilöitä, jotka hyötyvät valmiista rakennuksesta, kuten asukas-, henkilöstö- ja asiakasryhmät. [2.]

Rakennushankkeen kulku jaetaan tiivistetysti:

- Tarveselvitysvaiheeseen
- Hankesuunnitteluvaiheeseen
- Ehdotussuunnitteluvaiheeseen
- Yleissuunnitteluvaiheeseen
- Toteutussuunnitteluvaiheeseen

- Rakentamisvaiheeseen
- Käyttööntovaiheeseen.

Jokaisen vaiheen päätteeksi tehdään päätös, joka mahdollistaa etenemisen seuraavan vaiheeseen [3].



Kuva 1. Talonrakennushankkeen vaiheet ja niiden lopputuloksena syntyvät päätökset. [3.]

Tarveselvitys on tilaajan/rakennuttajan tekemä selvitys, jossa tarkastellaan hankkeen tarpeellisuutta, lähtökohtia ja tavoitteita. Tilaajalla/rakennuttajalla voi olla tässä vaiheessa erilaisia suunnittelijoita tai asiantuntijoita apunaan, kun tarkastellaan eri rakennjärjestelmiä ja vaihtoehtojen kustannuksia. Vaihe päättyy hyväksytyyn tarveselvitykseen ja hankepäätökseen. [4.]

Hankepäätöksen jälkeen siirrytään hankesuunnitteluvaiheeseen, josta vastaa myös tilaaja/rakennuttaja. Hankesuunnittelussa luodaan tavoitteet rakennushankkeen laajuuteen, toimivuuteen, laatuun, kustannuksiin, ajoitukseen ja ylläpitoon. Tässä vaiheessa rakennushankkeeseen voi osallistua myös rakennesuunnittelija tilaajan tarpeiden mukaan. Vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty hankesuunnitelma ja investointipäätös. [4.]

Ennen suunnittelun käynnistämistä käydään suunnittelun valmisteleva vaihe, jonka tarkoituksena on organisoida rakennushankkeen suunnittelu lähtötietojen, tehtävien laajuuden ja vaativuuden osalta. Vaiheeseen kuuluu myös suunnittelijoiden mahdollinen kilpailutus, osapuolten kanssa käytävät tarvittava neuvottelut ja suunnittelijoiden valinta. Kun kilpailutuksen ja neuvotteluiden jälkeen suunnittelijat ovat valittuna tehdään suunnittelusopimukset. Valmisteluvaiheen tuloksena syntyy suunnittelupäätös, jonka jälkeen suunnittelu voidaan aloittaa. [4.]

Varsinaisia rakennesuunnittelun tehtäviä on pääasiassa kolmessa rakennushankkeen vaiheessa: ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelun tehtävänä on käydä läpi ja esittää vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Vaiheen tuloksena valitaan ehdotuksien pohjalta suunnitelma jatkosuunnittelun pohjaksi. Yleissuunnitteluvaiheessa valittu ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi. [4.]

Kun yleissuunnitelma on tarvittavilta osilta valmis, voidaan siirtyä rakennuslupatehtäviin. Rakennuslupatehtävät sijoittuvat yleissuunnittelusta toteutussuunnitteluun ja ne pitävät sisällään hankkeen edellyttämät lupamenettelyt, suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimuksen tarkastamisen, pääpiirustusten hyväksyttämisen sekä lupahakemuksen laatimisen. Toteutussuunnitteluvaiheeseen edetessä aletaan yleissuunnitelmaa kehittämään rakentamista ja hankintoja palveleviksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi. Vaiheen tuotoksena syntyvät valmiit toteutussuunnitelmat ja lopulta tehdään rakentamispäätös. [4.]

Eri osapuolien ja vaiheiden lisäksi rakennushankkeen kulkua ohjailee myös ennen kaikkea viranomaissäännöstö, joka muodostuu laeista, asetuksista ja niiden nojalla annetuista määräyksistä ja ohjeista. Maankäyttö- ja rakennuslaki toimii näiden taustalla antaen rakentamista koskevat yleiset edellytykset ja olennaiset tekniset vaatimukset. Tämän lisäksi suunnittelua ohjailevat myös eurooppalaiset standardit eli eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet, joita täydentävät eri alan yhdistysten julkaisemat käytännöllisemmät ohjeet. Tarkempia ohjeita ja säännöksiä kootaan lisäksi ympäristöministeriön ylläpitämään Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. [5.]

3 Elementtirunkoisen rakennuksen suunnitteluprosessit ja mallintava suunnittelu

3.1 Rakennesuunnittelun prosessi

Rakennesuunnittelun päätehtävä on yhdessä muiden hankkeen osapuolien kanssa tuottaa rakennusta tai rakennetta koskevat rakennesuunnitelmat sekä muuta tietoa toteutuksen, käytön ja ylläpidon kannalta. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelon mukaisesti suunnittelun valmistelu päättyy suunnittelijoiden valintaan ja suunnittelusopimukseen. [4.]

Tavanomaisessa rakennushankkeessa rakennesuunnittelun päävaiheet pitävät sisäl-
lään:

- Tarpeiden selvityksen ja tavoitteiden määrittelyn
- Alustavat suunnitelmat ja perusratkaisujen valinta
- Suunnittelun hankintoja varten
- Lopullinen suunnittelu toteutusta ja tuoteosavalmistusta varten
- Ylläpidon ja käytön vaatimat suunnitelmat [4].

Rakennesuunnittelu lähtee käyntiin runkojärjestelmän ja jäykistyssysteemin valinnalla. Rakennesuunnittelussa määritetään elementtirunkoisen rakennuksen lähtötiedot ja sen jäykistystavan mahdolliset vaikutukset valmisosien mitoitukseen. Elementtisuunnittelua varten rakennesuunnittelijalta tulee tärkeimmät lähtötiedot. Näitä ovat kuormitustiedot, rakennetyyppileikkaukset, rakennedetaljit sekä tyypilliset liitos- ja kiinnitysdetaljit elementtisuunnittelun pohjaksi. Muita rakennesuunnittelun prosessissa syntyviä suunnitelmia ovat mittapiirustukset, reikäpiirustukset, julkisivukaaviot sekä erilaiset työselostukset. Useimmiten rakennesuunnittelija suunnittelee myös kohteen tyyppielementit, jotka hyvin tehtyinä toimivat myös lähtötietona elementtisuunnittelijalle. [6.]

Rakennusprojekteissa elementtisuunnittelijan ja vastaavan rakennesuunnittelijan työnjako määräytyy hankekohtaisesti suunnittelusopimuksen liitteenä olevan tehtäväluette-
lon mukaan. Vastaavan rakennesuunnittelijan tehtäviin luetaan kuitenkin:

- Käytettävä mitoitusnormisto
- Kokonaisstabiiletti
- Rungon työnaikainen kokonaisvakavuus
- Kuormitustiedot ja vaatimukset
- Reikä tiedot

- Paikallavalurakenteet
- Tyypielementit
- Rakennusfysikaalinen suunnittelu
- Tyypiliitokset
- Elementtisuunnitelmien tarkastus kokonaisuus huomioiden
- Viranomaishyväksyntä
- Asennussuunnitelman tarkastus ja hyväksyntä
- Suunnitteluratkaisujen työturvallisuudesta huolehtiminen
- Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje rakenteiden osalta
- Rakenteellisen turvallisuuden riskien arviointi [7].

Rakennesuunnittelun asiakirjat eli suunnitelmat laaditaan hyödyntäen eri tietoteknisiä välineitä, kuten mallinnusohjelmia, CAD-järjestelmiä ja laskenta- sekä mitoitusohjelmia [8]. Tietomalli tulee osaksi rakennesuunnittelun prosessia yleensä yleissuunnitteluvaiheessa, kun rakennesuunnittelija luo oman rakennemallin arkkitehdin rakennusosamallin pohjalta. Alustavassa rakennemallissa määritellään tuote- ja rakennusosat riittävän tarkasti, jotta tietomallista pystytään tekemään määrälaskentaa ja hyödyntämään mallia yhteensovituksessa. Rakennemallista suunnittelijat myös luovat erivaiheiden suunnitelmia ja se voi toimia lähtötietona myös laskentamallin tekemiselle. Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelija kehittää tietomallia alustavasta rakennemallista valmiiksi ja tässä vaiheessa on oleellista, että vastaava rakennesuunnittelija saa kokonaisuuden kannalta kaikki tarvittavat tiedot malliinsa tuoteosasuunnittelijalta. [9] [10.]

Rakennesuunnittelun tuloksena syntyvät lopulta suunnitteluasiakirjat, joihin kuuluvat kirjalliset asiakirjat (työselostukset, selvitykset), piirustukset, luettelot ja laskelmat. Asiakirjojen tulee olla käyttötarkoitukseen sopivia ja ristiriidattomia, joissa tiedot ja asiat on esitetty yksiselitteisesti ja selkeästi palvelemaan tarpeita ja vaatimuksia. [8.]

3.2 Elementtisuunnitteluprosessi

Elementtisuunnittelu on tuoteosasuunnittelua, joka on osa rakennesuunnittelua. Kohteen mukaan elementtisuunnittelu voidaan toteuttaa rakennesuunnittelijan vastuuna, tai vaihtoehtoisesti omana kokonaisuutenaan. Mikäli elementtisuunnittelu toteutetaan rakennesuunnittelijan vastuuna, jatketaan mallinnusta edellisen suunnitteluvaiheen mallielementtien ja kokoonpanojen pohjalta ja mikäli elementtisuunnittelu on oma kokonaisuutensa jatkaa rakennesuunnittelija mallin kehittämistä vain muiden rakenteiden osalta.

Elementtisuunnittelu on merkittävä osa toteutussuunnitteluvaihetta, joten sen aloituspalaverissa käydään läpi kaikki tarvittavat lähtötiedot, sekä niiden yhteensovittamiseen liittyvät asiat. Lähtötiedoksi luotuja tyyppielementtejä voidaan tarkentaa, esimerkiksi koskien käytettäviä eristemateriaaleja, valutarvikkeita tai pintakäsittelyä. Lisäksi tässä vaiheessa elementtisuunnittelusta vastaavalle tulee saada tieto suunnitteluaiakataulusta, sekä esimerkiksi kuljetuksen tai työmaan rajoitteisiin liittyviä vaatimuksia koskien esimerkiksi geometriaa tai suurimpia sallittuja painoja. [7.]

Elementtisuunnittelijan tarvittavia lähtötietoja ovat muun muassa:

- elementtidetaljit
- hissitoimittajan piirustukset
- porrastoimittajan piirustukset
- arkkitehdin suunnitelmat ja detaljit
- Rakennedetaljit, -suunnitelmat, kuormitustiedot, raudoitusvaatimukset
- talotekniikkasuunnitelmat
- reikäkierto [7].

Aloituskokouksessa sovitaan myös elementtien mallikatselmuksesta, jonka tehdas järjestää sovituista elementtityypeistä. Näiden lisäksi on yleisesti sovittava yhteisistä pelisäännöistä, joista jokainen sopimuksen osapuoli pitää kiinni, jotka on todennäköisesti

määritelty jo tietomallinnuksen aloituspalaverissa. Elementtisuunnittelijan varsinainen työ alkaa aloituskokouksen jälkeen, kun lähtötiedot on toimitettu, tarkastettu ja hyväksytty. [11.]

Elementtisuunnittelu.fi-sivusto on määrittelyt elementtisuunnittelijan tehtävät karkeasti seuraavasti:

- Lähtötietojen yhteensopivuuden varmistaminen
- Elementtien lujuuslaskelmat (murto- ja käyttörajatila, onnettomuusrajatila, palotila)
- Jäykistysvoimia välittämättömät liitokset
- Kaikki elementtien valmistussuunnitelmat
- Elementtien liitos- ja asennusdetaljit
- Yksittäisten elementtien asennusaikainen vakavuus ja tuentasuunnitelmat
- Turvalaitteiden vaatimat tartunnat
- Elementtikaaviot
- Elementti- ja valutarvikeluettelot
- Elementtien vaatimat tartuntasuunnitelmat
- Asennussuunnitelman tarkastus ja hyväksyntä tarvittaessa [7].

Elementtisuunnittelun lopputuloksena syntyy tarkasti mallinnetut elementit ja eri suunnittelualojen yhteensovitus. Kun elementtipiirustus on valmiina geometrian, raudoituksen ja valutarvikkeiden osalta, se lähetetään vielä sähkösuunnittelijalle, joka lisää siihen tarvittavat sähköpisteet. Valmiit elementtipiirustukset toimitetaan valmistajalle sovituisissa erissä ja aikataulun mukaisesti. [7.] Lopullisten suunnitteluasiakirjojen sisällön laajuus vaihtelee kohdekohtaisesti. Yleensä näitä ovat kuitenkin elementtien sijaintipiirustukset

(elementtikaaviot ja julkisivukaaviot), asennusdetaljit (perustuen rakennesuunnittelun tyyppidetalleihin), luettelot (elementti-, tarvike- ja materiaaliluettelot) sekä tietenkin jokaisesta erillisestä elementistä laadittavat elementtien valmistuspiirustukset. Tietomallinnuksen myötä näitä asiakirjoja voidaan enenevässä määrin tuottaa suoraan tietomallista saatavina tulosteina. Tietomallipohjaisen suunnittelun tarkoituksena on tuottaa CAD-piirustuksia vastaavia tulosteita, mutta siten että niistä pyritään vähentämään turhaa tietoa. Tämä tarkoittaa sitä, että voidaan tulostaa vain se tieto, mitä sillä hetkellä tarvitaan, kuten 3D-kuvaus rakennuksen osasta eli esimerkiksi yksittäinen elementtipiirustus. [8.]

3.3 Tietomallipohjainen suunnittelu

Tietomallinnus eli BIM (Building Information Modeling) tarkoittaa sellaista rakennusalan prosessia ja ajattelutapaa, joka käsittää rakennusta koskevan tiedon vuorovaikutusta, kollektiivista tuottamista ja älykästä käsittelyä. Tietomalli on rakennuksen digitaalinen malli, joka sisältää parhaimmillaan arvokasta tietoa koko rakennuksen elinkaaren ajalle. Tällaisen 3D-mallin tarkoituksena on sisältää oikean geometrian lisäksi tietoa esimerkiksi rakennuksen osista, ominaisuuksista ja vaatimuksista. Se tarjoaa mahdollisuuden tarkemmalle visuaalisella tarkastelulle ja kokonaisuuden hahmottamiselle. Tietomalliin on lisäksi mahdollista sisällyttää tietoa myös asennusaikatauluista, kustannuksista sekä käytön aikaisesta ylläpidosta ja uudelleen käytettävyydestä. [12.]

Tietomallipohjaisen suunnittelun tavoitteena on hallita paremmin suunnitteluprosessia kokonaisuutena ja näin ollen tuottaa laadukkaita suunnitelmia ja nostaa tuottavuutta. Se tarjoaa myös tärkeää lisäarvoa asiakkaalle, sillä tietomalliin voidaan sisällyttää kaikki rakennukseen liittyvä tieto, joka on lisäksi suoraan eri suunnittelualojen hyödynnettävissä. Eri suunnittelualojen omia malleja voidaan myös yhdistää, jolloin syntyy yhdistelmämalli, jota voidaan hyödyntää rakennushankkeen eri vaiheissa suunnittelualojen yhteensovituksessa. Suunnittelijoiden lisäksi tietomallin on tarkoitus palvella myös muita osapuolia, joita voivat olla esimerkiksi rakennuttaja, urakoitsija, sähköasentaja, putkiasentaja, kiinteistöhuoltaja, viranomainen, kiinteistönomistaja tai käyttäjä. [12.]

Rakennuksen tietomallinnuksen päävaiheet noudattelevat samalla tavalla rakennushankkeen eri vaiheita, kuten tarve- ja hankesuunnittelu, yleis- ja toteutussuunnittelu, rakentaminen ja käyttö.



Kuva 2. Tietomallipohjaisen prosessin vaiheet. [11.]

Jotta tietomallista saataisiin hyöty kaikille projektin osa-alueille sekä eri tahoille, se edellyttää, että rakennus mallinnetaan yleisten mallinnusohjeiden sekä projektikohtaisten tietomallivaatimusten mukaan. Globaalilla tasolla tietomallinnus hyödyntää kansainvälistä standardia ISO 19650, joka on tärkein rakennuksen koko elinkaaren aikaisia laatuksia vakioiva standardi. [12.]

Tietomallinnusohjelmistoja löytyy eri suunnittelualoille, joista rakenne- ja elementtisuunnittelussa käytetään Suomessa laajasti Tekla Structures -ohjelmistoa. Tekla Structures on Trimble Solutions Oy:n BIM-ohjelmisto, jonka avulla voidaan luoda kolmiulotteisia rakennemalleja ja joka sisältää mahdollisuuden rakennuksen tarkkaan detaljoituihin ja hyödyntämiseen kaikissa rakennusprosessin vaiheissa. [11.]

Teklasta tuotetut dokumentit voivat olla eri tiedonsiirto muodoissa, joista eniten käytetyt ovat perinteiset kaksiulotteiset dwg- ja pdf-tiedostomuodot, jonka lisäksi malli voidaan luovuttaa kolmiulotteisina ifc- ja db1-tiedostoina. Mallin luovuttaminen sen alkuperäisformaattissa eli db1-tiedostona, vaatii lähetykseen mukaansa myös mallissa käytetyt kirjasot, jolloin malli avautuu vastaanottajan tietokoneella samanlaisena. IFC-malli tulee muiden suunnitteludokumenttien tapaan tehdä standardien mukaisesti ja käyttötarkoitusta

palvelevaksi. IFC on avoin tiedostomuoto, jota monet mallinnusohjelmistot tukevat, joten se toimii eri mallien yhdistämiseen. Sitä käytetäänkin ennen kaikkea mallien yhteensovituksen ja määrälaskennan apuna. [11.]

3.3.1 Tietomallinnuksen aloituspalaveri

Mallinnuksen aloituspalaverissa tehdään suunnitelma, jossa määritellään hankkeen tietomallintamisen tavoitteet, vaatimukset, tehtävät ja toimintatavat. Mallin vaatimustaso määritellään viitaten yleisiin tietomallivaatimuksiin sekä mahdollisesti tilaajan omiin vaatimuksiin. Aloituspalaverissa tulee määrittää, millaisia tavoitteita tietomalli palvelee ja mitkä ovat sen käyttötarkoitukset. Voidaan esimerkiksi määrittellä millaista kustannus- ja tai määrälaskentaa mallista halutaan tehdä, millaista tietoa osille halutaan annettavan sekä millaisiin käyttötarkoituksiin malli voidaan luovuttaa rakennuksen käyttöaikana. [10.]

Tietomallinnuksen aloituspalaverissa jaetaan myös vastuut ja vaatimukset eri suunnittelualojen välille. Myös urakoitsijaa ja tietomallikoordinaattoria koskevat tehtävät ja vastuut määritellään suunnitelmassa. Olennaista osapuolien kesken on sopia yhteiset pelisäännöt mallinnukseen, määrittämällä suunnittelualojen rajapinnat, mallien yhdistäminen, yhteensovitus ja perustietojen ja geometrian ylläpito. Jokaisessa projektissa sovitaan erikseen tavoitteet mallin laajuudelle ja tarkkuusvaatimuksille. Näissä viitataan yleisten tietomallivaatimusten suunnittelualakohtaisiin osuuksiin ja lisäksi ilmoitetaan tilaajan vaatimukset. Mikäli erillisiä mainintoja ei ole, tulee mallin vastata ilmoitettua tasoa YTV2012 ohjeista. [11.]

Ennen tietomallin luontia, tulee olla myös määritettynä käytettävä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä sekä se, miten mallin tullaan jakamaan rakennuksittain, lohkoittain ja kerroksittain. Aloituskokouksessa sovitaan lisäksi tiedonsiirrosta, eli kenelle ja missä muodossa mallia jaetaan ja päivitetään, eli tietomallin luovutus sopimus. [11.]

4 Tietomallinnusta koskevat ohjeet

4.1 Yleiset tietomallivaatimukset 2012

Yleiset tietomallivaatimukset sisältävät tietomallinnusta koskevia ohjeita, vaatimuksia ja käsitteitä, koskien arkkitehtisuunnittelua, taloteknistäsuunnittelua ja rakennesuunnittelua sekä tietomallin hyödyntämistä. YTV 2012 sisältää vähimmäisvaatimukset mallinnukselle ja mallien tietosisällölle. Rakenne- ja elementtisuunnittelua koskevat vaatimukset on esitetty julkaisun osassa 5. Lisäksi mallintavan suunnittelun kannalta olennaisia ovat myös osa 1. yleinen osuus sekä osa 6. laadunvarmistus. Myös täydentävä liite RAK Tilaajan ohje täydentää määrityksiä muun muassa tarkkuustasojen kuvaamisen osalta. [13] [14.]

| Mallinnuksen tarkkuustaso | Mallinnuksen tarkkuustason kuvaus |
|---------------------------|---|
| 1 | Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein. |
| 2 | Mallinnetaan perusgeometrian osalta oikein niin, että rakenteiden kokonaismäärät selviävät mallista. Rakenteet elementoidaan. |
| 3 | Mallinnetaan tyyppielementit ja tyyppipaikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Teräskokoonpanoista tehdään betonielementtejä vastaavat mallikokoonpanot liitoksineen (liittopilareihin myös raudoitteet). Muut osat mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen ja valutarvikkeeseen. |
| 4 | Mallinnetaan elementit ja paikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Teräskokoonpanot mallinnetaan konepajatasolle (liittopilareihin myös raudoitteet). Paalutarkkeet siirretään malliin ja paalut mallinnetaan toteuman mukaan. |

Kuva 3. YTV:n mukaiset mallinnuksen tarkkuustasot. [13.]

Yleiset tietomallivaatimukset palvelevat kaikkia hankkeen osapuolia, sillä sen vaatimukset tietomallien käyttöön pyritään yhdenmukaistamaan siten, että se tukee hallittua päätöksentekoa ja tiedonkulkua sekä suunnitteluryhmien sisällä, että tilaajan ja urakoitsijan välillä. Osa 5 koostuu täsmällisistä määritelmistä koskien rakennemallin sisältövaatimuksia suunnitteluvaiheittain, jotka perustuvat rakennesuunnittelun tehtäväluettelon vaiheisiin. Ohje sen sijaan ei käsittele tehtävien jakamista eri osapuolille. [13.]

Tietomallinnuksen aloituspalaverissa ja siinä tehdyissä sopimuksissa viitataan YTV 2012 ohjeistukseen. Sen tehtävänä on tätä kautta selvittää nämä vähimmäisvaatimukset muun muassa mallinnettavista rakenteista, rakennetyypeistä, lohko- ja kerrosmäärittelyistä, numeroinnista ja nimeämisestä sekä laadunvalvonnasta. Nimen mukaisesti se

antaa vaatimukset ja lyhyen ohjeen siitä mitä vaatimus voi käytännössä tarkoittaa. Tarkempia toimintaohjeita vaatimusten täyttymiselle YTV 2012 ohjeissa kuitenkin ole, jolloin samat vaatimukset ovat sovellettavissa aina, hankkeesta ja suunnittelutoimistosta riippumatta.

Tietomallin yleisten määritysten lisäksi YTV 2012 osa 5 antaa vähimmäisvaatimukset myös eri suunnitteluvaiheiden mukaan, vaatimusmallista toteutussuunnitteluun. Siinä eritellään eri vaiheita koskevat lähtötiedot, tietomallin sisältövaatimukset, mallista saatavat hyödyt, sekä yleisesti kyseisessä vaiheessa luotavat suunnitelmat. [13.]

YTV 2012 tarkkuus mallintavan suunnittelun määrittelyyn ei riitä silloin kuin halutaan tarkkaa elementtisuunnittelun kannalta olennaista tuotevalmistustietoa, jolloin tarvitaan BEC mallinnusohje tarkempaan määrittelyyn.

4.2 Elementtisuunnittelun mallinnusohje BEC2012

Mallinnusohjeella viitataan BEC-ohjeistukseen, jonka tarkoitus on määritellä tietyt lähtökohdat elementtien tietomallinnukseen. BEC-ohjeen tarkoituksena on yhdenmukaistaa tietomallin sisältöä suunnittelutoimistosta riippumatta, eli määritellä millaista tietoa mallin tulisi sisältää. Se antaa tarkemmat vaatimukset elementtisuunnittelun mallinnukseen kuin YTV2012. Mallinnusohje perustuu yleisen ohjeistuksen lisäksi ennen kaikkea Tekla Structures -ohjelmiston käyttöön elementtisuunnittelussa.

Suurin hyöty elementtisuunnitteluun saadaan sellaisesta luotettavasta mallista, josta tiedon siirto kuten elementti- ja tarvikeluettelot voidaan tuoda suoraan. Yhtä lailla mallista voidaan tuottaa tietoa myös työmaanohjaukseen, kun se on tehty projektin vaatimalla tarkkuudella. BEC-mallinnusohjeesta löytyy tarkempi ohjeistus tietomallin hyödyntämisestä sekä sen jakamisesta eri osapuolille. Mallinnusohjeen noudattaminen on olennaisin osa eri osapuolten kykyä saada mallista luotettavaa tietoa. [11.]

Mallin käytöstä laaditaan sopimus ja se jaetaan sopimuksen mukaisille projektin osapuolille. Mallia voidaan jakaa sekä IFC-tiedostona, että natiivi mallina, joka sisältää saman tiedon kuin alkuperäinen malli. Tietomallia päivitetään sovitusti osapuolille sen eri vaiheissa ja elementtien ollessa eri valmiusasteilla. Malli sisältääkin usein sekä luonnosvaiheessa, että toteutussuunnitteluvaiheessa olevia elementtejä, joiden sisältämän tiedon

määrä ei ole samantasoista. Tästä voidaan ylläpitää tietoa muun muassa ohjeen mukaisilla valmiusaste- ja päivämäärämerkinnöillä.

Se, missä BEC-mallinnusohje eroaa yleisistä tietomallivaatimuksista, on, että siitä saa ohjeistusta tarkemmin betonielementtien mallintamisesta elementtisuunnittelun ja Tekla Structures -ohjelmiston näkökulmasta. Mallinnusohje antaa suoraan ohjeita elementtityypeittäin, määrittellen yleisiä työkaluja, joita on suositeltavaa käyttää kunkin elementin luomiseen ja sen varusteluun, sekä geometrian muokkaamiseen. Näissä voi tuki olla hanke- ja suunnittelutoimistokohtaisia eroja, mutta pääasiassa elementtien mallinnus tapahtuu näiden työkalujen ja periaatteiden avulla.

Jotta mallista saadaan luotettavaa tietoa oikeista tarvikkeista ja materiaaleista, on erityisen tärkeää seurata mallinnusohjeen, sekä yhteisissä sopimuksissa määritellyjä nimeämistapoja ja class-attribuutteja. Tällöin tarvittavista tarvikkeista saadaan raporteihin ja taulukoihin oikeat mitat ja yksiköt. [11.]

4.3 Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18

Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18 on suunnittelusopimukseen lisättävä liite, joka on tarkoitettu talonrakennusta koskevien rakennesuunnittelun tehtävien sisällön ja laajuuden määrittelyyn. Sen kautta selviää sovittu tehtävänjako ja rajapinnat eri rakennesuunnittelun tehtävien suorittajien välillä. Eri tehtävien jakautuminen ja laajuus tulee selvittää kullekin sopimuksen osapuolelle, joka auttaa suunnittelukokonaisuuden hallinnassa sekä toimii osana laadunvarmistusta. [4.]

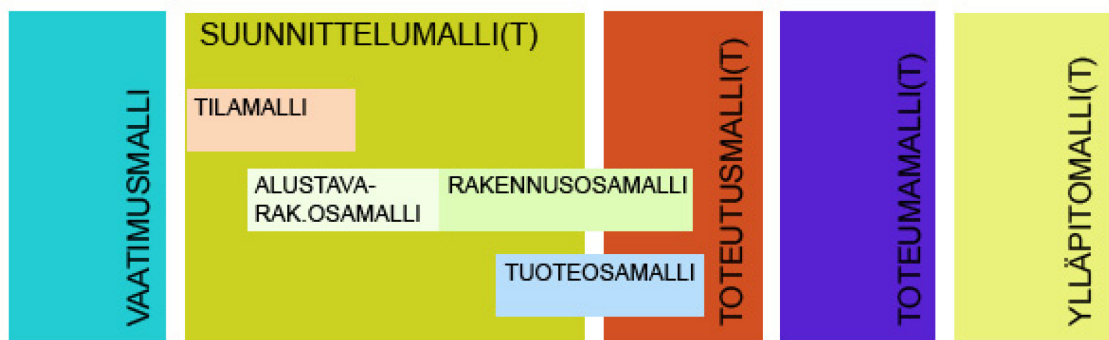
4.4 Tietomallin suunnitteluvaatimukset eri suunnitteluvaiheissa

Tietomallintamisen myötä suunnitteluprosessi on muuttunut perinteisestä lineaarisesti etenevästä prosessista arvoverkottuneeseen toimintotapaan, jossa suunnittelun ja rakentamisen prosessit lomittuvat keskenään eri tavoin riippuen toteutustavasta. Tietomallintaminen voidaan kuitenkin jakaa samalla tavalla eri vaiheisiin kuin perinteinen CAD-suunnittelu ja esittää vaiheiden lopputulokset mallin sisältämän tiedon mukaan seuraavasti:

1. tarveselvitys → vaatimusmalli

2. hankesuunnittelu → tilamalli
3. ehdotus- ja yleissuunnittelu → alustava rakennusosamalli
4. toteutussuunnittelu → rakennusosamalli
5. rakentamisvaihe → toteutusmalli
6. rakennuksen suunnitelmien lopullinen toteuma → toteumamalli
7. käyttöönotto → ylläpitomalli.

Jako tapahtuu vaatimusmalliin, suunnittelumalliin, toteutusmalliin, toteumamalliin ja ylläpitomalliin. Vaatimusmalli on osa tarveselvitystä, johon kuuluu tilaohjelman ja suunnitteluratkaisujen vertailu, jonka jälkeen siirrytään hankesuunnitteluun ja lähtötilanteen mallinnukseen. Ehdotussuunnitteluun siirryttäessä voidaan sopivinta suunnitteluratkaisua hakea karkealla tasolla olevilla vaihtoehtoisilla tilamalleilla. Sen jälkeen siirrytään varsinaiseen suunnitteluun, joka pitää sisällään rakennusosamallin sekä tuoteosamallin. Alustava rakennusosamalli sijoittuu yleissuunnitteluvaiheeseen, jossa ehdotussuunnitelmaa kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi, josta myöhemmissä suunnitteluvaiheissa jalostetaan valmis rakennus- ja tuoteosamalli. Toteutusmalli käsittää lopullisen rakennusosamallin, jonka mukaisesti rakennus on toteutettavissa. Toteumamalli ja ylläpitomallit sen sijaan liittyvät jo valmiin rakennuksen toteutuneeseen lopputulokseen ja sen käyttöajan hallintaan ja ylläpitoon. [9] [15.]



Kuva 4. Tietomallintamisen vaiheet. [15.]

Tietomallipohjaisessa suunnitteluprosessissa arkkitehdin mallinnus liittyy kaikkiin näihin vaiheisiin, kun taas rakenne- ja elementtisuunnittelun tietomallinnus voidaan YTV2012 ja BEC12 mukaisesti jakaa sijoittumaan varsinaisesti kolmeen eri vaiheeseen: yleissuunnitteluun, hankintoja palvelevaan suunnitteluun ja toteutussuunnitteluun. Koska työ keskittyy juuri rakenne- ja elementtisuunnitteluun ja sen vaiheisiin, voidaan tarkastelu keskittää vain näihin liittyviin ohjeistuksiin.

4.4.1 Yleissuunnittelu

Yleissuunnittelussavaiheessa valittua ehdotussuunnitelmaa aletaan kehittämään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi. Vaihe kohdistuu rakennuksen kiinteään perusosaan sekä muuntuvien tila-alueiden suunnitteluun ja yleissuunnitelma voi vielä sisältää erilaisia vaihtoehtoja tilaratkaisuiksi. Vaiheen tuloksena syntyy lopulta hyväksytty yleissuunnitelma sekä pääpiirustukset. [4.]

YTV2012 osan 5 liitteen 1 mukaan yleissuunnitteluvaiheen tietomallissa elementit mallinnetaan oikeaan geometriaan ja oikeaan paikkaan siten, että malli vastaa alustavia suunnitelmia. Varsinaista elementtien varustelua ei tässä vaiheessa vielä tehdä, vaan yleissuunnitteluvaiheen malli tarjoaa visuaalista lähtötietoa esimerkiksi laskelmille. Tällaisella mallilla voidaan tehdä alustavaa määrälaskentaa ja eri suunnittelualojen yhteensovittamista. Yleissuunnittelu tulee tehdä riittävällä tarkkuudella, koska se toimii lähtötietona myös seuraaville suunnitteluvaiheille. Tässä vaiheessa luotavat suunnitelmat ovat yleensä perustusten ja alapohjan mittapiirustukset, tasojen mittapiirustukset sekä yleisleikkaukset. [11] [13.]

4.4.2 Hankintoja palveleva suunnittelu

Hankintoja palveleva suunnittelu sisältyy rakennesuunnittelun tehtäväluettelon mukaisesti toteutussuunnitteluvaiheeseen. Toteutussuunnittelu voidaan siis jakaa kahteen osaan, joista hankintoja palveleva suunnittelukokonaisuus käsittää laajuudeltaan ja tarkkuudeltaan kohteen ja rakennusosien laajuuden, määrät, työtavat ja laatutason määrittämisen, toteutuskustannusten edellyttämällä tarkkuudella. [4.]

Hankintoja palvelevassa suunnitteluvaiheessa tehdään siis niin sanottu urakkalaskentavaiheen tietomalli. Tämä tarkoittaa sitä, että mallia kehitetään hankintakyselyiden

edellyttämälle tasolle ja laaditaan tarjouspyyntöasiakirjat. Tietomalli tehdään tarkempaan geometriaan, joka käsittää muuan muassa elementtien ikkunat ja oviaukot sekä esimerkiksi lipat ja konsolit. Tässä tulee myös tarkastaa, yleissuunnitteluvaiheen mallin geometrioiden oikeanmukaisuus, jotta määrälaskenta vastaa todellisuutta ja sen myötä myös urakkalaskenta. Hankintoja palvelevaan suunnitteluun liittyy lisäksi myös tyyppielementtien teko, joka tarkoittaa, että jokaisesta elementtityypistä, tehdään mallielementtipiirustus. Tyyppielementin tulee vastata lopullisen tuoteosasuunnitelman tasoa, jotta se toimii lähtötietona elementtisuunnittelun ja -toteutuksen hinnan laskennassa.

Tässä vaiheessa täydennetään edellisen vaiheen piirustuksia, joiden lisäksi suunnitteluvaihe sisältää yleensä paaluluettelot ja piirustukset, VSS-mittapiirustukset, mallielementtipiirustukset sekä määrä- ja massaluettelot laskentaa varten. [11] [13.]

4.4.3 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheen toinen osa on rakennesuunnittelun tehtäväluettelon mukaan toteutusta palveleva suunnittelu. Tässä vaiheessa aiemmat suunnitelmat tulee kehittää ja täydentää rakentamisen ja toteutuksen edellyttämälle tasolle, eli oikein mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi. Lisäksi toteutusta palvelevan suunnitteluvaiheeseen voi sisältyä työnaikaisia ja toteutusta tukevia täydentäviä detaljisuunnitelmia. [4.]

Toteutussuunnitteluvaiheessa myös elementtisuunnittelu lähtee varsinaisesti käyntiin, kun elementtejä aletaan mallintamaan lähtötietojen hyväksymisen jälkeen. Lähtötietoina toimivat arkkitehdin suunnitelmat, rakennesuunnitelmat ja tietenkin muiden suunnittelualojen, eli muun muassa LVI:n ja sähkösuunnittelun lähtötiedot, jotka voivat kuitenkin tarkentua vasta suunnittelun edetessä yhteensovittamisten myötä. Toteutussuunnitteluvaiheessa malli täydennetään siihen pisteeseen, että se vastaa toteutettavaa rakennusta ja tällöin elementteihin lisätään kaikki tieto, joko suoraan malliin, kuten liitokset ja valutarvikkeet tai tekstitietona, kuten tuotetiedot ja materiaaliominaisuudet.

Käytännössä mallin ja piirustuksen pohjalta tulee saada kaikki mahdollinen tieto valmistettavan tuoteosan toteuttamiselle ja se tieto, jota ei mallinneta, kuten perusviisteet tai ansaat, voidaan esittää piirustuksessa tekstitietona. Toteutussuunnitteluvaiheessa on myös varmistettava, että jokainen elementti on mallinnettu ja nimetty oikean elementtityypin mukaisesti ja tiettyjen mallinnusohjeessakin esitettyjen class-attribuuttien

mukaisesti. Sama koskee myös jokaista valutarviketta, sekä reikätietoja, että urituksia. [11] [13.]

5 Lean-filosofia

Lean-ajattelu on maailmanlaajuinen liike, joka on löytänyt tiensä myös rakennusalalle. Lean-rakentamisella voidaan hakea uudenlaisia menetelmiä ja työkaluja tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseksi suunnittelusta toteutusvaiheeseen. Edellisten kappaleiden tarkoituksena oli saada ymmärrystä rakennushankkeen ja sen suunnitteluvaiheiden etenemisestä ja siihen liittyvistä ohjeistuksista. Tässä luvussa käsitellään yhtä suosituimmista liiketoiminnan johtamisopeista, jotta edellytykset suunnitteluprosessin onnistumiseen ymmärretään entistä paremmin.

Lean-filosofialla tarkoitetaan sellaista liiketoiminnan kehittämisen työkalua, jonka tavoite on toiminnan järkevöittäminen. Menetelmän ajatus perustuu standardoitujen toimintamallien ympärille, ja päätavoitteena on turhan tekemisen minimointi ja poistaminen sekä prosessien jatkuva parantaminen. Taustalla Lean-systeemin kehittämisessä on Toyotan autotehtaan tuotantomalli, joten se perustuu vahvasti japanilaiseen tuotantofilosofiaan. Toyotan Lean-filosofian oppien keskiössä on asiakkaan ymmärtäminen ja ihmisten kunnioittaminen, sekä pitkän aikavälin toiminnan tarkastelu, jonka tavoitteena on pyrkimys ideaalitilaan. Ideaalitila kuvaa Leanin tavoitetta, joka tarkoittaisi tiivistetysti: parasta laatua, matalimmat kustannukset, lyhyt läpimenoaika, paras turvallisuus ja korkea moraalitila. [16, s. 17–18.]

5.1 Lean-periaatteet

Lean-filosofian periaatteita on esitetty eri teoksissa hieman eri tavoilla, mutta RIL-276-2021 tiivistää nämä periaatteet seuraavasti:

1. Keskity arvon luontiin. Arvon luontia arvioidaan arvovirta-analyysillä, jonka tarkoitus on osoittaa mikä arvoketjussa tuottaa arvoa ja mikä hukkaa.
2. Muodosta arvovirta kohti asiakasta. Arvon virtauttaminen tehdään luomalla siitä mahdollisimman tasainen ja luotettava, joka toteutetaan imuohjauksen avulla sekä sisäänrakennetulla laadulla.

3. Kehitä ihmisiä. Työntekijöiden työpanosta kunnioitetaan ja kehitetään organisaation alimmalta tasolta alkaen. Lean-johtaminen ulotetaan työntekijöihin ja toimintakumppaneihin asti ja se perustuu tasavertaisuuteen sekä prosessien syvällisempään ymmärrykseen.
4. Jatkuva parantaminen. Pyrkimys kohti täydellistä ideaalitilaa vaatii jatkuvan parantamisen kulttuuria, kaizenia. Lähtökohtana on nykyisten toimintatapojen vakiointi, joista muodostetaan noudatettavat standardit.

Periaatteiden soveltaminen ei toteudu kopioimalla Toyotan järjestelmää omaan käyttöön vaan soveltamalla sen filosofiaa siten, miten se palvelee parhaiten oman organisaation tuotantojärjestelmiä. Leanin vahvuus onkin, että se sisältää paljon käytännön menetelmiä ja kokemusesimerkkejä niiden soveltamisesta. Prosessin parantamisen ytimessä tulee olla lähtökohtaisesti asiakas. [16, s.20–22.]

Tämän työn tavoitteena on kartoittaa suunnitteluprosessin haasteita ja hyödyntää Lean-ajattelun periaatteita ennen kaikkea niiden tunnistamiseen. Jotta Lean-ajattelua voidaan tuoda osaksi suunnitteluprosessin parantamista, tulee sen käsitteet ja toimintatavat olla selvillä.

5.1.1 Arvon tuotto ja hukkan eliminointi

Arvolla tarkoitetaan sitä tuotannon tai palvelun osaa, josta asiakas on valmis maksamaan. Mikäli tuotantoprosessi tulee kalliimmaksi, kuin mitä asiakas siitä maksaa, tulee liiketoiminnasta kannattamatonta. Suunnitteluprosessin kehittäminen arvoa tuottavammaksi edellyttää prosessin jatkuvaa tarkastelua, analysointia ja parantamista. Arvon lisääntyminen voi tarkoittaa yritykselle esimerkiksi tehokkuuden ja tuottavuuden parantamista, parempia palveluita ja tuotteita sekä asiakastyytyväisyyttä ja kilpailuetua. Lean-filosofian mukaan arvon tuottoa voidaan prosessissa kehittää poistamalla hukkaa ja parantamalla prosessin keskimääräistä virtausta.

Virtaus on Leanin termi, jossa on kyse tuotannon prosessin tasaisesta etenemisestä ja imuohjatusta virrasta, josta on poistettu kaikki arvoa syövä toiminta. Näin ollen parannetaan myös organisaation prosessin kannattavuutta. Virtaustehokkuuden esteenä on kuitenkin yleensä jokin seuraavista: ylikuormitus (muri), hukka (muda) tai vaihtelu (mura). Näistä jälkimmäinen eli vaihtelu on merkittävin, sillä se on yleensä syytä aiheuttamaan

hukkaa ja ylikuormitusta. Vaihtelua aiheuttavat suunnittelutyössä esimerkiksi työkuorman vaihtelu eri päivinä, niin sanottu tulipalojen sammuttelu tai henkilöiden osaamiserot. [17.]

Hukalla tarkoitetaan Lean-filosofiassa kaikkea sitä, mikä ei tuota prosessissa lisäarvoa asiakkaalle. Toyotan Lean-ajattelussa hukkaa ovat perinteisesti ylituotanto, odottaminen, tarpeeton siirtäminen, yliprosessointi, ylivarastointi, tarpeeton liike ja viat/virheet. Siihen voidaan laskea mukaan myös osaamisen vajaa käyttö. Arvon luonti asiakkaalle onnistuu eliminoimalla hukka arvoketjusta. Hukkaa, ennen kaikkea ylituotantoa pyritään vähentämään imuohjauksella, jolla tarkoitetaan, että valmistetaan vain sitä mille on asiakkaan tilaus. Monet Lean-menetelmät on kehitetty juuri hukan poistamiseen, sillä se on yksi Lean-johtamisen peruselementti. [16, s.109–110.]

5.2 Lean-ajattelun soveltaminen rakennesuunnitteluprosessiin

Suunnitteluprosessin näkökulmasta Lean-ajattelua voidaan Toyotan autotehtaan fyysisen materiaalin sijaan soveltaa tietoon, joka virtaa projektinhallintaprosessien kautta. Tiedon virratessa suunnitteluprosessin läpi, suoritettavat projektinhallintatoimet lisäävät tiedolle arvoa ja näin ollen se muuttaa lähtötiedot suoritteiksi eli tässä tapauksessa valmiiksi suunnitelmiksi. [18.]

Toimivaa suunnittelua voidaan pitää edellytyksenä virtautetulle tuotannolle. Lean-ajattelun yksi ydinasioita onkin, että suunnitteluun ja valmisteluun käytetään riittävästi aikaa, koska niiden merkitys arvonluonnille on keskeinen. Ideaalitulossa tuotannon lähtiessä käyntiin päästään etenemään häiriöttä luotujen suunnitelmien mukaisesti, eikä suunnittelua pitäisi siis enää tehdä.

Rakennuksen arvon tuotto voidaan katsoa perustuvan alkuvaiheen suunnittelun laadun parantamiseen. Mitä pidemmälle suunnittelu ja toteutus etenee sen vaikeammaksi arvon tuoton peruselementteihin, on vaikuttava. Jotta voidaan varmistaa suunnitteluprosessin arvon tuotto, tulee keskittyä sen osaprosesseihin ja yhteisen informaation laatuun. Koska yleisesti on vaikea luoda yksiselitteisiä kriteerejä suunnitelmien laatuun, voidaan sen sijaan keskittyä sosiaaliseen vuorovaikutusprosessiin pelkän teknisen suorituksen sijaan. Nähdäänkin että juuri yhteistyö ja osapuolten osallistaminen toimii arvon tuoton mahdollistajana. [16, s.51–52.]

Mikäli suunnittelutyön virtautusta halutaan parantaa toteutussuunnitteluvaiheessa, saattaa se edellyttää suunnittelun ositusta pienempiin eräkokoihin sen mukaan, miten tuotanto etenee. Eri suunnittelualojen suunnittelupaketit seuraavat toisiaan arkkitehtisuunnittelusta lähtien ja virtautus helpottaa sitä mukaa, mitä detaljoidummalle suunnittelutasolle edetään. Siinä missä normaalisti sarjatuotannon logiikka perustuu siihen, että luodaan suunnitelmia etuajassa samaan aikaan muiden samanlaisten rakennusosien kanssa, voidaankin pyrkiä suunnittelutyön imuohjaukseen. Tavoitteena imuohjatussa suunnittelutyössä olisi keskittyä varmistamaan, ettei suunnitelmia aloiteta liian aikaisin puuttuvin lähtötiedoin ja toimiteta puutteellisina, vaan työvaihe käynnistyy vasta kun sille on tarve. Virtautusta voidaan tarkastella lopulta esimerkiksi elementtisuunnittelussa, jossa erä koko voi olla yksi elementtikuva, joka etenee omana yksikkönään suunnittelu-, valmistus-, toimitus-, ja asennusprosessissa. [16, s.165–166.]

Suunnitteluprosessissa luodaan myös hukkaa suunnitelmien tarkkuustasoihin nähden. Suunnitteluprosessin hukkaa, on kaikki sellainen toiminta, mikä ei tuota lisäarvoa prosessille ja on näin ollen turhaa ja tuottamatonta. Alla olevassa taulukossa on listattuna seitsemän perinteistä erityyppistä hukkaa sekä niiden soveltuminen suunnitteluprosessin näkökulmaan. [18.]

Taulukko 1. Hukan eri muodot ja esimerkit suunnittelu näkökulmasta. Muokattu lähteestä [18]

| Hukka | Esimerkki suunnittelunäkökulmasta |
|-----------------------|---|
| Tarpeeton liike | Ongelmat tiedonkulussa prosessien välillä |
| Ylivarastointi | Liikaa tietoa, monimutkainen hakujärjestelmä, keskeneräinen työ |
| Yliprosessointi | Suunnittelemattomat ylityöt, ylikuormitetut resurssit, liialliset tarkastukset ja luovutukset sekä liian monien välitulosten tuottaminen, liian monta iteraatiota, tarpeettomat muutokset |
| Virheet | Uudelleentyöstö, väärät arviot, muunnosvirheet, epätarkat tiedot, sopimaton suunnittelun tarkastus, epäselvät hyväksymiskriteerit |
| Tarpeeton siirtäminen | Tietojen etsiminen, suoran pääsyn puute tietoihin, ei yhteiskäyttöä |
| Odottaminen | Tietoa saatiin liian aikaisin, tietoa ei ole saatavilla, työtä ei tehdä |
| Ylituotanto | Liian paljon yksityiskohtia, tarpeetonta tietoa, liiallinen jakelu |

5.3 Lean-työkaluja suunnitteluprosessien kehittämiseen

Lean-ajattelussa on keskeistä ongelmien esiin tuominen ja ratkaisu, joten tähän tarkoitukseen on myös kaikki Leanin työkalut luotu. Kun nykytilaa tarkastellaan ja siellä havaitaan ongelma, sitä ei nähdä epäonnistumisena vaan mahdollisuutena parantaa toimintaa. Vain ongelmia esiin nostamalla ja työkaluja hyödyntämällä voidaan päästä lähemmäksi niin sanottua ideaalitilaa. Tässä nostetaan esille muutamia Lean-työkaluja, joita voidaan soveltaa myös rakenne- ja elementtisuunnitteluprosesseihin.

5.3.1 Juurisyyanalyysi 5 x miksi

5 x miksi on yksinkertainen työkalu ongelmien ratkaisun ytimeen. Sen tarkoituksena on, ettei pyritä poistamaan pelkästään näkyvää haittaa vaan selvitetään ongelman lähtökohta eli juurisyy. Viittä kysymystä pidetään ohjeellisena määränä kysymyksiä, joiden avulla kaivaudutaan syvemmälle ongelmaan ja selvitetään, miksi ongelma ilmeni. Kysymyksien avulla edetään taaksepäin prosessissa niin kauas, että saadaan ongelman lähtökohta selville. Analyysissä ei jäljitetä syyllistä vaan syytä, miksi virhe tapahtui ja mikä on se tekijä, joka löytyy päällepäin näkyvän syyn takaa. [16, s.132–134.]

Alla olevassa taulukossa on esimerkki 5 x miksi -juurianalyysistä, jossa on lisäksi esitetty jokaisen kohdan mukaiset mahdolliset toimintatavat prosessin parantamiseksi.

Taulukko 2. Mallinnusongelman viiden miksi- kysymyksen analyysi. Pohjana käytetty lähde [16, s.133]

| Ongelma | | Korjaava toimenpide |
|---|-------------|---|
| Parvekelaatan elementtikuvasta puuttuu parvekeputket. | Miksi? ↓ | Tarkistetaan onko vika mallissa. |
| Ne ovat väärällä class-numerolla mallissa, eivätkä siten näy piirustuspuolella. | Miksi? ↓ | Korjataan class- numero malliin numerointi ohjeistuksen mukaiseksi. |
| Mallintaessa niitä ei ole mallinnettu ohjeen mukaan. | Miksi? ↓ | Muistutetaan kaikkia mallintajia mallinnohjeesta ja varmistetaan, ettei samanlaisia ongelmia löydetä muualta |
| Edellisessä mallinnusvaiheessa ei ole mallinnettu elementtisuunnitelmia huomioon ottaen. | Miksi? ↓ | Aletaan kiinnittämään huomiota jo alustavan rakenneosamallin kohdalla siihen että kaikki tehdään numerointi ohjeiden mukaisesti. |
| Edellisen vaiheen mallintaja ei ole tiennyt ohjeistusta tai olettanut ongelman korjaantuvan seuraavassa vaiheessa. | Miksi? ↓ | Sovitaan yhteiset toimintatavat ja lisätään päämallintajan roolin merkitystä mallin tarkastamisessa sekä korostetaan mallinuskurin ja itselleluovutuksen tärkeyttä. |
| Mallintajalla ei ole ollut kunnollista ohjeistusta tai ei ole tiennyt oikeita toimintatapoja. Mahdollisesti sama ongelma on esiintynyt myös aiemmissa projekteissa. | | Huolehditaan siitä, että tiedossa on jokaisen mallintajan osaamistaso ja käydään ohjeistusta läpi koulutuksissa sekä uuden projektin alkaessa. |

5.3.2 Riippuvuusmatriisi

Riippuvuusmatriisi tai vaihtoehtoisesti *Design Structure Matrix* (DSM) on tekniikka, jossa eri tehtävien väliset riippuvuudet esitetään neliönmuotoisessa taulukossa. Perinteisten aikataulujen esitystavoista poiketen se osoittaa myös päällekkäiset ja iteratiiviset tehtävät. Rakennusalalla sitä on käytetty nimenomaan suunnittelutehtävien rakenteen ja etenemisen suunnitteluun.

Suunnittelussa iteraatiot ovat normaaleja ja yleensä välttämättömiä parantamaan suunnitelmien laatua. Tätä on muun muassa eri suunnittelualojen yhteensovitus, jossa esimerkiksi talotekniikan mahdollistamiseksi on palattava muuttamaan rakenne- tai arkkitehtisuunnitelmia. Hukkaa iteraatiosta muodostuu silloin kun toisessa suunnitteluvaiheessa on edetty liian pitkälle suhteessa muihin suunnittelualoihin ja eikä olla huomioitu niiden vaikutuksia omaan työhön tarpeeksi ajoissa.

Riippuvuusmatriisi auttaa määrittämään töiden oikean etenemisjärjestyksen ja täten hallitsemaan iteraatiosta syntyvää mahdollista hukkaa. Sen tarkoitus on auttaa hahmottamaan toisistaan riippuvia tehtäviä, joita on muuten hankala havaita. Riippuvuusmatriisiin on lisäksi tarkoitus kuvata suunnittelutehtävien toteutusjärjestystä, joten hyvänä lähtötietona voi toimia esimerkiksi tehtävälisat ja lähtötietoluettelot. Näiden pohjalta kullekin tehtävälle määritetään tehtävä, jolta ne saavat tietoa ja vastaavasti tehtävät, joille ne tuottavat tietoa. [16, s.135–136.]

| | task 1 | task 2 | task 3 | task 4 | task 5 | task 6 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| task 1 | | X | | | X | |
| task 2 | | | X | X | | |
| task 3 | X | | | X | | |
| task 4 | | | | | | X |
| task 5 | | | | X | | |
| task 6 | | | | | | |

Kuva 5. Riippuvuusmatriisin periaatekuva. [19.]

6 Yrityksen suunnitteluprosessin nykytila ja kehitysehdotukset

Jotta Lean-filosofiaa voidaan hyödyntää suunnitteluprosessin optimointiin, on ensin selvitettävä suunnitteluprosessin nykytila organisaatiossa. Tätä varten tässä luvussa käydään läpi samat aiemmin mainitut mallintavan suunnittelun suunnitteluvaiheet ja niiden toteutuminen Rambollilla. Tätä tietoa voidaan siten verrata aiemmin läpikäytyihin yleisiin ohjeistuksiin ja tehdä johtopäätöksiä suunnittelun nykytilasta.

Tiedot on kerätty kyselyn muodossa, joka on toteutettu sähköisellä lomakkeella. Kyselylomakkeen jakelukohteena olivat useat rakennesuunnittelun yksiköt, joista vastauksia saatiin lopulta yhteensä 12 henkilöltä. Kysely tapahtui anonymisti, mutta vastauksia kerättiin eri rooleissa toimivilta, jotta läpileikkaus olisi riittävä. Vastanneiden joukossa oli muun muassa rakennesuunnittelijoita, suunnittelupäälliköitä, projektipäälliköitä, osastopäällikkö ja tekninen avustaja. Vastaukset on koottu yhteen ja litteroitu objektiivisesti puhtaaksikirjoittamalla.

6.1 Yleissuunnittelu

Lähtökohtaisesti yleissuunnitteluvaihe ei vielä sisällä tietomallintamista vaan tarkoitus on usein tuottaa suunnitelmia, jotka toimivat myöhemmin myös mallintamisen lähtötietona. Näitä suunnitelmia ovat muun muassa rakennetyypit, yleisleikkaukset ja periaatedetaljit. Projektikohtaisesti voidaan kuitenkin sopia tietomallintamisesta jo tässä vaiheessa. Yleissuunnitteluvaiheen malli voi tällöin sisältää kantavien rakenteiden mallinnuksen oikealla geometrialla, ilman liitoksia. Mikäli ele-/työsaumoja ei mallinneta vastaa tietomalli YTV tarkkuustasoa 1. Sopimuksen mukaan, mikäli tässä vaiheessa on jo sovittu tehtävän elementointi, sisältää malli myös saumat ja elementtijaon ja vastaa tällöin YTV tarkkuustasoa 2. Yleissuunnitteluvaiheessa mallintajana voi toimia rakennesuunnittelija itse tai vaihtoehtoisesti hän esittää periaatteet mallinnukselle ja mallinnustaitoinen suunnittelija mallintaa loput näitä periaatteita apuna käyttäen. Yleissuunnitteluvaiheessa tuotettavat dokumentit määräytyvät rakennesuunnittelun tehtäväluettelon sekä mahdollisesti sopimuksessa esitettyjen lisätehtävien mukaan. [21.]

6.2 Hankintoja palveleva suunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheeseen sisältyvän hankintoja palvelevan suunnitteluosuuden mallinnuksen tarkkuustaso määritellään sopimuksissa, mutta yleensä se on YTV:n mukainen. Tässä vaiheessa halutaan tietoja kustannuslaskentaan, eli mallista tulee selvitä ainakin elementtijako, käytettävät materiaalit ja elementtien sijainti. Geometriaa täydennetään lisäksi siten, että materiaalin määrä vastaa mahdollisimman hyvin toteutusvaihetta, eli tehdään aukkojen ja hormien mallinnus koon ja sijainnin puolesta.

Hankintoja palveleva suunnittelu sisältää myös tyyppielementtien tekemisen urakkakyselyä varten. Tyyppielementit mallinnetaan mahdollisimman hyvin vastaamaan toteutettavaa elementtiä eli ne sisältävät oikeanlaisen detaljoinnin, valutarvikkeet ja raudoitusperiaatteen. Tarkkuustasoltaan hankintoja palvelevan suunnitteluvaiheen tietomallin voidaan katsoa vastaavan YTV:n tasoja 2 ja 3. [21.]

Tässä vaiheessa elementtisuunnittelua ohjaavan henkilön, projektipäällikön, vastaavan rakennesuunnittelijan tai muun ohjaajan ohjeistuksen alaisuudessa mallia täydentää toteutuskelpoiseksi suunnittelija ja/tai mallintaja. Myös tekninen avustaja voi tehdä mallinnusta ja luoda piirustuksia suunnittelijan ohjaamana.

Hankintoja palvelevan suunnittelun tuloksena syntyy mittapiirustukset sisältäen esimerkiksi peruserroksen, paalutusten, perustusten, alapohjan sekä vesikaton tasokuvat. Leikkauksia täsmennetään perustusleikkausten ja vesikattoleikkausten sekä liitosdetaljiin osalta. Tyyppielementeistä tehdään tulosteet ja elementtien sijainnit esitetään elementti- ja julkisivukaavioissa. Tyyppielementtien lisäksi voidaan luoda myös muita periaatteellisia piirustuksia esimerkiksi tasojen tai paikallavalurakenteiden raudoituksesta kustannuslaskentaa varten. [21.]

6.3 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheen mallinnuksen tarkkuustaso on nykyään Rambollin hankkeissa enenevässä määrin tarkkuustasoa 4. Tällöin mallin tulee vastata tarkkuudeltaan toteutettavaa rakennusta sopimusten mukaan. Tässä vaiheessa elementit detaljoidaan ja niihin mallinnetaan liitokset ja valutarvikkeet. Elementtien raudoitus tehdään joko malliin tai erillisinä dwg-tiedostoina. Toteutussuunnittelussavaiheessa tulee tehdä myös eri suunnittelualojen lopullinen yhteensovitus ja tietomallipohjainen reikäkierto.

Projektiokohtaisesti malli voi kattaa vain kantavat rakenteet yksityiskohtineen, mutta sovittaessa voidaan mallintaa myös täydentäviä rakenteita. Malliin lisätyt komponentit tulee tehdä tarkasti oikein ja suunnitelmat toteutuskelpoisiksi.

Toteutussuunnitteluvaiheen tuloksena syntyy kaikki ne toteutussuunnitelmat, jotka sopimukseen kuuluvat. Tämä käsittää kaikkien kerrosten mittakuvat, reikäkuvat, detaljit, raudoituskuvat, tartuntapiirustukset, ajantasaiset tietomallit ja kaikki loput dokumentit, joita ei edellisissä suunnitteluvaiheissa luotu. Riippuen mallinnustasosta voidaan suunnitelmat tuoda suoraan Teklasta ja/tai täydentää niitä Autocadissa, esimerkiksi raudoitusten osalta. [21.]

6.4 Suunnitteluprosessin haasteet

Tämän luvun tarkoituksena oli kartoittaa, millaisia haasteita suunnitteluprosessiin voi mahdollisesti sisältyä ja millaisiin asioihin voisi lisätä ohjeistusta tai työkaluja prosessin sujuvoittamiseksi. Kyselyssä käsiteltävät aihealueet koskivat lähtötietoja, tiedonhallintaa, osaamista, johtamista, ajankäyttöä sekä toteutussuunnitteluvaiheen suunnitelmien korjaustarvetta.

6.4.1 Lähtötiedot ja tiedonhallinta

Suunnittelun käynnistyessä haasteet saattavat näkyä puutteellisina lähtötietoina. Aikataulut edellyttävät tietynlaista työahtia, mutta jos lähtötietoja ei ole tähän mennessä saatu tai ne muuttuvat suunnittelun aikana, aiheuttaa se aina lisätyötä. Kuormatietojen puutteellisuus vaikuttaa siihen, miten rakennusta suunnitellessa rakenneosia joudutaan mitoittamaan enemmän varman päälle, kun taas tarkempien lähtötietojen kanssa voidaan harjoittaa optimointia ja tuoda laskentatulokset lähemmäksi toteutuvaa tilannetta. Myös eri suunnittelualojen eriaikaisuus lähtötietojen toimittamisessa vaikeuttaa suunnittelun etenemistä ja aiheuttaa muutoksia jo tehtyihin suunnitelmiin. Yleisimmin ristiriidat huomataan yhteensovituksessa RAK ja TATE-suunnittelun välillä tai RAK ja ARK-suunnittelun välillä vasta silloin, kun suunnittelu on jo edennyt. [21.]

Kyselyn perusteella, projekteissa tulee kiinnittää huomiota viestintään sekä sisäisesti että ulkoisesti. Projektisuunnitelmassa tulee sopia selkeästi vastuuhenkilöt ja kommunikointitavat, jotta vältytään epäselvyyksiltä sovitusta yhteyshenkilöistä ja isoissa

projekteissa suunnittelun rajapinnoista. Tällä tavoin huolehditaan siitä, että tieto saavuttaa oikean henkilön.

Sisäinen tiedonhallinta vaikeutuu myös siinä vaiheessa, jos ei olla sovittu henkilöä, joka tiedon muuttuessa sitä päivittää. Esimerkkinä referenssien päivittäminen tulee olla sovittuna projektiryhmän kesken, kenelle tieto lähtötietojen muuttumisesta kulkeutuu ja kuka tiedottaa tästä eteenpäin. Myös kommunikointi eteenpäin eri suunnitteluvaiheiden välillä voi aiheuttaa haasteita, mikäli mallintajat vaihtuvat ja epäselvyydet mallin tai lähtötietojen oikeellisuudesta tai vajavaisuudesta ei tule mallintajan tietoon. [21.]

6.4.2 Osaaminen ja johtaminen

Uudessa projektiryhmässä ei välttämättä tunneta täysin henkilöiden osaamistasoja, joka vaatii selvitystä projektin alussa ja sen mukaista ohjausta läpi projektin. Tietomallissa työskentelee monesti useassa eri roolissa toimivia henkilöitä, jotka eivät välttämättä itsekään tunnista omaa tietotasoaan. Osaamistason tunnistaminen ja riittävän ohjauksen takaaminen voi muodostua haasteeksi, mikäli sitä ei otettaisi huomioon jo projektin resursoinnissa. Kyselyyn vastanneiden mukaan on tärkeää, että projekteihin on nimetty riittävän haastetason omaava asiantuntija, jolle on varattu jokin osa viikosta kysymyksiin ja tuen antamiseen varsinaiselle suunnittelijalle.

Johtamiseen liittyvät haasteet voivat olla sidoksissa kiireeseen ja monen projektin samanaikaiseen hallitsemiseen. Mikäli projektipäällikön resurssit jakautuvat epätasaisesti eri projektiryhmien välillä voi haasteeksi muodostua aika seurata, tarkastaa tai suunnitella itse. Projektiryhmälle kommunikointi lähtötiedoista tai niiden muutoksista voi tapahtua viiveellä ja puutteellinen tietotaito mallinnuksesta konkreettisella tasolla saattaisi näkyä mallinnuksen kannalta esimerkiksi riittämättömässä tarkkuustasossa. [21.]

6.4.3 Ajanhallinta ja toteutussuunnitelmien korjaamistarve

Projektin alkupuolella tehtävällä työllä on merkitystä siinä, kuinka haasteita voidaan ehkäistä projektin aikana. Haasteet ajanhallinnassa voivat olla kytköksissä muun muassa tehtävään pohjatyöhön, jolla perusasiat olisivat työn toteutettavuuden kannalta valmiina. Tämä pitäisi sisällään esimerkiksi laskentamallin paikkansapitävyyden, tarvittavat yleisleikkaukset lähtötiedoksi, sopivaan aikaan aloitettu mallintaminen ja valmiiden

piirustus pohjien tekeminen Teklaan. Toisaalta liian tarkka mallintaminen puutteellisilla tai muutosuhan alla olevilla lähtötiedoilla nähdään myös haastavana arvioidessa projektien työkuormaa ja sen vaatimaa työmäärää suhteessa siitä saatavan hyödyn kanssa.

Yllä mainittujen asioiden lisäksi ajatuksena oli selvittää millaiset asiat aiheuttavat eniten muutoksia elementtisuunnitelmiin. Elementtisuunnitelmat ovat toteutussuunnitteluvaiheen tuotoksia ja siten ovat käyneet läpi jo aiemmat suunnitteluvaiheet.

Haasteena sekä edellytyksenä elementtisuunnitelmien onnistumiselle voidaan pitää yhteensovituksen onnistumisesta, edellisen suunnitteluvaiheen mallin tarkastamista ja varmistamista esimerkiksi korkomaailman ja elementtien geometrian oikeellisuudesta. Vastuu ei kuitenkaan ole vaan suunnitelmien tarkastajalla, vaan myös jokaisella suunnittelijalla ja mallintajalla itsellään. Itselle luovutuksen merkitys tarkastusprosessissa on tarkoitus vähentää työkuormaa yhdelle ihmiselle, jotta todennäköisyys virheille vähenee. [21.]

6.5 Suunnitteluprosessin kehittäminen

Tämän osion on tarkoitus selvittää, miten nykyisiä toimintatapoja voitaisiin parantaa, jotta suunnitteluprosessi olisi entistä sujuvampi. Eli millä tavoin aiemman kohdan haasteita voisi ehkäistä tai prosessia kyseisen asian osalta parantaa.

6.5.1 Lähtötiedot ja tiedonhallinta

Lähtötietoihin liittyvät kehitysehdotukset painottavat kommunikointia säännöllisesti sekä päämallintajan roolia. Yhteensovittaminen vaatii aktiivisuutta ja palaverieita sekä yhteisten aikataulujen luontia ja niiden noudattamista. Olennaista on käydä läpi suunnitteluaiakataulu yhdessä tilaajan kanssa ja lähtötietoaikataulu muiden sidosryhmien kanssa.

Haasteita läpikäydessä kävi ilmi, että suunnittelu voidaan joutua aloittamaan puutteellisin lähtötiedoin. Kehitysideana tarvittavista lähtötiedoista tulisi luoda oma luettelonsa, jonka täydennettyä tiettyyn pisteeseen suunnittelu voidaan vasta aloittaa.

Projekteissa pitäisi välttää myös synnyttämästä liian tiukkaa raja-aitaa suunnittelijoiden välillä, edellyttäen kuitenkin selkeää työnjakoa, jottei synny päällekkäistä työskentelyä. Olennaista on, että projektin aikana kartoitetaan, tasaisin väliajoin tulevat työvaiheet ja

selvitetään, mitä tietoja mallintajat tarvitsevat, jotta pääsevät etenemään työssään sula-
vasti eteenpäin. Mikäli näitä lähtötietoja ei ole vaadittu tarpeeksi ajoissa, työ joko kes-
keytyy tai suunnitellaan vajavaisin tiedoin.

Myös päämallintajan roolia on hyvä painottaa jokaisessa projektissa, johon tietenkin liit-
tyy päämallintajien koulutus ja vastuualueiden kartuttaminen [21].

6.5.2 Osaaminen ja johtaminen

Osaamiseen on panostettava ja eri rooleja tarvitaan projektiryhmässä. Mallintavaan
suunnitteluun tai sen ohjaamiseen osallistuu yleensä vastaava rakennesuunnittelija, pro-
jektipäällikkö, kokeneempi suunnittelija, nuorempi suunnittelija/mallintaja/piirtäjä ja pro-
jektiassistentti sekä tietomallivastaava. Resursoinnissa tulee pyrkiä siihen, että sekä oh-
jaavaa, että tekevää porukkaa on oikeassa suhteessa. Suunnittelun alussa olisi hyvä olla
enemmän ohjaavaa työskentelyä ja osaavia asiantuntijoita, jolla minimoidaan virheiden
syntymistä heti alkuun. Mallintajia tulee ohjata, joku suunnittelua ymmärtävä ja nuorem-
pia suunnittelijoita kokeneempi suunnittelija. Suunnittelijan tulee ymmärtää vähintään
ratkaisujen perusteet ja periaatteet, jotta voi antaa ohjeistusta eteenpäin ja kaikkien mal-
lissa toimivien tulee ymmärtää miten oma työ vaikuttaa toisen tekemiseen.

Johtamisen kehittäminen koskee ennen kaikkea sitä, miten asioita kommunikoidaan pro-
jektiryhmälle ja miten työn seuranta harjoitetaan. Painotetaan sitä, että projektiryhmän
on hyvä tietää eteneminen ja tilanne myös muiden henkilöiden ja suunnittelualojen suh-
teen. Tämän mahdollistaa viikoittaiset palaverit, yhteiset projektipäivät sekä selkeä teh-
tävälista, joka on sidottu aikatauluun ja budjettiin. Työtä johtavan on myös pystyttävä
tarjoamaan riittävä tuki työtä tekeville, jolloin myös jokaisen tekijän oma osaaminen sekä
puutteet osaamisessa tulevat herkemmin esiin. Kun osaamistaso on selvillä, työtä on
helpompi ohjata siten, että resurssit osuvat oikeisiin paikkoihin. Johtajan täytyy olla hel-
posti lähestyttävä henkilö, joka toimii suunnittelun tukihenkilönä ja osaa lisäksi keskus-
tella muistakin kuin työasioista työntekijöidensä kanssa. Johtamistaitojen lisäksi mallin-
tavaan suunnittelua johtavalta henkilöltä toivotaan myös ymmärrystä käytettävistä ohjel-
mista, kuten Tekla-taitoja. [21.]

6.5.3 Ajanhallinta ja toteutussuunnitelmien korjaamistarve

Suunnitteluprosessin sujuvoittamista katsotaan palvelevan hyvin tehty suunnittelun suunnittelu. Pohjatyö pitäisi sisällään laskelmat, yleisleikkaukset ja riittävästi detaljeja, joita varten resursoidaan osaavia tekijöitä jo alkuun. Erilaiset työkalut nähdään tässä myös ratkaisevana tekijänä. Laskentamallista saatua tietoa on mahdollista siirtää monin tavoin paremmin hyötykäyttöön ja näin ollen esimerkiksi elementtisuunnittelijalle. Automatisoinnilla voidaan pyrkiä esimerkiksi hoitamaan raudoituksia ja reikäkiertoa, jonka oikeellisuudesta mallissa huolehtisi esimerkiksi osaava päämallintaja. Suunnitteluprosessin sujuvoittaminen vaatii ennen kaikkea hyvää aikatauluttamista sekä ahkeraa kommunikatiota tilaajan kanssa.

Lähtötietojen puutteet, aikataulupaine ja muutosten katsotaan aiheuttavan ensisijaisesti korjaamistarvetta elementtisuunnitelmiin. Tässäkin painotetaan aikaisempien suunnitteluvaiheiden merkitystä sekä ensimmäisten elementtisuunnitelmien perusteellista läpikäymistä. Lähtötiedot ja suunnitteluperiaatteet tulee olla hyvin löydettävissä ja läpikäytyjä suunnitteluryhmän jäsenten kanssa, jotta voidaan varmistua yhdenmukaisesta työkentelystä sekä aloituspalaverissa sovittujen käytäntöjen toteutumisesta. Tarkastaminen vaatii sekä mallin, että piirustusten tarkastamisen laatusuunnitelman mukaisesti ja jokainen on lisäksi vastuussa itselle luovutuksesta.

Elementtien suunnittelua nopeuttaa hyvin tehdyt mallielementit, jotka toimivat oikein suunniteltuina hyvänä lähtötietona. Onkin olennaista, että urakkavaiheen mallinnuksessa olisi jo mukana tiettyjä osaamisvaatimuksia vastaava henkilö, joka huolehtisi mallielementtien suunnittelusta jo aikaisessa vaiheessa. Muista lähtötiedoista olisi sen sijaan hyvä pitää lähtötietoasiakirjaa ja pyrkiä, ettei suunnittelua jatketa ennen kuin periaatteet ja muiden suunnittelualojen lähtötiedot ovat selvillä.

Projektiryhmälle tarvitaan riittävän tarkka ohjeistus sekä tarvittaessa ulkopuolinen tarkastaja piirustuksille, jotta laatutaso säilyy, eikä mahdollisille virheille sokeuduta [21].

7 Tulokset ja johtopäätökset

Työssä on käyty läpi rakenne- ja elementtisuunnittelun prosessia, niiden eri suunnittelu- vaiheita ja vaatimuksia. Tätä on tarkasteltu ennen kaikkea mallintavan suunnittelun näkökulmasta, johon suunnittelu tänä päivänä paljolti painottuu. Nykyisistä toimintatavoista kerättiin tietoa myös organisaation sisältä ja vastaukset noudattelivat hyvin yleistä ohjeistusta. Tästä voitiin päätellä työntekijöillä olevan hyvä ymmärtäminen suunnitteluun liittyvistä ohjeista ja yleisten käytäntöjen toteutuvan Rambollilla hyvin. Kyselyvastausten perusteella voitiin siten poissulkea, että suunnitteluprosessissa olisi nähtävissä yleisten ohjeistusten ymmärtämättömyyttä, hyödyntämättömyyttä taikka laiminlyöntiä.

Seuraavat kysymykset koskivat vastanneiden omia arvioita suunnitteluprosessien ongelmakohdista. Vastaukset avasivat hyvin suunnittelijoiden kykyä tunnistaa suunnitteluprosessiin liittyviä mahdollisia solmukohtia ja niistä saatiinkin kattavasti esimerkkejä. Vastauksien perusteella tulee kiinnittää huomiota esim. suunnittelun lähtötietoihin, riittävään pohjatyöhön, eri suunnittelualojen yhteensovitukseen sekä tiedon siirtämiseen suunnittelijalta toiselle ja edellisestä vaiheesta seuraavaan. Kyselyn viimeisessä osiossa pyydettiin esittämään konkreettisia kehitysehdotuksia ja näissä painotettiin kommunikoinnin säännöllisyyttä, päämallintajan roolia, lähtötietoluettelon täydentämistä tiettyyn pisteeseen ennen suunnittelun aloittamista, projektiryhmän ajan tasalla pitämistä muiden suunnittelualojen suhteen ja riittävää suunnittelun suunnittelua.

Työn tavoitteissa oli, että mikäli kyselyvastausten perusteella nousee esiin jokin asia mitä voitaisiin pyrkiä suodattamaan pois suunnitteluprosesseista, voitaisiin tuloksen pohjalta käyttöönottaa, jokin Lean-filosofian työkaluista. Lean-filosofia, jonka lähtökohtaisena tarkoituksena on parantaa tuottavuutta ja tuottaa lisäarvoa asiakkaalle, perustuu erilaisten turhien ja tuottamattomien toimintojen poistamiseen prosessista. Näitä toimintoja kutsutaan Lean-ajattelussa hukaksi ja hukkaa eliminoidaan hyödyntäen erilaisia menetelmiä ja työkaluja. Esimerkkejä tyypillisen suunnitteluprosessin hukasta käsiteltiin yleisesti taulukossa 1 ja samanlaiset arviot mahdollisista haasteista toistuivat kyselyvastauksissa. Vastauksissa nousi esimerkkejä jokaisesta hukan erilaisesta muodosta, joita olivat: yli-tuotanto, odottaminen, tarpeeton siirtäminen, yli-prosessointi, ylivarastointi, tarpeeton liike ja viat.

Lean-ajattelumallin mukaan hukan tunnistamisen jälkeen se on pyrittävä eliminoimaan pois prosessista. Työssä esiteltiin kaksi menetelmää, jotka olivat juurisyyanalyysi 5x

miksi sekä riippuvuusmatriisi. Koska moni hukka voidaan juurisyyanalyysin ja kyselyvastausten perusteella jäljittää usein johtuvan puutteellisista lähtötiedoista tai yhteisen informaation laadusta, valikoitui hyödynnettäväksi tekniikaksi riippuvuusmatriisi eli Design Structure Matrix. Riippuvuusmatriisin avulla oli tarkoitus löytää erilaisten tehtävien sekä suunnittelualojen väliset riippuvuudet. Periaate on lähtökohdiltaan yksinkertainen ja ennen kaikkea monialahankkeisiin soveltuva, jossa useamman suunnittelualan aikataulun ja lähtötietojen yhteensovittaminen on tärkeää.

Koska jokainen talonrakennushanke sisältää useamman suunnittelualan, alkaa suunnitteluprosessi siitä, että jokainen näistä kokoaa listan työtehtävistään. Ideana on, että jokainen suunnitteluala tekee oman listauksensa työtehtävistä projektiin liittyen siinä järjestyksessä, kun ne ovat tarvetta toteuttaa. Tämän jälkeen tehtävälisterootaan yhdeksi ja täydennetään riippuvuusmatriisiin, jonka jälkeen työkalua hyödynnetään eri riippuvuussuhteiden selvittämiseen, aikatauluttamiseen ja iterointiin.

8 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön taustalla vaikutti halu selvittää työnjakoa ja prosessien etenemistä rakenne – ja elementtisuunnittelun välillä eli toisin sanoen eri suunnitteluvaiheiden välillä. Rakennesuunnittelu käynnistyy usein jo ehdotusvaiheessa ja elementtisuunnittelu tulee mukaan siinä vaiheessa, kun rakennus päätetään toteuttaa elementtirunkoisena. Varsinaisen elementtisuunnittelun on kuitenkin pitkälti osa toteutusvaihetta, mistä syystä hyvin tehty rakennesuunnittelu tarjoaa siihen tärkeitä lähtötietoja. Ratkaisuja suunnitteluprosessin sujuvoittamiseen lähdettiin hakemaan perehtymällä sekä yleisiin ohjeistuksiin, että organisaation sisäisiin toimintatapoihin. Molemmat tukivat opinnäytetyön tarkoitusta selvittää suunnitteluprosessien kulkua, toteutumista sekä siihen liittyviä solmukohtia.

Kyselyvastaukset eivät antaneet pelkästään tietoa siitä, mikä suunnittelutyössä saataisiin nähdä haastavana vaan lisäksi siitä, millaisia asioita voitaisiin painottaa niiden ehkäisemiseksi. Näin ollen työn tavoitteen mukaisesti onnistuttiin keräämään myös konkreettisia esimerkkejä siitä, millaisia asioita mahdollisissa kehitysryhmissä voidaan alkaa ajamaan eteenpäin, entistä sujuvampien prosessien takaamiseksi. Näiden lisäksi ne antoivat tärkeää lähtötietoa Lean-filosofian hyödyntämiseen suunnittelun kehittämisestä, jonka lopputuloksena syntyi riippuvuusmatriisin käyttöohje yrityksen käyttöön.

Lean-filosofian oli alusta alkaen tarkoitus edustaa pienempää osaa työstä, eikä olla niinkään työn keskipisteessä. Työn aikana kävi kuitenkin ilmi, kuinka merkittävä hyöty se voi olla suunnittelutyön sujuvoittamisen kannalta. Kuten tuloksissa huomattiin, haasteiden keskiössä ei suinkaan ole yleiset ohjeistukset vaan prosessi itsessään. Viimeistään kyselyvastausten pohjalta saatettiin huomata, kuinka paljon erilaista hukkaa suunnittelutyö voi mahdollisesti pitää sisällään projektista riippumatta. Näkyvän hukan lisäksi, tarkemmalla tarkastelulla Lean voisi potentiaalisesti paljastaa myös monta näkymätöntä hukan muotoa, oikeita menetelmiä hyödyntäen.

Jatkotutkimuksen aiheena voitaisiinkin perehtyä Lean-filosofiaan vielä syvällisemmin suunnittelun näkökulmasta sekä tuoda yhä useampia menetelmiä osaksi suunnitteluprosessien parantamista. Koska sekä kirjallisuus, että työntekijöiden omat näkemykset painottivat ennen kaikkea pohjatyön tärkeyttä, voisi jatkossa painottaa kehitystyötä projektien alkupäähän, jossa virheitä on helpointa ennaltaehkäistä. Lisäksi mallintamiseen liittyvän ohjeistuksen selkeyttäminen yksittäiselle suunnittelijalle ja toimintatapojen standardointi organisaation sisällä, ovat kehityskohteena merkittäviä.

Opinnäytetyön tekijän näkökulmasta tiedonhaku ja kyselyvastausten referointi, opettivat paljon omaan työhön liittyvistä vaatimuksista ja odotuksista. Tekla Structures on ollut työelämässä tärkeimpiä työkalujani, joten ohjeistuksen ja eri mallinnusvaiheiden syvällisempi ymmärtäminen on olennaista myös oman työsuoritteeni kannalta. Työn tilaajan eli Rambollin tavoitteet työn suhteen oli hakea ratkaisuja suunnitelmien välisiin ristiriitoihin sekä tietomallipohjaisen suunnitteluprosessin kehittämiseen. Kattavien kyselyvastausten sekä Lean -työkalun avulla tähän tarpeeseen pyrittiin vastaamaan. Varsinainen työ alkaa kuitenkin tilaajayrityksen työryhmissä, jossa päätetään, miten esille nousseiden asioiden suhteen jatkossa menetellään.

Lähteet

- 1 Ramboll Finland Oy. Hyvä yritys, <https://hyvayritys.ek.fi/yritys/ramboll-finland-oy/> (Luettu 7.1.2024)
- 2 RT 1011222. (2016). Talonrakennushankkeen kulku, Rakennushankkeen osapuolet. Rakennustieto Oy.
- 3 RT 1011224. (2016). Talonrakennushankkeen kulku, Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Rakennustieto Oy.
- 4 RT 103087. (2019). Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18. Rakennustieto Oy.
- 5 Normit ja standardit. Elementtisuunnittelu, <https://www.elementtisuunnittelu.fi/suunnitteluprosessi/normit-ja-standardit> (Luettu 12.1.2023)
- 6 Rakenne- ja elementtisuunnittelu. Betoni, <https://betoni.com/suunnittelu/rakenne-ja-elementtisuunnittelu/> (Luettu 12.1.2023)
- 7 Suunnittelun ohjaus. Elementtisuunnittelu, <https://www.elementtisuunnittelu.fi/suunnitteluprosessi/suunnittelun-ohjaus> (Luettu 12.1.2023)
- 8 RIL 229-1-2020. (2020) Rakennesuunnittelun asiakirjaohje.
- 9 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 1. Yleinen osuus. Buildingsmart, <https://drive.buildingsmart.fi/s/7FPE7tGocYZw8BY> (Luettu 12.1.2023)
- 10 YTV2012 osa 2 lähtötilanteen mallinnus, <https://drive.buildingsmart.fi/s/27tpdZ3Aisodxmy> (Luettu 12.1.2023)
- 11 BEC2012 Elementtisuunnittelun mallinnusohje. https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23982/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje_v109.pdf (Ladattu 12.1.2023)
- 12 Tietomallinnuksen ABC. Nordic BIM, <https://www.nordicbim.com/fi/bim-tietomallinnuksen-abc> (Luettu 4.1.2024)

- 13 YTV2012 osa 5 rakennesuunnittelu
<https://drive.buildingsmart.fi/s/HS3iyQg8WBZmMbM> (Luettu 12.1.2023)
- 14 YTV2012 Täydentävä liite RAK Tilaajan ohje
<https://drive.buildingsmart.fi/s/nbkdRZ9zLHGCL6n> (Luettu 12.1.2023)
- 15 Tuotemallintamisen periaatteet. ARKit, http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/tuotemallintamisen_periaatteet.htm (Luettu 8.7.2023)
- 16 RIL 276-2021. (2021). Lean rakentamisessa
- 17 Torkkola, Sari: Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Alma Talent 2015.
- 18 Lean Project Management. PMI, <https://www.pmi.org/learning/library/lean-project-management-7364> (Luettu 8.7.2023)
- 19 The Design Structure Matrix (DSM). dsmweb.org, <https://dsmweb.org/tutorial-overview/> (Luettu 10.12.2023)
- 20 Riippuvuusmatriisi – Design Structure Matrix (DSM). LCI, <https://lci.fi/lean-rakennusalalla/menetelmakuvaukset/design-structure-matrix-dsm-riippuvuusmatriisi/> (Luettu 10.12.2023)
- 21 Rambollin työntekijät. Kysely sähköisellä lomakkeella. 22.2.2023. Litte-roitu.

Kyselylomake

Liite 1. Sisältää työssä käytetyn sähköisen kyselyn sisältämät kysymykset.

Haastattelukysymykset opinnäytetyötä varten

1. Vastaajan titteli organisaatiossa *

1. Suunnitteluvaiheet

Haastattelukysymysten ensimmäisen osan on tarkoitus kartoittaa Rambollin nykyisiä mallintavan suunnittelun toimintatapoja eri suunnitteluvaiheissa, jotta niitä voidaan verrata yleisiin elementti(- ja rakenne)suunnittelua koskeviin ohjeistuksiin.

1.1 Yleissuunnitteluvaihe

Kysymyksillä halutaan selvittää millä tavalla tietomallinnus on osana yleissuunnittelua ja millaisia suunnitelmia tässä vaiheessa luodaan.

2. Kuka mallintaa?
(esim. mallintajan osaamistaso/rooli/titteli)
3. Mitä mallinnetaan?
(mikä on mallin tarkkuustaso tässä vaiheessa)
4. Mitä suunnitelmia luodaan?

1.2 Hankintoja palveleva suunnittelu

Kysymyksillä halutaan selvittää millä tavalla tietomallinnus on osana urakkavaiheen suunnittelua ja millaisia suunnitelmia tässä vaiheessa luodaan.

5. Kuka mallintaa?
(esim. mallintajan osaamistaso/rooli/titteli)

6. Mitä mallinnetaan?
(mikä on mallin tarkkuustaso tässä vaiheessa)

7. Mitä suunnitelmia luodaan?

1.3 Toteutussuunnittelu

Kysymyksillä halutaan selvittää millä tavalla tietomallinnus on osana toteutusvaiheen suunnittelua ja millaisia suunnitelmia tässä vaiheessa luodaan.

8. Kuka mallintaa?
(esim. mallintajan osaamistaso/rooli/titteli)

9. Mitä mallinnetaan?
(mikä on mallin tarkkuustaso tässä vaiheessa)

10. Mitä suunnitelmia luodaan?

3. Mitä haasteita suunnitteluvaiheisiin liittyy?

Tämän osion on tarkoitus selvittää millaisia haasteita suunnitteluvaiheisiin liittyy, jotka näkyvät ennen kaikkea elementtisuunnittelussa.

13. 3.1 Lähtötiedot?
(esim. eri osapuolten lähtötietojen puutteet, millaisista lähtötietojen muutoksista koituu usein suurimmat muutokset elementtisuunnittelun kannalta yms.)
14. 3.2 Tiedonhallinta?
(esim. haasteet tiedonkulussa, arkistoinnissa, tiedon haussa)
15. 3.3 Osaaminen
(eri suunnitteluvaiheiden mallintajien ja suunnittelijoiden mahdolliset puutteet osaamisessa?)
16. 3.4 Johtaminen
(eri suunnitteluvaiheiden johtamiseen liittyvät mahdolliset haasteet?)
17. 3.5 Millaisiin asioihin kuluu yleensä turhaa työaikaa?
(esim. varsinaiseen suunnitteluun liittymättömät työvaiheet, jotka projektista riippumatta saattavat vaatia paljon toistoa ja työtunteja)
18. 3.6 Elementtisuunnitelmien korjaamistarve
(mitkä asiat yleisesti johtavat elementtisuunnitelmien revisiointiin?)
19. 3.7 Muita haasteita eri suunnitteluvaiheissa tai niiden välillä?

4. Elementtisuunnitteluprosessin parantaminen

Tämän osion on tarkoitus selvittää miten nykyisiä toimintatapoja voitaisiin parantaa, jotta suunnitteluprosessi olisi entistä sujuvampi. Eli millä tavoin aiemman kohdan haasteita voisi ehkäistä tai prosessia kyseisen asian osalta parantaa?

20. 4.1 Lähtötiedot
(esim. lähtötietojen tarkastaminen, yhteensovittaminen)
21. 4.2 Tiedonhallinta

22. 4.3 Osaaminen
(millaista osaamista eri suunnitteluvaihesiin tarvittaisiin?)

23. 4.4 Johtaminen
(millainen johtaminen tukee suunnittelun onnistumista?)

24. 4.5 Suunnitteluprosessin sujuvoittaminen ja turhan työn karsiminen?
(esim. miten yksinkertaisia toistuvia prosesseja voitaisiin karsia, automatisoida tai nopeuttaa)

25. 4.6 Elementtisuunnitelmien korjaamistarpeen ehkäiseminen
(esim. millaisia toimenpiteitä ja missä vaiheessa tulisi tehdä, jotta voidaan ehkäistä toistuvat suunnitelmien korjaukset)

26. 4.7 Muita parannusehdotuksia liittyen rakenne-/elementtisuunnitteluun?

Riippuvuusmatriisin käyttöohje

Liite 2. Vain työn tilaajan käyttöön