Tampereen yliopisto

Juuso Järviö

TALOTEKNISEN TOTEUTUSSUUNNITTELU-DOKUMENTOINNIN KEHITTÄMINEN

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastajat: Professori Arto Saari
Industry Professor Piia Sormunen
06/2024

TIIVISTELMÄ

Juuso Järviö: Taloteknisen toteutussuunnitteludokumentoinnin kehittäminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2024

Talotekniikan osuus rakennushankkeissa on kasvanut ja sen on todettu eri lähteissä olevan hankkeen kompleksisuuden mukaan 20–50 % hankkeen kokonaiskustannuksista. Talotekniikan suunnittelun ja toteutuksen koordinointi vaatii monialaista osaamista sekä talotekniikan koordinoinnin onnistuminen on esitetty olevan rakennushankkeen olennainen menestystekijä. Talotekniikan suunnitteluprosessissa järjestelmät on suunniteltava rajatuin tilavarauksin niin, että ne on mahdollista toteuttaa säilyttäen järjestelmien käytettävyys sekä huollettavuus rakennuksen koko elinkaaren ajan. Taloteknisten järjestelmien suunnittelun systemaattisen ohjauksen puute yhdessä muiden suunnittelualojen kanssa johtaa kustannusten kasvamiseen, hukkamateriaalin lisääntymiseen ja hankkeen aikataulun pitkittymiseen. Työmaalla heikko koordinointi aiheuttaa purkamista sekä uudelleen asentamista, joiden takia rakennuksen huollettavuus ja käytettävyys voi heikentyä. Sekä talotekniikan suunnittelun, että toteutuksen prosesseissa on huomattu sisältävän merkittävän määrän hukkaa. Erityisen haastavaa suunnittelun ja toteutuksen koordinointi on todettu olevan rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa, kuten projektinjohtorakentamisessa. Talotekniikan roolin kasvaessa näiden prosessien haasteisiin tulee löytää ratkaisuja rakennushankkeiden tuottavuuden parantamiseksi ja elinkaaren pitkittämiseksi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa konkreettisia taloteknisen asennustyön haasteita ja tuoda esille ratkaisuehdotuksia toteutussuunnitelmien toteutuskelpoisuuden parantamiseksi. Tarkoituksena on myös tutkia, miten suunnittelun ja toteutuksen rajapinnan koordinointia voi kehittää, jotta suunnitelmien tulkinta on mahdollisimman yksiselitteistä. Lisäksi työssä analysoidaan suunnitelmien tarkkuustason ja toleranssien vaikutusta suunnitteluun ja suunnitelmien rakennettavuuteen.

Tutkimus toteutettiin konstruktiivisena tutkimuksena, sillä se tuottaa innovatiivisia konstruktioita ratkaisemaan reaalimaailman ongelmia. Työ koostuu kirjallisuusselvityksestä, empiirisestä tutkimuksesta sekä sen tuloksista. Empiirinen tutkimusosuus sisälsi havainnointiajanjakson casekohteessa, kohteen asiantuntijoiden teemahaastattelut sekä erillisen työpajan Talotekniikka 2030 -tutkimushankkeen yritysten asiantuntijoiden kesken.

Tutkimuksen tuloksena löydettiin taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen haasteiden juurisyitä sekä niihin ratkaisuehdotuksia. Tulokset jaettiin kolmeen teemaan; toteutusmuoto ja suunnittelunohjaus, rakennettavuus sekä tietomallintaminen. Keskeisinä tuloksina löydettiin suunnitelmien toimittamisen olevan epäjohdonmukaista ja epätietoisuus rinnakkaisen toteutusmuodon suunnitelmien valmiusasteesta haastaa hankintoja sekä aliurakoitsijoiden työn suunnittelua. Myös suunnitelmien sisältöä ja visualisuutta voidaan kehittää vastaamaan paremmin tuotannon tarpeita. Tietomallipohjainen suunnitelmien yhteensovitus on parantanut suunnitelmien laatua, mutta se ei vielä takaa rakennettavuutta. Suunnitelmien yhteensovitukseen sekä suunnitelmien virtaukseen tulee laatia asteittain suunnitelmia kehittävä prosessi, jossa huomioidaan suunnitelmien rakennettavuuden tarkastelu, suunnitelmien toimittaminen työmaalle ja urakoitsijan aika oman työn suunnittelulle. Tietomallia hyödynnetään asennustyön sujuvoittajana jatkuvasti enemmän ja työmaan näkökulmasta sen laadun sekä datarikkauden kehittäminen nähdään tuottavuutta parantavana. Talotekniikan koordinointi on tämän tutkimuksen mukaan hankkeen olennainen menestystekijä ja sen merkitys tulee huomioida hankkeen alusta loppuun.

Avainsanat: Talotekniikka, Toteutussuunnittelu, LVI-suunnittelu, Sähkö- ja automaatiosuunnittelu, SUKE-malli, Projektinjohtorakentaminen, Tietomallintaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Juuso Järviö: Building Services: The Development of Implementation Planning Documents
Master's thesis
Tampere University
Civil Engineering
June 2024

The role of building services in construction projects has increased in recent decades. Various sources indicate that they can account for 20-50% of the total project costs, depending on the complexity of the project. Coordinating the design and implementation of building services requires multidisciplinary expertise, and successful coordination of building services is identified as a critical success factor in construction projects. The design process for building services must ensure systems are planned within limited spatial reservations to enable installation as well as system usability and serviceability throughout the building's lifecycle. The lack of systematic guidance in the design of building services in conjunction with other design disciplines leads to increased costs, waste materials, and project delays. Poor coordination can result in demolition and reinstallation on-site, which is negatively affecting the building's maintainability and usability. Both the design and implementation processes of building services have been found to contain a significant amount of waste. Coordination challenges are particularly pronounced in projects with concurrent design and implementation, such as project management contracting. As the role of building services grows, solutions must be found to these process challenges to improve construction project productivity and extend lifecycle longevity.

This research aims to identify concrete challenges in building services installation work and propose solutions to improve the feasibility of implementation plans. The study also examines how the coordination of the design and implementation interface can be enhanced to interpret plans as straightforward as possible. Additionally, the research analyses the impact of design accuracy and tolerances of the plan's design process and constructability.

This research was executed as constructive research, as it produces innovative constructs to solve real-world problems. The study comprises a literature review, empirical research, and its results. The empirical research included an observation period at a case site, interviews with site experts, and a workshop with experts from companies involved in the Talotekniikka 2030 research project.

The research identified the root causes of challenges in building services design and implementation and proposed solutions to those challenges. The results were categorized into three themes: delivery method and design management, constructability, and building information modeling (BIM). Key findings revealed that the delivery of plans to the site is inconsistent, and concurrent design and implementation include uncertainty. This challenges procurement and subcontractor work planning. The content and visualization of plans can also be improved to meet production needs better. BIM-enabled design coordination has enhanced the quality of the implementation plans but does not yet ensure constructability. A process for gradually improving plan coordination and flow should be developed, taking into consideration constructability reviews, the delivery of plans to the site, and allowing sufficient time for contractors to plan their work. As a result, using of BIM on-site has increased in the past few years. From the site perspective, improving BIM's quality and data richness is seen as enhancing productivity. According to this study, the coordination of building services is identified as a crucial factor for the success of the project, and its significance should be acknowledged from the beginning to the end of the project.

Keywords: Building Services, Implementation Design, HVAC Design, Electrical and Automation Design, SUKE Model, Project Management Contracting, Building Information Modeling (BIM)

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

ALKUSANAT

Kuusi vuotta yliopisto-opintoja on nyt ohitse. Ne sisälsivät suuren määrän mieleenpainuneita tapahtumia ja valtavasti uusia rakkaita ihmisiä. Näihin ikimuistoisiin vuosiin on mahtunut sekä globaaleja, että henkilökohtaisia kriisejä, joiden pohjalta elämää on oppinut katsomaan eri näkökulmista. Yliopistoajan merkittävimpänä oppina näen olleenkin juuri ymmärrys inhimillisyydestä ja siitä, kuinka tärkeää ihmisten kuunteleminen, empatia ja turvallisuuden luominen on. Keväisenä hellepäivänä kokosin omia ajatuksia ylös reflektoiden kokemuksiani opinto- ja työelämästä seuraavasti:

> *”Me ihmiset oletamme liikaa. Oletamme muiden tietävän kaiken sen, mistä itse koemme epävarmuutta. Oletamme itse tietävämme, mitä muut ajattelevat ja luomme siitä itseään ruokkivan suljetun noidankehän päämme sisälle. Kehän rikkominen, sekä ihmisten kyvykkyyden spektrin hahmottaminen on avain siihen, että ihmisryhmän potentiaali maksimoidaan. Rohkeus olla avoin, tietämätön, ymmärtäväinen ja ihmistä kunnioittava on vapauttamaton menestystekijä, etenkin rakennusalalla.”*

Haluan kiittää työni ohjaajia Artoa ja Piiaa mahdollisuudesta päästä mukaan erittäin mielenkiintoiseen tutkimushankkeeseen, joka täydensi opintojani täydellisesti. Yliopiston minulle teki merkitykselliseksi ihmiset ja yhteisöllisyys. Kiitos siis kaikille ihanille ihmisille Tampereen Rakentajakillassa, PerinneSeurassa, Hiki-Hockeyssä ja muissa sidosryhmissä. Te olette antaneet enemmän, mitä pystyn sanoin kuvailemaan. Vanhempiani haluan kiittää kaikesta, mutta erityisesti siitä, kuinka aidolla läsnäololla ja huolenpidolla luodaan turvallinen kotiympäristö. Suurimman kiitoksen haluan antaa Stiinalle, jonka aito ilo sekä avoimuus ovat auttaneet jaksamaan tilanteissa, joissa omat voimavarat ovat olleet vähissä. Olen ylpeä teistä kaikista, mutta nyt olen ylpeä myös itsestäni.

Helsingissä, 19.6.2024

Juuso Järviö

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Tutkimuksen tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaus 3
1.3 Tutkimusmenetelmät 4
1.4 Työn rakenne 6
2. TALOTEKNIIKAN ROOLI RAKENNUSHANKKEESSA 7
2.1 Talotekniikan koordinointi rakennushankkeessa 7
2.2 Projektinjohtorakentaminen 9
2.3 SUKE- malli talotekniikan suunnittelun, hankinnan ja toteutuksen ohjaukseen projektinjohtohankkeissa 14
2.4 Talotekniikan suunnittelutoimeksiannot 16
2.5 Talotekniset urakkasopimukset 17
2.6 Yhteenveto 18
3. TALOTEKNIIKAN TOTEUTUSSUUNNITTELU 20
3.1 Talotekniikan toteutussuunnittelun toimintakenttä 20
3.2 Talotekniikan tietomallintamisen prosessi 22
3.2.1 Tietomallintamisen tasot, tarkkuus ja toleranssit 24
3.2.2 Törmäystarkastelut ja yhteensovitus 25
3.2.3 4D ja 5D-tietomallinnus 27
3.3 Toteutussuunnittelun yhteenveto 28
4. TALOTEKNIIKAN TOTEUTUS 30
4.1 Talotekniikan asennustyö 30
4.1.1 Lämmitys-, vesi- ja viemärityöt 32
4.1.2 Sähkötyöt 33
4.1.3 Ilmanvaihtotyöt 33
4.2 Talotekniikkaurakan laadunvarmistus 33
4.3 Talotekniikkatoteutuksen yhteenveto 35
5. TUTKIMUKSEN SUORITUKSEN KUVAUS 36
5.1 Asiantuntijahaastattelut 36
5.2 Osallistuva havainnointi Case-kohteessa 37
5.3 Asiantuntijatyöpaja 38
6. TUTKIMUSTULOKSET 41
6.1 Asiantuntijahaastatteluiden tulokset 41
6.1.1 Toteutusmuodon ja suunnittelun ohjauksen tulokset 41
6.1.2 Suunnitelmien rakennettavuus 43
6.1.3 Tietomallin hyödyntäminen 44
6.1.4 Haastattelujen yhteenveto 46
6.2 Kenttätutkimuksen havainnot 47

6.2.1 Esimerkki 1 48
6.2.2 Esimerkki 2 50
6.2.3 Esimerkki 3 51
6.2.4 Esimerkki 4 53
6.2.5 Yhteenveto kenttätutkimuksesta 53
6.3 Työpajatyöskentelyn tulokset 54
7. TULOSTEN POHDINTA JA YHTEENVETO 57
7.1 Keskeiset tulokset ja niiden suhde kirjallisuuteen 57
7.2 Tutkimuksen luotettavuus, yleistettävyys ja rajoitukset 61
8. JOHTOPÄÄTÖKSET 63
LÄHTEET 65
LIITTEET 70

KUVALUETTELO

Kuva 1. Empiirisen tutkimuksen menetelmät 5
Kuva 2. Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224, 2016) 7
Kuva 3. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa (RT 10-11226, 2016) 8
Kuva 4. Projektinjohtototeutusmuodot ja niiden keskeiset ominaisuudet (RT 103470, 2022) 10
Kuva 5. Projektinjohtorakennuttamisen organisaatiokaaviot (Kankainen & Junnonen, 2001) 10
Kuva 6. Projektinjohtopalvelun organisaatiomalli (Kankainen & Junnonen, 2001) 11
Kuva 7. Projektinjohtourakan organisaatiomallit (Kankainen & Junnonen, 2001) 11
Kuva 8. Taloteknisten suunnitelmien valmiusaste hankkeen edetessä (Kaleva, 2020) 12
Kuva 9. Rinnakkaisen toteutuksen ehdotettu prosessikuvaus (Järvinen, 2018) 13
Kuva 10. TATE-tiedonvirtaus (mukaillen Siren, 2024) 24
Kuva 11. Tietomallin kehittäminen toteutuksen mahdollistamiseksi (mukaillen Wang et al., 2015) 27
Kuva 12. Demingin -ympyrämallin mukainen tehtäväsuunnittelu (Palomäki et al., 2010) 31
Kuva 13. Talotekniikan laadunvarmistuksen prosessi (mukaillen LVI 03-10630, 2018) 34
Kuva 14. Työpajan toisen case-tehtävän havainnekuva 39
Kuva 15. Työpajan kolmannen case-tehtävän havainnekuva 40
Kuva 16. Kuvakaappaus tietomallin pääkeskustilan kaapelihyllyistä 49
Kuva 17. Kuva kohteen toteutetuista pääkeskustilan kaapelihyllyistä 49
Kuva 18. Tekniikkakäytävä kuvakaappauksena tietomallista sekä työmaalta 50
Kuva 19. Tietomallileikkaus tekniikkakäytävän talotekniikasta 51
Kuva 20. LVI-suunnitelma sekä tietomallikaappaus alapohjan viemäröinneistä 52
Kuva 21. Kuva viemäröintien toteutuksesta ryömintätilassa 52
Kuva 22. Hankalan asennusjärjestyksen alue 53

LYHENTEET JA MERKINNÄT

3D	Kolmiulotteinen
4D	Kolmiulotteinen tietomalli, johon lisätty neljänneksi ulottuvuudeksi aikataulu
5D	Kolmiulotteinen tietomalli, johon on lisätty viidenneksi ulottuvuudeksi kustannukset
CDM	Collaborative Design Management, yhteistoiminnallinen suunnittelun ohjaus
JIT	Just In Time -ajattelumalli tiedon oikea-aikaiseen virtaukseen
KVR	Kokonaisvastuurakentaminen
LOD	Level of Detail, tietomallin tarkkuustaso / Level of Development, tietomallin luotettavuustaso
LVI	Lämmitys-, vesijohto- ja ilmanvaihto
PJ	Projektinjohto
PJP	Projektinjohtopalvelu
PJR	Projektinjohtorakennuttaminen
PJU	Projektinjohtourakka tai -urakoitsija
RT	Rakennustieto
SBD	Set-Based Design, joukkopohjainen suunnittelutapa
SCRUM	Iterointiin ja arvonlisäykseen perustuva työskentelytapa
SUKE	Suunnittelun ohjausta tukevien menettelyjen kehittäminen projektinjohtohankkeissa
SÄH	Sähkö
TATE	Talotekniikka

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Talotekniikan osuus rakentamisessa on jatkuvassa kasvussa energiamurroksen sekä kehittyvien älykkäiden järjestelmien myötä. Nykypäivän rakennus vaatii kompleksisia, yksityiskohtaisia ja laadukkaasti toteutettuja järjestelmiä vastatakseen sen loppukäyttäjän sekä kilpailullisen markkinan sille asettamiin vaatimuksiin. Tämän muutoksen myötä osuus hankkeen kustannuksista sekä aikataulullisista vaatimuksista kasvaa. Talotekniisten järjestelmien ja niiden asennustyön kustannusten osuus on 15–60 % hankkeen kokonaiskustannuksista, riippuen hankkeen koosta sekä kompleksisuudesta. (Khanzode, 2010; Chen, Feng ja Lee, 2012; Hassanain *et al.*, 2018). Ajallisesti tarkasteltuna voi talotekniikan asennustyö yltää jopa 50 % rakennushankkeen kokonaiskestosta. (Riley *et al.*, 2005) Talotekniikalla on keskeinen merkitys myös rakennusten hiilijalanjäljen pienentämisessä. Suurin osa rakennuksen koko elinkaaren ajalta mitattavasta hiilijalanjäljestä syntyy käytönajan energiankulutuksesta, jota parannetaan rakennusten energiatehokkuudella sekä energiajärjestelmien päästöjä alentamalla. (Ahola ja Liljeström, 2018) Euroopan komission asettamat hiilijalanjälki- sekä energiatehokkuustavoitteet ovat kunnianhimoiset, mutta nykyaikaisten teknisten järjestelmien optimaalinen käyttö sekä suunnittelu on monimutkaista ja suuri haaste. Tulevaisuuden haasteisiin vastataan selkeillä päästö- ja energiankulutustavoitteilla, tuomalla hankkeisiin ammattitaitoa mahdollisimman aikaisin, hyödyntämällä rakennusten tuottamaa dataa monipuolisesti datan hyödyntämisen kehittyminen ja varmistamalla jatkuva oppiminen. ('Talotekniikka 2030 - Visio ja arvolupaukset', 2023)

Talotekniisten järjestelmien merkitys rakennuksen käyttäjälle muodostuvasta arvosta on tunnistettu, mutta tuotantoprosessin aikana käyttäjäarvon realisoituminen ei saa tarvitsemaansa huomiota. (Franssila ja Junnonen, 2022) Useissa eri lähteissä on talotekniisten järjestelmien suunnittelun, toteutuksen ja elinkaaren koordinoinnin todettu olevan olennainen menestystekijä. (Korman, Fischer ja Tatum, 2003; Monsberger ja Fruhwirth, 2018; Valkonen ja Seppänen, 2023). Itävaltalaistutkimuksessa 515 asiantuntijan kyselytutkimuksen tuloksena julkistettiin taloteknisen suunnittelun vajavainen huomiointi aiheuttaa merkittävän riskin konflikteille ja häiriöille rakennushankkeessa. (Monsberger ja

Fruhwirth, 2018) Korman *et al.* ovat tutkimuksissaan 2000-luvun alussa myös tunnistaneet talotekniikan prosessin hallinnan yhdeksi haastavimmaksi hankkeen osa-alueeksi etenkin kompleksisissa hankkeissa. (Korman, Fischer ja Tatum, 2003; Korman ja Tatum, 2006) Taloteknisten järjestelmien suunnittelun systemaattisen ohjauksen puute yhdessä muiden suunnittelualojen kanssa johtaa kustannusten kasvamiseen, hukkamateriaalin lisääntymiseen ja hankkeen aikataulun pitkittymiseen. Työmaalla heikko koordinointi aiheuttaa purkamista sekä uudelleen asentamista, joiden takia rakennuksen huollettavuus ja käytettävyys voi kärsiä. (Khanzode, 2010; Hassanain *et al.*, 2018)

Rakennuksen arvo määräytyy siten, miten sen lopulliset käyttäjät kokevat rakennuksen palvelevan heidän odotuksiaan sekä käyttötarkoituksiaan. Käyttäjäarvo voidaan jakaa neljään ulottuvuuteen, joihin jokaiseen taloteknisillä järjestelmillä on merkittävä vaikutus rakennushankkeita tarkasteltaessa. Ulottuvuudet ovat symbolinen, emotionaalinen, toiminnallinen ja taloudellinen. (Rintamäki, Kuusela ja Mitronen, 2007) Symbolinen ulottuvuus kuvaa rakennuksen merkityksen ja symboliikan luomaa arvoa sen käyttäjälle. Energiatehokkaat talotekniset järjestelmät, innovatiiviset kestävän kehityksen ratkaisut sekä vastuullisuussertifikaatit luovat symbolista arvoa. Emotionaalisessa ulottuvuudessa tarkastellaan käyttäjäkokemusta, johon relevantisti vaikuttavat sisäilman lämpötila ja laatu, käyttöveden saatavuus ja puhtaus, valaistus sekä paloturvallisuus. Toiminnallinen ulottuvuus määrittelee kuinka hyvin tilat mahdollistavat niiden tarkoituksenmukaisen toiminnan. Toiminnallisuuteen suuressa roolissa ovat sähkö- ja datapäätteet, WC- ja kylpyhuonetilat, hissit sekä rakennusautomaatio. Taloudellinen ulottuvuus sisältää rakennuksen hinnan muodostaman vaikutuksen käyttäjäarvoon. Talotekniikka muodostaa jopa kolmasosan rakennushankkeen investointikustannuksista sekä suurimman osan elinkaarikustannuksista, luoden näin ollen merkittävää taloudellista arvoa rakennushankkeeseen. (*Talotekniikalla on merkittävä rooli*, 2021)

Rakennuksen käyttäjäarvon tunnistettuaan tilaaja asettaa projektille sen tavoitteet, lähtötiedot ja vaatimukset toteutukselle, joiden pohjalta hankkeen suunnittelu- sekä toteutusorganisaatio kykenee luomaan ehdotuksensa toteutuksesta. Taloteknisen toteutuksen koordinoinnin onnistumiseksi tilaajan tavoitteiden ja vaatimusten selkeys on avainasemassa. Vaatimusten muuttuminen ja lisääntyminen aiheuttaa ongelmia informaation siirtymisessä projektiorganisaation osapuolten välillä. Selkeällä arvoihin pohjautuvalla johtamisella ja toimintoanalyysillä todetaan olevan merkittävä toteutustasoa edistävä vaikutus myöhemmin hankkeessa. (Shen *et al.*, 2002; Hassanain *et al.*, 2018)

Eri taloteknisten järjestelmien suunnittelua tehdään pääsuunnittelijajohtoisesti jo projektien varhaisista vaiheista lähtien ja paljon työaikaa käytetään tietomallintamiseen sekä sen törmäystarkasteluihin. Kuitenkin alalla on huomattu että, työmailla toteuttajien arvoa

tuottavan työn osuus on varsin pieni ja osassa tapauksista hukkatyön juurisyyksi on määritelty suunnittelu (Seppänen *et al.*, 2021). Rakennusalan tuottavuus ei ole kasvanut yhtenevästi verrattuna teolliseen tuotantoon ja rakennusala jopa tunnetaan sen heikosta tuottavuudesta Suomessa sekä maailmalla. (Chelson, 2010; Aslam, Gao ja Smith, 2020) Arvoa tuottamatonta työtä eli hukkaa todetaan rakentamisessa olevan 9 erityyppiä; ylituotanto, yliprosessointi, varastot, kuljetus, virheet, odottelu, liike, työntekijöiden kompetenssin alihyödyntäminen ja työn tekeminen ilman aloitusedellytyksiä. (Seppänen *et al.*, 2021) Tässä työssä käsitellään toteutussuunnitelmien tason vaikutuksia työn tuottavuuteen. Työmailla asentajat joutuvat yhteensovittamaan suunnitelmia sekä soveltamaan haluttua toteutustapaa suunnitelmien ollessa toteutuskelvottomat tai vajavaiset. Tämän tunnistetaan pienentävän asennustyön osuutta kokonaistyöajasta, luoden näin ollen hukkaa tuotantoprosessiin.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaus

Tämä tutkimustyö on osa kansallista Talotekniikka 2030 -hanketta, joka on Aalto-yliopiston ja Tampereen yliopiston tutkijoiden sekä 14 yrityksen yhteenliittymä. Ryhmän tavoitteena on edistää talotekniikka-alan kehitystä aiempaa voimakkaammin, parantaa avointa tiedonkulkua ja luoda kuvaa alan tulevaisuuden kehityssuunnista. Hankkeessa yritysten muodostama ohjausryhmä äänestää tutkittavista aiheista, jonka myötä myös tämän työn aihe valikoitui osaksi tutkimuskokonaisuutta. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa konkreettisia taloteknisen asennustyön haasteita ja tuoda esille ratkaisuehdotuksia toteutussuunnitelmien toteutuskelpoisuuden parantamiseksi. Tarkoituksena on myös arvioida eri taloteknisten osapuolien yhteistyön tasoa, suunnitelmien toimittamista työmaalle sekä suunnittelutarkkuuden ja toleranssien vaikutusta asennustyön tuottavuuteen.

Tutkimuskysymykset:

1. Mitkä ovat taloteknisten suunnitelmien keskeisimmät haasteet ja miten suunnitelmien asennuskelpoisuutta voidaan parantaa.
2. Missä muodossa ja miten ohjeistettuna suunnitelmat tulisi toimittaa työmaalle, jotta suunnitelmien tulkinta olisi ymmärrettävämpää?
3. Mihin tarkkuuteen ja toleransseihin TATE-suunnitelmilla tulisi työmaan näkökulmasta päästä, sekä miten arkkitehti- ja rakennesuunnitelmissa tulee ottaa huomioon ja esittää TATE-asennusten vaatimat toleranssit sekä asennusjärjestykset.

Työtä on rajattu niin, että se keskittyy hankkeen suunnittelun vaiheista vain toteutuksen mahdollistavaan suunnitteluun. Myöskään suunnittelun ja rakentamisen aikataulun yhteensovitukseen ei olla perehdytty laajemmin, sillä sitä käsitellään toisessa Talotekniikka-2030 tutkimushankkeessa. Lisäksi suunnittelussa keskitytään tietomallipohjaiseen suunnitteluun sen ollessa tulevaisuuden kannalta relevantimpi viitekehys, kun perinteinen 2D-suunnittelu. Tutkimus rajattiin tarkastelemaan projektinjohtorakentamisen toteutusmuotoa, sen ollessa erityisen haastava taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen yhteensovituksen kannalta.

1.3 Tutkimusmenetelmät

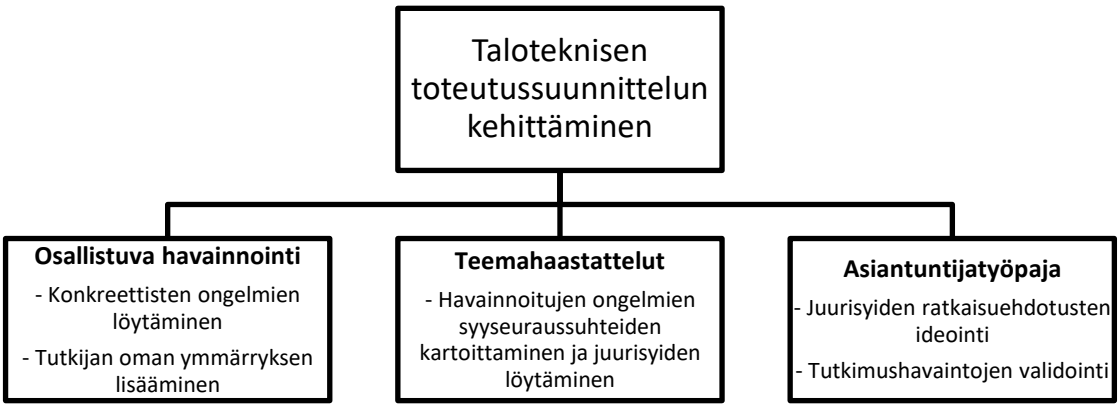
Tutkimuksessa käytettiin konstruktiivista tutkimusotetta, sillä se tuottaa innovatiivisia konstruktioita ratkaisemaan reaalimaailman ongelmia. (Lukka, 2014) Tutkittavan aiheen teoriataustaa sekä aikaisempaa tutkimusaineistoa kerättiin työn kirjallisuusselvityksessä. Sen tavoitteena on kartoittaa jo tunnistettuja taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen haasteita, esitellä projektinjohtorakentamisen toimintakenttää sekä lisätä tutkijan ja lukijan ymmärrystä aiheesta. Kirjallisuusselvityksessä hyödynnetään sekä suomalaisten, että kansainvälisten asiantuntijoiden julkaisuja. Tietoa hankitaan pääasiallisesti koulun kirjaston tietokannoista sekä luotettavista kansainvälisistä tutkimuskokoelmista.

Empiirinen tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena, sillä sen avulla tavoitetaan ihmisten merkitykselliseksi kokemiaan tapahtumaketjuja ja aihealueen syy-seuraussuhteita. Kvalitatiivisuus valittiin sillä, talotekninen toteutussuunnittelu sekä toteutus on ihmisten välinen prosessi, joka sisältää paljon kokemuksiin ja käsityksiin perustuvia merkityksiä. (Vilkka, 2005) Tutkijan on ymmärrettävä kokemuksien ja käsitysten välinen suhde, sillä kokemus on aina omakohtainen ja käsitykset kertovat perinteisistä ja tyypillisistä tavoista ajatella toimintaympäristössä. (Laine, 2001) Tämän avulla tutkija voi löytää tutkittavasta aiheesta jotain, joka ei ole välittömästi havaittavissa. Tulee ymmärtää, että laadullisena tehty tutkimus ei välttämättä löydä totuutta, vaan löytää tulkintoja, jonka avulla voidaan löytää vastauksia tutkimuskysymyksiin (Vilkka, 2005). Tutkimuksen aineiston keruu toteutetaan hyödyntäen kolmea menetelmää. Monimenetelmäinen tutkimus täydentää toistensa havaintoja luoden tuloksista kattavamman ja luotettavamman kokonaisuuden. (Hirsjärvi, Remes and Sajavaara, 2009) Taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen rajapinnan konkreettisia haasteita etsitään **osallistuvan havainnoinnin eli kenttätutkimuksen** avulla Case-kohteessa. Osallistuvan havainnoinnin avulla tutkija saa ymmärrystä siitä, *mitä ihmiset tekevät*, *miltä asiat näyttävät* ja *mitä ihmiset sanovat*. Havainnoinnin avulla saadaan välitöntä tietoa ihmisten, ihmisryhmien sekä organisaatioiden toiminnasta. Sen myötä päästään luonnollisiin ympäristöihin ja

vältetään keinotekoisuus. (Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara, 2009) Tarkoituksena on seurata rakennustyömaan talotekniikka-asennustyön sujuvuutta, tarkastella suunnitelmien toteutuskelpoisuutta, osallistua olennaisiin palavereihin sekä verrata tehtyjä asennuksia suunnitelmiin. Metodi on hyvä keino ajattelu- ja toimintatapojen sekä työelämän vuorovaikutuksen tutkimiseen ja kehittämiseen. (Vilkka, 2005) Havainnoinnin haasteena on, että tutkija saattaa häiritä tilannetta ja tässä tutkimuksessa havainnoija pyrki mahdollisimman vähän vaikuttamaan työmaan arkirutiineihin (Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara, 2009).

Case-kohteen olennaisten osapuolien kanssa järjestettiin **puolistrukturoidut teemahaastattelut**. Menetelmän etuna on mahdollisuus säädellä aineiston keruuta joustavasti ja tilannetta sekä haastateltavia myötäillen. Teemahaastattelu valittiin sen takia, että tutkimuksen aihe tuottaa laajoja monitasoisia vastauksia moniin suuntiin, joita strukturoidulla haastattelulla on vaikea selvittää. (Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara, 2009) Osallistuvan havainnoinnin sekä empiirisen tutkimuksen pohjalta poimittiin keskeiset teemat, joiden pohjalta laadittiin avustavat kysymykset. Haastatteluiden tarkoituksena on selvittää löydettyjen haasteiden toistuvuutta sekä tuoda esiin asentajien, suunnittelijoiden ja projektinjohdon näkemyksiä tutkimusaiheen syy-seuraussuhteista sekä kehittämisestä. Teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä vastaa siihen *miksi ihmiset toimivat niin kuin toimivat*, joten haastattelumateriaalin avulla on mahdollista löytää tutkittavien haasteiden juurisyitä. (Vilkka, 2005) Yksi haastatteluista toteutettiin ryhmähaastatteluna.

Kolmantena tutkimusmenetelmänä työssä hyödynnettiin **asiantuntijatyöpajaa**, jonka tarkoituksena oli analysoida tutkimuksessa aikaisemmin löydettyjä haasteita ja innovoida niihin ratkaisuja. Kuvassa 4 on esitetty tutkimusmenetelmät ja niiden ydinajatus visuaalisesti.



Kuva 1. *Empiirisen tutkimuksen menetelmät*

Tarkemmin menetelmien toteutuksista on kerrottu seuraavissa kappaleissa.

1.4 Työn rakenne

Työn rakenne noudattaa Tampereen yliopiston opinnäytetyöpohjan mukaista rakennetta ollen näin yliopiston vaatimusten mukainen. Työ koostuu kirjallisuusselvityksestä, empiirisestä tutkimusosuudesta sekä näiden tuloksena saatujen havaintojen analysoinnista ja yhteenvedosta. Ensimmäisessä luvussa läpikäydään tutkimuksen lähtökohdat, tutkimuskysymykset, aiheen rajaus ja tutkimuksen rakenne.

Työn toinen, kolmas ja neljäs luku sisältää tutkimuksen teorian kirjallisuusselvityksen muodossa. Kirjallisuusselvitys koostuu toisessa luvussa esiteltävästä talotekniikan roolista rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa. Kolmannessa luvussa esitellään talotekniikan suunnittelu kirjallisuuden näkökulmasta. Ja neljännessä luvussa esitellään talotekniikan toteutuksen keskeiset löydökset. Lukujen tarkoituksena on kasvattaa sekä tutkijan, että lukijan ymmärrystä käsiteltävästä toimintakentästä.

Tutkimuksen viidennessä luvussa kuvataan empiirisen tutkimuksen suoritus sekä esitellään tutkimuksen case-kohde. Suorituksen kuvauksessa käydään läpi osallistuvan havainnoinnin toteutus, haastattelujen runko ja haastateltavat sekä asiantuntijatyöpajan suoritus. Kuudennessa luvussa esitellään työn tulokset tutkimusmenetelmittäin. Tutkimustulokset on koottu taulukkomuotoon jokaisen kappaleen lopuksi havaintojen yhteen vetämiseksi.

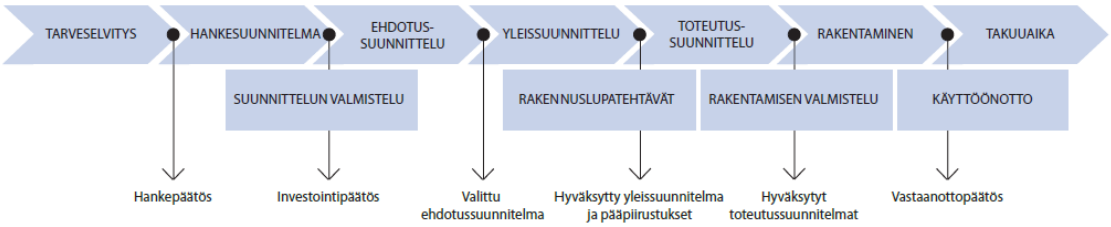
Kahdessa viimeisessä luvussa analysoidaan tutkimustuloksia, verrataan niitä kirjallisuuteen ja pohditaan tutkimuksen luotettavuutta. Seitsemännessä luvussa esitellään tutkimuksen suositukset ja työn vastaaminen sen tutkimuskysymyksiin. Kahdeksannessa johtopäätökset luvussa kootaan työn havainnot yhteen ja esitetään jatkotutkimusaiheita.

2. TALOTEKNIIKAN ROOLI RAKENNUSHANKKEESSA

Tämän työn teoriaosuudessa tutkitaan kirjallisuuden näkökulmasta talotekniikan suunnittelun ja toteutuksen prosessia osana talonrakennushanketta. Kirjallisuuskatsauksen avulla luodaan kuvaa taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen yhteensovittamisen toimintamalleista tämän päivän rakennushankkeissa sekä yritetään löytää jo tunnistettuja keskeisiä haasteita. Tutkimuksen kohdistuessa toteutussuunnitelmien ja varsinaisen toteutuksen rajapintaan, teoriaosuudessa käydään läpi rakennushankkeen etenemistä sekä suunnittelutoimeksiantojen, että taloteknisten urakkasuoritusten näkökulmasta. Kappaleisiin on koottu aikaisemmissa tutkimuksissa havaittuja haasteita ja johtopäätöksiä, joiden avulla pyritään löytämään syy-seuraussuhteita sekä juurisyitä suunnitelmien toteutuskelpoisuuden ongelmiin. Löydettyjen lähteiden pohjalta luodaan teoreettinen viitekehys, jonka havaintoja pyritään selvittämään työn tutkimusosassa.

2.1 Talotekniikan koordinointi rakennushankkeessa

Rakennushankkeen prosessi on tavallisesti seitsemänvaiheinen (RT 10-11224, 2016). Rakennushankkeessa nämä kaikki vaiheet tulisi toimivalla projektin johtamisella koordinoida sitoa yhteneväiseksi, yhteiset tavoitteet omaavaksi arvoa tuottavaksi prosessiksi. Prosessi on kuvattu kuvassa 1. Prosessin tavoitteena on tuottaa haluttua toimintaa mahdollisimman hyvin palveleva tila, joka on käyttäjilleen turvallinen sekä terveellinen. Suunnitteluvaiheen toimintakentän erottaa rakentamisen toimintakentästä sen toistumattomuus, suurempi epävarmuus, iteraatioluonteisuus ja lopputuloksena suunnittelussa syntyy tietoa, rakentamisvaiheessa fyysinen rakennus. (Koskela, Huovila ja Leinonen, 2001)

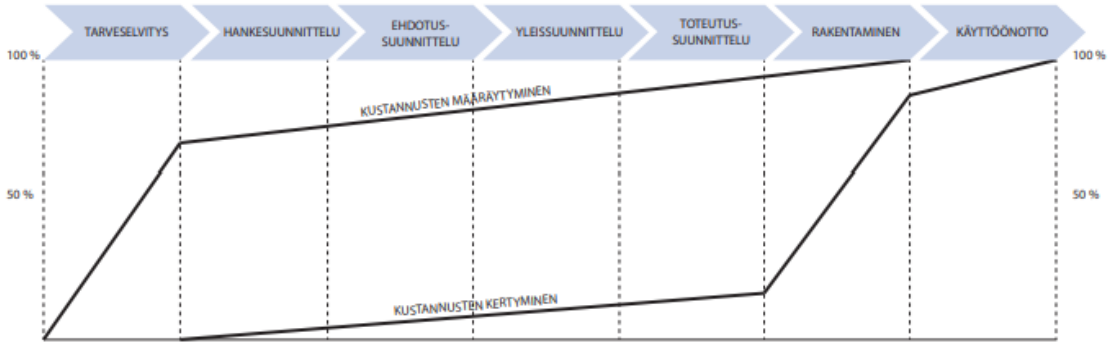


Kuva 2. *Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224, 2016)*

Tyypillisesti talotekninen suunnittelu tulee mukaan rakennushankkeeseen sen ehdotussuunnitteluvaiheessa Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelon (TATE18) mukaisin perustehtävin. Siinä suunnittelijat laativat ehdotuksensa tilaajan asettamien tavoitteiden

täyttämiseksi. (RT 10-11290, 2017) Tarkoituksena on vertailla useita vaihtoehtoisia ratkaisuja, sillä hankkeen alussa vaikutusmahdollisuudet kustannusten sitoutumiseen ovat suurimmat ja pienenevät hankkeen edetessä. (Kuva 2.) (RT 10-11226, 2016) Rakennuksen vaatimukset on suunniteltava hankkeen aluksi riittävällä tarkkuudella. Alkuvaiheen päätöksenteon muuttaminen myöhemmin hankkeessa on todettu haastavaksi ja kustannuksia kasvattavaksi. (Monsberger ja Fruhwirth, 2018)

Hassanain et al. (2018) esittävät tutkimuksessaan viisi olennaisinta taloteknisen koordinoinnin onnistumisen edellytystä, jotka ovat projektin laajuus sekä kompleksisuus, suunnitteluorganisaation kyvykkyys, alustavien- sekä hankesuunnitelmien laatutaso, tilaajan vaatimukset sekä tavoitteet ja viimeisenä suunnitteluvaiheeseen budjetoitujen kustannusten määrä. Nämä tekijät on huomioitava aikaisessa vaiheessa hanketta, jolloin toimenpiteet voidaan suorittaa oikea aikaisesti. Toteutussuunnitteluvaiheeseen siirryttäessä yleissuunnitelmat tulee olla hyväksytty eikä niitä koskevia päätöksiä tulisi olla avoinna. Hanke- ja yleissuunnitelmien laatutaso on kriittinen menestystekijä tuotannon suunnittelun ja ohjauksen kannalta (Hassanain *et al.*, 2018). Toteutussuunnitteluvaihe ja sen vaatimat päätökset tulee olla aikataulutettuna toteutuskelpoisesti ennen aloitusta, jotta suunnitteluvaihetta voidaan johtaa sujuvasti. Jotta suunnittelussa voidaan siirtyä eteenpäin, tulee suunnitteluorganisaation varmistaa tulevan suunnitteluvaiheen edellytykset.



Kuva 3. *Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa (RT 10-11226, 2016)*

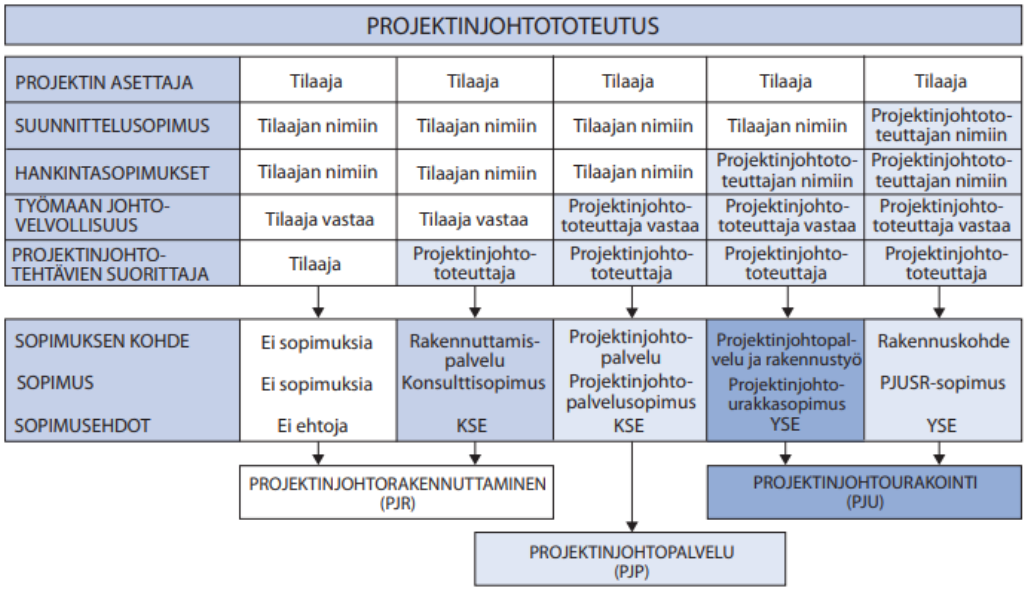
Suunnittelu ja tuotanto ovat prosesseiltaan erityyppisiä, joka johtaa osapuolten välisen tiedonkulun ja kommunikaation hankaloitumiseen. Tuotannon ollessa suoraviivaisempi prosessi, suunnittelun prosessin sisältämiä riippuvuuksia on vaikea määrittää. Hankkeissa, joissa tuotanto sekä suunnittelu limitetään nämä haasteet aiheuttavat usein johtamisen ja tiedonkulun haasteita. Tässä työssä pyritään löytämään näiden kahden prosessin rajapinnan haasteita sekä kehittämään tiedonkulkua suunnittelusta rakentamisen käyttöön. Rajapinta suunnittelun ja tuotannon välillä on herkkä väärinymmärryksille sekä

virheille, jotka laskevat rakennuksen arvoa, riitauttaa osapuolia ja luovat lisätöitä hankkeeseen (Seppänen ja Uusitalo, 2017). Etenkin talotekniikan rooli rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa on ollut haastava ja sen on todettu sisältävän merkittävän määrän hukkatyötä. (*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023)

2.2 Projektinjohtorakentaminen

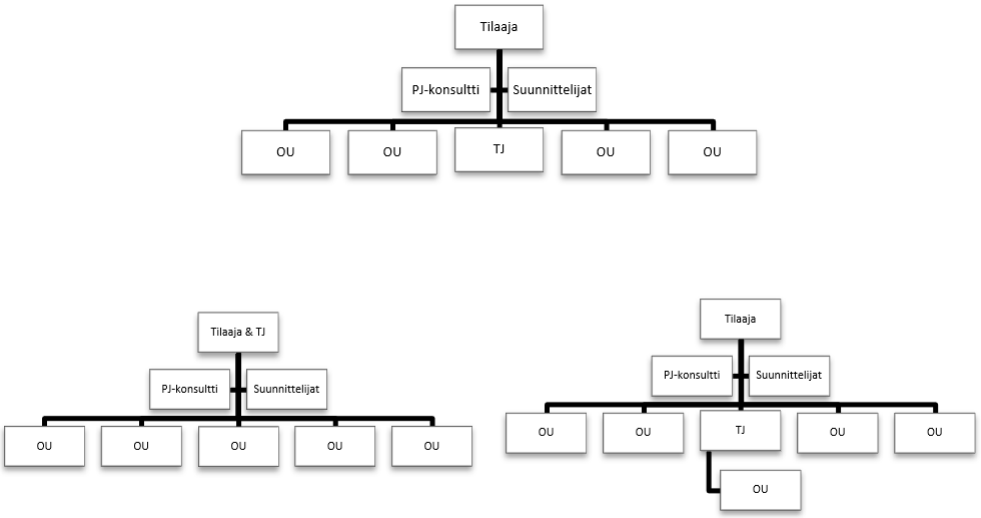
Tässä kappaleessa käsitellään viime vuosikymmeninä yleistynyttä projektinjohtorakentamisen toteutusmuotoa. Toteutusmuodon ymmärtäminen on olennaisessa osassa suunnittelun ja tuotannon ohjaamisen kanssa, joten se on olennainen sisäistettävä aihealue sekä tässä tutkimuksessa että käytännön hankkeissa. Projektinjohtorakentaminen määritellään sellaiseksi toimintamalliksi, jossa hanketta johtaa osaava projektinjohtototeuttaja yhdessä tilaajan kanssa niin, että hankkeen kokonaisläpimenoaikaa lyhennetään limittämällä toteutussuunnittelu, hankinnat sekä rakentaminen. Toteuttaja johtaa hanketta jakamalla rakennustyö lukuisiin suunnittelun edetessä kilpailutettaviin hankintoihin. Kokonaiskeston lyhentämisen lisäksi mallilla mahdollistetaan suunnitelmien kehittäminen, kustannusten ohjaaminen sekä pätevät hinta- ja laatuvalinnat. Projektinjohtototeutus toteutusmuotona sopii parhaiten hankkeisiin, joissa aikataulu on kireä, tarvitaan suurta joustavuutta sekä ohjattavuutta. Tällaisia hankkeita ovat tyypillisesti käyttäjälähtöiset projektit sekä korjauskohteet, erityisesti silloin, kun kohde on suuri ja ohjelmaltaan vaativa, kesto on pitkä sekä tilaaja tarvitsee asiantuntemusta ja apua omien rakennuttajaresurssiensa avuksi. Toteutuksen tavoitteissa on erotettava selkeästi aikataulu-, kustannus-, laatu-, hallintotavoitteet. (RT 103470, 2022) Kuvassa 3 on esitetty projektinjohtototeutuksen tehtävät, vastuut ja sopimukset.

Toteutusmuoto mahdollistaa urakoitsijan aikaisemman osallistumisen hankkeeseen, jonka on todettu parantavan taloteknisen suunnittelun laatua ja rakennettavuutta (Khanzode, 2010; Lappalainen *et al.*, 2022). Rinnakkaismalli aiheuttaa kuitenkin paljon riskejä ja haasteita, jotka vaikuttavat suunnittelun tehokkuuteen ja laatuun. Tilaajan avoimen päätöksenteon myötä, suunnittelussa tehdään oletuksia, jotka aiheuttavat virheitä sekä hukkaa suunnitteluprosessiin. (Bárány, 2023)



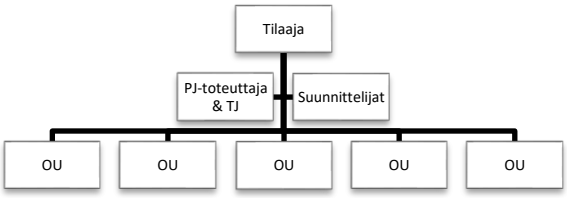
Kuva 4. *Projektinjohtototeutusmuodot ja niiden keskeiset ominaisuudet* ***(RT 103470, 2022)***

Projektinjohtorakentaminen pitää sisällään eri variaatioita, joissa vastuut vaihtelevat. **Projektinjohtorakennuttamisessa (PJR)** hankkeen tilaaja suorittaa hankkeen joko omalla projektinjohdollaan tai täydentämällä sitä ulkopuolisella konsultaatiolla. (Kuva 4.) Hankkeen kokonaisuus toteutetaan hankintoina, joiden sopimukset kirjataan aina tilaajan nimiin. Tilaaja hankkii myös toteutussuunnitelmat ja ja on vastuussa niistä. Toteutusmuodossa sopimusten määrä voi olla suuri, joten niiden määrä kannattaa pitää kohtuullisena. PJR sopii hankkeisiin, joissa hankintoja on kohtuullisesti ja ne ovat suuria. (RT 103470, 2022)



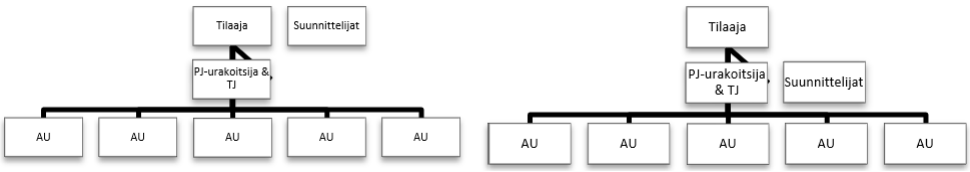
Kuva 5. *Projektinjohtorakennuttamisen organisaatiokaaviot (Kankainen & Junnonen, 2001)*

Projektinjohtopalvelussa (PJP) suunnittelun ohjauksen, rakennuttamistehtävät ja työmaan johtovelvollisuudet täyttää projektinjohtototeuttaja. Toteuttaja asettaa työmaalle työnjohdon ja toimii työmaalla urakoitsijan tapaan, mutta hankkeen suunnittelu- ja hankintasopimukset tehdään tilaajan nimiin. (Kuva 5.) Projektinjohtototeuttajan toiminta hankkeessa on konsultinomaista ja sen on toimittava tilaajan edustajana hankkeessa. PJP sopii hankkeisiin, joissa hankintoja on paljon, suunnitelmat muuttuvat ja työmaaorganisaation läsnäolo päätöksen teossa on tärkeää. (Kankainen ja Junnonen, 2001; RT 103470, 2022)



Kuva 6. *Projektinjohtopalvelun organisaatiomalli (Kankainen & Junnonen, 2001)*

Kolmantena variaationa esitetään **projektinjohtourakointi (PJU)**, jossa projektinjohtourakoitsija vastaa hankkeen rakennuttamistehtävistä, työmaan johtovelvollisuuksista sekä rakennustyöstä kirjaamalla hankintasopimukset omiin nimiinsä. (Kuva 6.) Mallissa tilaaja voi olla sopimussuhteessa ainoastaan PJ-urakoitsijaan tai vaihtoehtona PJ-urakoitsijaan sekä suunnittelijoihin. Molemmissa vaihtoehdoissa tilaajalla pysyy lopullinen päätösvalta ja vaikutusmahdollisuudet suunnittelussa sekä hankinnoissa. Urakkahinta voidaan muodostaa riskiä jakaen tavoite- ja kattohinnalla tai tavoitebudjetilla, jossa riski säilyy tilaajalla. PJU sopii hankkeisiin, joissa hankintoja on paljon ja suunnitelmat täsmentyvät. Suunnitelmaien ei ole tarkoitus muuttua kokonaisuutena ja toteutus tulisi mahdollistua suunnitelmien perusteella. (Kankainen ja Junnonen, 2001; RT 103470, 2022)



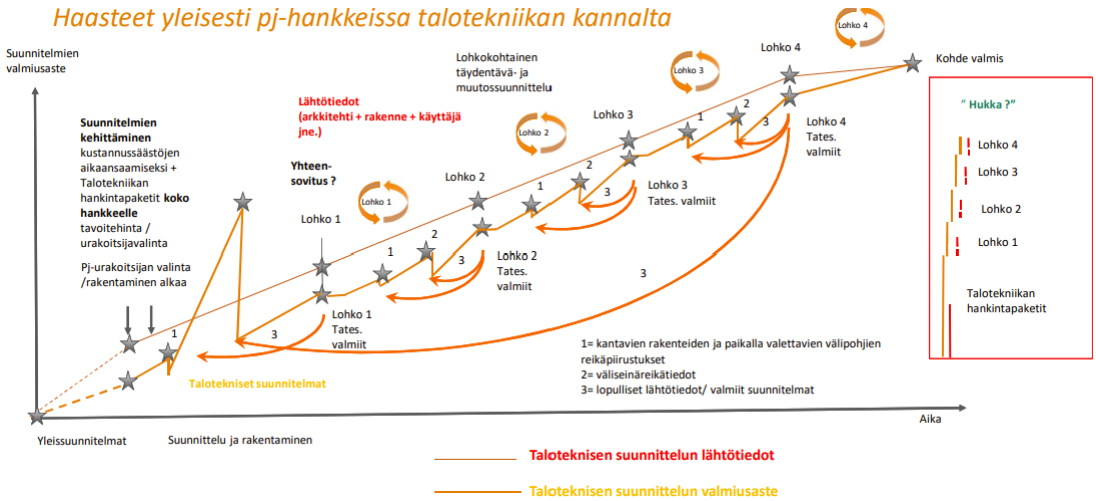
Kuva 7. *Projektinjohtourakan organisaatiomallit (Kankainen & Junnonen, 2001)*

Malleissa eri tehtäviä on siis kolme; projektinjohtotehtävät, työmaan johtotehtävät ja projektinjohtourakoinnin tehtävät. Palkkiot esitetyissä tehtävissä jaetaan yleensä seuraavasti. Projektinjohtotehtävissä palkkio on yleensä kiinteä tai aikavelotukseen perustuva

palkkio. Työmaan johtotehtävät voivat sisältyä kiinteään palkkioon, mutta ne voidaan sopia myös aikaveloitusperusteisiksi. Projektinjohtourakoinnissa palkkiot perustuvat tavoitehintaan, kattohintaan sekä tavoitepalkkioon ja -sanktioon. Asianmukainen tavoite- ja kattohinta on projektinjohtourakointia kilpailutettaessa pystyttävä arvioimaan riittävällä tarkkuudella jo olemassa olevista yleissuunnitelmista. (Kankainen ja Junnonen, 2001)

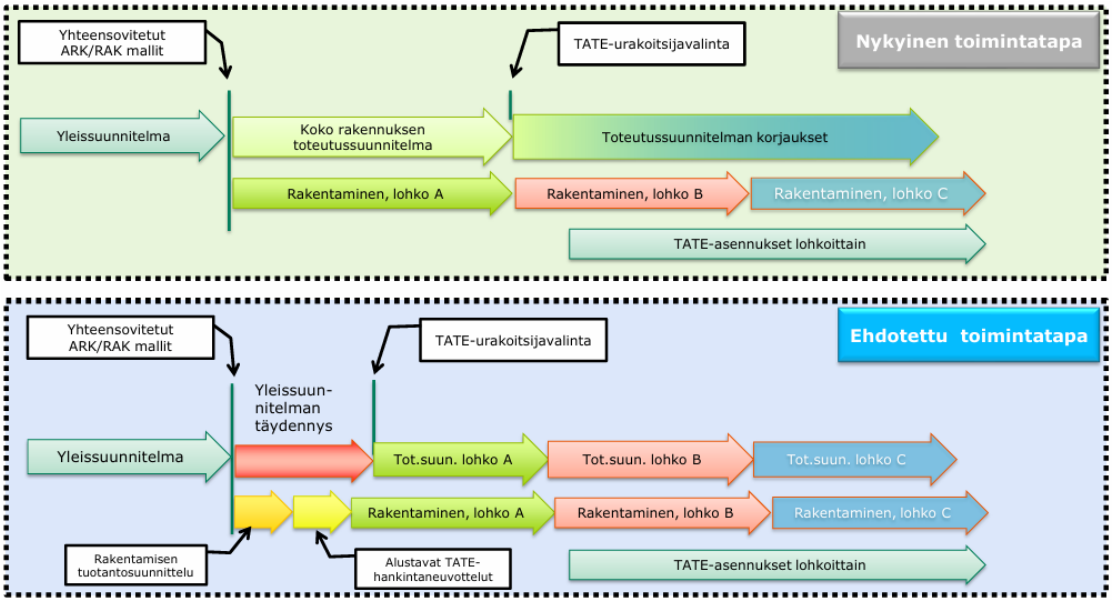
Tämän tutkimuksen case-kohde toteutettiin Suunnittele ja rakenna -toteutusmuotoisena (SR) projektinjohtourakkana, jonka kilpailutus toteutetaan täysimittaisen ohjelmaan ja suunnitteluohjeisiin perustuviin ehtoihin. Toteutusmuotoa kutsutaan myös kokonaisvastuurakentamiseksi (KVR) ja kansainvälisesti Design and build (DB). Toteutusmuoto sopii hankkeisiin, joissa teknisillä suunnitteluratkaisuilla on vaihtoehtoja. Toteutuksen vaatimukset ovat määriteltävissä sekä todennettavissa suunnitelmista. (Kiiras *et al.*, 2007)

Projektinjohtorakentamisessa talotekniikan suunnitteluvaiheen hukan suuruutta selittää muita suunnittelualoja korkeampi taso liian aikaisessa vaihetta hankkeessa. (Kuva 7) Talotekniikkaurakat hankitaan usein kiinteähintaisina urakoina, jotka vaativat tasokkaat toteutussuunnitelmat aikaisessa vaiheessa hanketta. Arkkitehtisuunnitelmien ollessa vielä keskeneräiset tämän on todettu aiheuttavan merkittävää uudelleensuunnittelua, monimutkaisia suunnitteluratkaisuja sekä hankaloittavan taloteknisten urakoiden suunnittelua ja toteutusta. (*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023)



Kuva 8. *Taloteknisten suunnitelmien valmiusaste hankkeen edetessä (Kaleva, 2020)*

Talotekniset suunnittelijat joutuvat tekemään toteutussuunnitelmatasoista muutossuunnittelua läpi koko projektin. Suunnitelmia tehdään liian aikaisin ilman riittäviä lähtötietoja. SKOL ry:n tutkimuksessa (2018) Tero Järvinen esittää rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeisiin kuvan 8 mukaista lohkoittain limittyvää toteutusta. (Järvinen, 2018)



Kuva 9. *Rinnakkaisen toteutuksen ehdotettu prosessikuvaus (Järvinen, 2018)*

Prosessissa yleissuunnitelmaa täydennetään uudella vaiheella taloteknisten urakoitsijoiden valitsemiseksi yhteensovittaen suunnitelmia ja suunnittelemalla rakentamisen tuotantoa. Toteutettavuuden parantamiseksi, talotekninen urakoitsija tulee ottaa mukaan toteutussuunnitelmien ohjaamiseen. Tällöin asennettavuus paranee ja mallinnuksen taso nousee, kun se tehdään toteutettavilla tuotetiedoilla. Prosessin tavoitteena on minimoida taloteknisen suunnittelun toteutussuunnitelmien uudelleenlaadinta, tarjota TATE-toteutussuunnittelulle tarpeeksi suunnitteluaikaa ja tuottamaan riittävän aikaisin suunnitelmat taloteknisten urakoiden sekä hankintojen kilpailutukseen. (Järvinen, 2018) Kyseistä mallia testattiin Sándor Bárányn (2023) diplomityössä, joka oli osa Building 2030 -tutkimushanketta. Tutkimuksessa LVI-urakoitsijavalinta tehtiin ns. kevennetyllä mallilla kiinteiden osien tasokuvilla sekä benchmark-kohteesta kerätyn datan avulla ja sen avulla arvioiduilla muuttuvien osien järjestelmäosien määrillä. Tutkimustuloksena saadut hyödyt olivat kevyempi urakkalaskenta, suunnittelutuntien määrä sekä kiire väheni ja laatu parani. Myös urakoitsija tutustui kohteeseen ennen asennuksia. Tutkimuksen haasteena oli määräarvioinnin tulkintaerot ja epätarkkuus. Asennustyön hinnoittelu oli vaikeaa ja urakoitsijan rooli jäi vähäiseksi. Myöskään sopimusmallit eivät tukeneet yhteistyötä. Tulosten pohjalta tutkimuksessa suositeltiin seuraavia toimenpiteitä:

- Urakkatarjousten perustuminen suunnittelijan toimittamiin määriin
- Sijaintidatan lisääminen määrätietoihin
- Benchmark-datan laajempi kerääminen
- Kannustetaan yhteistyöhön paremmin siihen soveltuvilla sopimusmalleilla.
- Urakoitsijan sitouttaminen tarkemmalla tehtävien määrittelyllä ja valvonnalla

2.3 SUKE- malli talotekniikan suunnittelun, hankinnan ja toteutuksen ohjaukseen projektinjohtohankkeissa

SUKE-malli talotekniikan suunnittelun ja hankinnan ohjaukseen on julkaistu 2007 ja sen tavoitteena on ollut kehittää sekä selventää projektinjohtohankkeiden suunnittelua ja sen ohjausta. Vaikka malli on jo pian 20 vuotta vanha siinä mainitut talotekniseen suunnitteluun kohdistuvat ongelmat ovat havaittavissa edelleen eikä kokonaisvaltaista kehitystä niiden ympärillä ole vielä tapahtunut. Siitä syystä tässä tutkimuksessa malli nostetaan taloteknisen toteutussuunnittelun ongelmia helpottavaksi toimintamalliksi. Myös Granlund Oy:n liiketoimintajohtaja Juho Lepistö nosti ”Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?” -seminaariesityksessään SUKE-mallin toimintatavat esille nykypäivän ongelmia ratkaisevaksi tekijäksi. (*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan,* 2023)

Talotekniikan toteutussuunnittelun osalta SUKE-mallin perusajatuksena on jakaa kohde avoimen rakentamisen periaatteen mukaisesti kokonaisuudessaan sisältäen talotekniikan kiinteään perusosaan ja muuntuvaan tilaosaan. Kiinteä perusosa sisältää rakennuksen perustalotekniikan, joka koostuu muuntojoustavuuden ja jaettavuuden perusteella määritellyistä järjestelmä- ja laiteosista. Kiinteään perusosaan kuuluu rakennuksen runko sekä tilat, jotka kuuluvat yhtenäiseen perusrakennukseen, esimerkiksi tekniikkakuilut. Talotekniset suunnittelijat määrittelevät perusosaan sen järjestelmien mitoituksen, varaukset sekä muuntuvan tilaosan lähdöt. Muuntuva tilaosa on ne tilat sekä rakennusosat, jotka suunnitellaan, hankitaan ja rakennetaan sen hankkeen edetessä ratkaisupäätösten jälkeen. SUKE-mallissa suositellaan rajauksen tekemisen joko tekniikkakuiluihin tai toisena vaihtoehtona vaakareitteihin kerroksissa, jolloin rajaus voi olla esimerkiksi otsapinnoissa. Kiinteä perusrakennus ja muuntuvat tilaosat on määriteltävä hankeohjelmassa tai projektisuunnitelmassa, selkeimmän mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Talotekniikan jakaminen kiinteään ja muuntuvaan osaan mahdollistaa talotekniikkaurakoitsijan hankinnan keskeneräisin suunnitelmin. Talotekniset järjestelmät jaetaan osasuorituksiin niin, että kiinteän perusosan suunnitteluun sisältyy keskuslaitteet ja perusjärjestelmät. Muuntuvaan tilaosaan määritellään tilakonseptien ja tilatyyppien mukaiset tilajärjestelmät sekä tilalaitteet. Tekniikan reititys tulee muodostaa mahdollisimman yksinkertaiseksi ja toistuvaksi. Avoimen rakentamisen mukaisesti perusosan ja tilaosan järjestelmien tulee toimia toisistaan riippumatta, joka tarkoittaa, että kiinteä osa on voitava koekäyttää erillisenä ja todeta sellaisenaan toimivaksi. (Kiiras *et al.*, 2007)

SUKE-mallissa suunnittelu vaiheistetaan yleis- ja toteutussuunnitteluun. Mallin mukainen yleissuunnitelma sisältää kiinteän perusosan suunnitelmat ja siinä esitetään muun-

tuvan tilaosan rajaus sekä tila-alueet. Molemmille vaiheille tehdään omat suunnittelusopimuksensa sekä palkkiomallinsa. Yleissuunnittelu ostetaan kokonaisuutena, mutta toteutussuunnittelu hankitaan rakennustyön ajan jatkuvana palveluna. Tämä malli tasaa suunnitteluresurssien käyttöä vaiheiden välillä. Hankkeen toteutussuunnitelmat laaditaan koordinoituina suunnitelmapaketteina. Mikäli hanke on kiireellinen, voidaan rakentamisen alun toteutussuunnitelmapaketit tehdä jo yleissuunnitteluvaiheessa, jotta ensimmäiset hankinnat voidaan aloittaa rakentamispäätöksen jälkeen. Talotekniikan osalta kiinteän perustalotekniikan toteutussuunnittelu voidaan valita olevan osa yleissuunnittelua. Toteutussuunnitelmapaketit aikataulutetaan etenemään hankkeen mukaisesti ja suunnitelma-aikataulua valvoo projektinjohto. Suunnitelmapakettien valmistumista ja aikataulussa pysymistä koordinoidaan suunnitelmapakettikatselmuksin, joissa varmistetaan suunnitelmien tarkoituksenmukaisuus ja ristiriidattomuus. Aikaisemmin suunnitelmien valmistumisen ja laadun tarkkailussa on ollut puutteita, jolloin keskeneräiset ja puutteelliset suunnitelmat aiheuttavat merkittävää haittaa työmaalla. Talotekniikan kannalta on tärkeää, että saman alueen suunnittelualojen rinnakkaiset paketit katselmoidaan yhtä aikaa, jotta ristiriidattomuus on mahdollista tarkastella. (Kiiras *et al.*, 2007)

Toteutussuunnitteluvaiheen haasteena on ollut projektiorganisaation kommunikaatio ja potentiaalin hyödyntämättä jättäminen. Suunnittelijat eivät myöskään pysty toimittamaan toteutukselle virheettömiä suunnitelmia ja monien hankintojen aiheuttamat epäorganisoidut suunnitelmatarpeet vaikeuttavat suunnittelua. SUKE-mallin mukainen tehokas toteutussuunnitteluvaiheen ohjaus perustuu suunnitelmapakettien johtamiseen. Projektinjohto muodostaa sekä aikatauluttaa suunnitelmapaketit suunnitteluorganisaation kanssa. Saman aikaisesti suunniteltavat ja vahvasti toisistaan riippuvaiset tehtävät muodostavat suunnitelmapaketin, jotta eri alojen suunnitelmat on yhteensovitettavissa. Tällä pyritään vähentämään uudelleensuunnittelua. (Kiiras *et al.*, 2007)

Suunnitelmapakettien pohjalta luodaan hankintastrategia. Hankintamuotoja SUKE-mallissa on kolmea erilaista, joiden valintaan vaikuttaa suunnittelun valmiusaste. Muodot ovat vaadittavan suunnitelmien valmiusasteen mukaisesti korkeimmasta matalimpaan seuraavat:

1. Hankinta toteutussuunnitelmien avulla
2. Hankinta alustavin suunnitelmin ja/tai tuotevaatimuksin eli yksikköhintakauppa
3. Hankinta suunnitelmavaatimuksin eli tuoteosakauppa.

Hankintapakettien ja suunnitelmapakettien riippuvuussuhde mahdollistaa suunnitelma-asiakirjojen riittävän sisällön ennen hankintasopimusten allekirjoittamista. (Kiiras *et al.*, 2007)

2.4 Talotekniikan suunnittelutoimeksiannot

Tässä kappaleessa perehdytään rakennuksen taloteknisten järjestelmien suunnittelutoimeksiantoihin sekä toimeksiantojen kriittisiin aihealueisiin. Taloteknisistä järjestelmistä käytetään usein lyhennettä LVISA-järjestelmät. LVISA on termi, joka kattaa yleisimmät talotekniset kokonaisuudet. Lyhenne muodostuu sanoista lämpö, vesi, ilma, sähkö ja automaatio. Talo 2000 Hankenimikkeistössä tekniikkaosat jaetaan putki-, ilmanvaihto-, sähkö-, tiedonsiirto- ja laiteosiin. (RT 10-10962, 2009)

Suunnittelutoimeksiannot rakennusalalla perustuvat kohtalaisen vakiintuneisiin toimeksiantoasiakirjajärjestelmiin, jotka suunnittelutehtävissä pohjautuvat Konsulttialan yleisiin sopimusehtoihin (KSE2013) sekä eri suunnittelualojen omiin tehtäväluetteloihin. Sopimusehtojen tarkoituksena on muodostaa tunnettu ja yhteinen toimintamalli alan osapuolten välille. Tehtäväluettelot toimivat runkona suunnittelijan työn toteuttamiseksi. Tehtäväluettelosta poimitaan ne tehtävät, jotka suunnittelijan tulee kyseisessä projektissa suorittaa. Tehtäväluettelo sisältää pakollisten tehtävien lisäksi tilaajaorganisaation erillistilattavia tehtäviä hankkeen sujuvaksi edistämiseksi. (Kankainen and Junnonen, 2001) Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelon (TATE18) avulla mahdollistetaan taloteknisten suunnittelutehtävien vastuutahot hankekohtaisesti. Tehtävät on luettelossa jaettu suunnittelun hankinnan kannalta kokonaisuuksiin, joita tarvittaessa täydennetään muiden asiantuntijatehtäväluetteloiden tehtävillä. (RT 10-11290, 2017) Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että eri alojen tehtäväluettelot ovat yhteensovittamatta eivätkä tue toisiaan. Kyseinen toiminta hankaloittaa eri suunnittelualojen yhteistyötä. (*Suunnitteluprosessi 2.0 -projekti*, 2023)

Toteutussuunnittelun onnistumisen kannalta suunnittelusopimuksen sisältö on merkityksellinen. Kuten muissakin sopimuksissa myös taloteknisiä suunnittelusopimuksia laadittaessa on kiinnitettävä huomiota suoritusvelvollisuuden mahdollisimman tarkkaan määrittelyyn. Toteutussuunnittelun kannalta erityisen tärkeää on myös suunnittelun mahdollisimman yksityiskohtainen aikataulutus ja hankkeeseen toimivimman palkkiomuodon valinta. (Kankainen ja Junnonen, 2001) Suunnittelun resursointi on aiheuttanut haasteita useissa hankkeissa ja suunnittelulle ei ole varattu riittävästi aikaa. Resurssit eivät riitä rakentamisen aikaiseen suunnitelmien kehittämiseen. Suunnitteluaikatauluun ei sitouduta tarvittavalla tasolla ja resurssipohjainen suunnitteluaikataulutus ontuu. (Seppänen ja Uusitalo, 2017)

2.5 Talotekniset urakkasopimukset

Urakkamuoto määrittelee ehdot, joiden mukaan talotekniikkaurakoitsijan kanssa toimitaan. Toteutusmuodosta puhutaan silloin, kun mietitään koko rakennushankkeen toteutuksen mallia. Urakkamuoto antaa toteuttavalle urakoitsijalle tiedot hänen suorituksen laajuudestaan rakennushankkeessa. (Kankainen ja Junnonen, 2001) Urakoitsijalle voi toteutusmuodosta riippuen antaa tehtäväksi hankkeen suunnittelu-, projektinjohto- tai työmaajohtotehtäviä. Suunnittelun valmiusaste määrittelee usein, millaisia taloteknisten töiden hankintamuotoja hankkeessa voidaan käyttää. Työt on mahdollista hankkia kolmin tavoin. Hankinta toteutussuunnitelmin vaatii kaikki urakan suunnitelmat. Malli tarvitsee onnistuakseen varhaista päätöksentekoa, jotta suunnitelmat ovat valmiit töitä hankittaessa ja rakennusaikaisten suunnitelmamuutosten aiheuttamat lisä- ja muutostyöt saadaan minimoitua. Alustavin suunnitelmien tapahtuva hankinta mahdollistaa suunnitelmien täydentämisen sekä kehittämisen hankkeen edetessä. Alustavia suunnitelmia täydennetään mahdollisilla tuoteosavaatimuksilla. Malli mahdollistaa aikaisemman tarjouspyyntöjen toimittamisen ja urakoitsija sitoutuu hankkeeseen aiemmin. Kolmantena vaihtoehtona talotekniset työt voidaan hankkia suunnitelmavaatimuksin toisin sanoen tuoteosakauppana. Siinä urakoitsija vastaa sekä toteutussuunnittelusta, että asennuksesta. Tuoteosia voivat olla esimerkiksi sprinklerijärjestelmä tai aurinkosähköjärjestelmä. (Kiiras *et al.*, 2019)

Perinteiset kiinteähintaiset palkkiomuodot eivät mahdollista urakoitsijan ideointia ja innovointia yhteistyössä tilaajaorganisaation kanssa paremman lopputuloksen saavuttamiseksi. (Lahdenperä ja Koppinen, 2003) Kiinteähintainen sopimus myös pidentää hankkeen kokonaiskestoa, minimoi tilaajan vaikutusmahdollisuudet myöhemmässä vaiheessa hanketta sekä luo herkästi vastakkainasettelua tilaajan ja urakoitsijan välille. (Barrie ja Paulson, 1992) Tavoitehintaan perustuva palkkiomalli mahdollistaa urakoitsijalle edullisempien ratkaisujen esittämisen ja se kannustaa laadukkaaseen sekä tehokkaaseen työn organisointiin.

Talotekniikka on tyypillisesti jaettu putki-, ilmanvaihto-, sähkö-, automaatio-, turva, paloilmoitin, lukitus- ja sprinklerurakoiksi. Talotekniikkaurakoissa yleisenä toimintatapana on ollut käyttää perinteisiä kiinteähintaisia jaettuja urakoita, jolloin toteutussuunnitelmien taso tulee olla korkea. (Kiiras *et al.*, 2019) Kuten todettua urakkamuoto sopii huonosti haastaviin PJ-hankkeisiin sekä SUKE-mallin mukaiseen toimintaan. Urakkamuoto ei tue limitettyä ja avointa toteutusta, eikä se kannusta urakoitsijaa innovatiiviseen ratkaisujen ja kustannussäästöjen esittämistä tilaajalle. (Kiiras *et al.*, 2007) Etenkin suurissa ja kompleksisissa yhteistoimintahankkeissa talotekniikan urakoitsijavalinta suositellaan tehtäväksi SUKE-mallin mukaisesti kevennetyllä urakka-aineistoilla.

Talotekniset urakat on myös mahdollista toteuttaa johtamisurakkana projektinjohtourakoinnin periaatteiden mukaisesti. Toteutusmuodossa talotekninen projektinjohtourakoitsija jakaa kohteen hankintoihin ja osallistuu hankkeen suunnitelmien ohjaukseen suunnitelma-/hankintapakettijaon mukaisesti. Hankinnat suoritetaan yhdessä tilaajan kanssa, jolloin tilaajalla säilyy lopullinen päätösvalta. Johtamisurakoitsija voi toteuttaa asennustyöt itse tai hyödyntää toteutuksessa aliurakoitsijoita. Ilman tavoitehintaa toteutusmuoto voi johtaa tehottomaan työvoiman ja materiaalin käyttöön mikäli, talotekninen urakoitsija toteuttaa asennustyöt itse. (Kiiras *et al.*, 2007)

Taloteknisissä urakoissa tehtäväsisällön määrittelee urakka-asiakirjat, joihin sisältyvät perinteisesti urakkaohjelma, urakkarajaliite, LVI- / sähkötyöselostus, hankkeen suunnitelmat, tuoteselosteet sekä rakennusalan yleiset sopimusehdot (YSE1998). Näiden lisäksi talotekniikkaurakoitsijan on noudatettava Maankäyttö ja rakennuslakia (MRL), painelaitelakia, työturvallisuuslakia ja Suomen rakennusmääräyskokoelman normeja, standardeja ja ohjeita.

2.6 Yhteenveto

Talotekniikan rooli rakennushankkeissa on kasvanut viime vuosikymmeninä, mutta sen merkityksen ymmärtämisessä on parannettavaa. Myös toteutusmuodoissa, urakka- sekä suunnittelusopimuksista löydettiin laatua heikentäviä tekijöitä. Edellisten kappaleiden kirjallisuusselvityksessä löydettyjä havaintoja on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. *Yhteenveto talotekniikan koordinoinnista ja sen haasteista rakennushankkeessa*

Viisi taloteknisen koordinoinnin onnistumisen edellytystä: - Projektin laajuus sekä kompleksisuus - Suunnitteluorganisaation kyvykkyys - Alustavien- sekä hankesuunnitelmien laatutaso - Tilaajan vaatimukset sekä tavoitteet - Suunnitteluvaiheeseen budjetoitujen kustannusten määrä.	(Hassanain et al., 2018)
Projektinjohtorakentamisen toteutusmuoto mahdollistaa lyhyemmän läpimenoajan lisäksi urakoitsijan aikaisemman osallistumisen hankkeeseen, jonka on todettu parantavan suunnittelun laatua ja rakennettavuutta	(Lappalainen *et al.*, 2022)
Rajapinta suunnittelun ja tuotannon välillä on herkkä väärinymmärryksille sekä virheille, jotka laskevat rakennuksen arvoa, riitauttaa osapuolia ja luovat lisätöitä hankkeeseen	(Seppänen ja Uusitalo, 2017)
Tilaajan avoimen päätöksenteon myötä suunnittelussa tehdään oletuksia, jotka aiheuttavat virheitä sekä hukkaa suunnitteluprosessiin.	(Bárány, 2023)

Kiinteähintaiset urakat vaativat tasokkaat toteutussuunnitelmat aikaisessa vaiheessa hanketta, mikä aiheuttaa merkittävää uudelleensuunnittelua, monimutkaisia suunnitteluratkaisuja sekä hankaloitta taloteknisten urakoiden suunnittelua ja toteutusta.	(*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023)
SUKE-mallin ratkaisut suunnittelun ja toteutuksen haasteiden ratkaisemiseksi	(Kiiras *et al.*, 2007)
Tehtäväluettelot yhteensovittamatta, joka aiheuttaa haasteita suunnittelun ohjaukseen	(*Suunnitteluprosessi 2.0 -projekti*, 2023)
Kiinteähintaiset palkkiomuodot eivät mahdollista urakoitsijan ideointia ja innovointia yhteistyössä tilaajaorganisaation kanssa paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.	(Lahdenperä ja Koppinen, 2003)
Suunnittelun resurssit ei riitä hankkeen tavoitteiden täyttämiseen eikä rakentamisenaikaiseen vaikuttamiseen jää aikaa	(Seppänen ja Uusitalo, 2017)

3. TALOTEKNIIKAN TOTEUTUSSUUNNITTELU

3.1 Talotekniikan toteutussuunnittelun toimintakenttä

Tässä kappaleessa läpikäydään taloteknisen toteutussuunnitteluvaiheen merkitystä ja toimintamalleja kokonaisvaltaisessa talonrakentamisen prosessissa. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo (TATE18) jakaa toteutussuunnitteluvaiheen kahteen osaan. Osien lopputuloksina saadaan hankinnat mahdollistavat suunnitelmat sekä toteutuksen mahdollistavat suunnitelmat. Luettelo määrittelee hankintoja varten toteutettavien suunnitelmien tason seuraavasti: ”Hankintoja palveleva suunnittelukokonaisuus tehdään siinä laajuudessa ja sillä tarkkuudella, että kohteen ja rakennusosien laajuus, määrät, työtavat ja laatutaso voidaan määrittää toteutuskustannusten edellyttämällä tarkkuudella.” Toteutusta palvelevan suunnittelukokonaisuuden tavoitteena on tuottaa rakentamisen mahdollistavat yhteensovitetut suunnitelmat urakoitsijoiden käyttöön. (RT 10-11290, 2017) Toteutussuunnittelu on detaljitason suunnittelua, jonka taso realisoituu työmaalla. Suunnitelmien rakennettavuuden arviointi jää usein suunnittelussa tekemättä tai rakennettavuudesta tehdään oletuksia (Korman ja Huey-King, 2014). Urakoitsijoilla on arvokasta konkreettista kokemusta työmaan haasteista ja suunnitelmien ongelmakohdista, joita ei suunnittelijoille ole välttämättä kehittynyt. Niinpä toteutussuunnitteluvaiheessa suunnittelijan ja PJ-talotekniikkaurakoitsijan välinen yhteistyö on todettu toimivaksi ja kustannuksia alentavaksi. (*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023)

Rakentamisvaiheen tuottavuutta on onnistuttu tutkimaan aikaisemmin, ja sen onkin todettu sisältävän merkittävän määrän hukkaa. Rakennusalan työn tuottavuuden kasvu on ollut hidasta. (Ahonen *et al.*, 2022) Suunnitteluvaiheen työn tuottavuuden arviointi on ollut tuotantoa haastavampaa suunnittelutyön iteraatioluonteisuuden vuoksi. Suunnitelmien iterointia on sekä positiivista että negatiivista. Positiivinen iterointi parantaa suunnitelmien laatutasoa, kun taas negatiivinen iterointi ei lisää arvoa tai heikentää sitä. (Ballard, 2000) Positiivisen iteraatioprosessin suositellaan jatkettavan niin pitkään kuin mahdollista, jolloin se kasvattaa lopputuotteen arvoa, mutta liian pitkään jatkuessaan arvon tuotto lakkaa synnyttäen ajan ja kustannusten hukkaa (Knotten *et al.*, 2015).

Hukan määrittely yksinkertaistuu, kun prosessia kuvataan tiedon virtauksen prosessina. Tämä prosessi on nelivaiheinen. Vaiheet ovat suunnittelu, odottelu, tiedon siirtyminen ja tarkastaminen. Suunnittelun hukkaa on onnistuttu mittaamaan Building 2030 hankkeen

eräässä tutkimuksessa, jossa todetaankin suunnitteluvaiheen sisältävän valtavan määrän hukka-aikaa. Arvoa lisääväksi ajaksi määriteltiin vain 17 %. (Seppänen *et al.*, 2020) Suunnittelun hukalla ja tuotantovaiheen hukalla on havaittavissa myös yhteys. Suunnitelmien virheet, muutokset, epäselvyydet ja viivästykset aiheuttavat suoraa hukkaa myös tuotantoon. Toteutussuunnitteluvaiheen hukkaa diplomityössään tutkinut Ossi Koniel (2019) on listannut suunnitteluprosessin hukan tyypeiksi suunnittelun puutteellisilla edellytyksillä, suunnitelmien tarkastuksen, uudelleen suunnittelun, tiedon siirtymisen ja tiedon odottelun. Suunnitteluprosessin hukkaa pystytään eliminoimaan Lean-filosofian menetelmillä, kuten imuohjauksella, JIT ja SBD-ajatteluilla, sekä SUKE-mallilla. (Koniel, 2019)

Suunnitteluprosessi lukuisine osapuolineen ja tehtävineen sisältää monia erilaisia riippuvuussuhteita, jonka takia prosessia on haastava järjestää ja johtaa tehokkaasti. Näiden riippuvuuksien tunnistaminen on olennaisessa osassa suunnittelun ohjaamisen kannalta. Knotten *et al.* (2015) esittävät prosessin ohjaamisen työkaluiksi Collaborative Design Managementia (CDM), SCRUMIA sekä tietomallin hyödyntämistä. (Knotten *et al.*, 2015)

Aikaisemmassa Aalto-yliopiston tutkimuksessa on havaittu, että jopa 43 % suunnitteluprosessin ongelmista kohdistui talotekniikkasuunnitteluun. Talotekniikkasuunnittelijat kertoivat suunnittelun päähaasteen olevan heikossa koordinaatiossa suunnitteluorganisaation jäsenten välillä. (Seppänen *et al.*, 2020) Hassanain et al., (2018) löysivät tutkimuksessaan 36 tekijää, joilla havaitaan olevan vaikutusta taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen onnistumiseen. Tutkimuksessa löydetyt tekijät jaetaan kuuteen pääkategoriaan, jotka ovat: hankkeen suunnitteluvaihe, taloteknisten järjestelmien suunnittelu, taloteknisten järjestelmien toteutus, järjestelmien käytettävyys ja huollettavuus, tilaaja ja organisaation käyttämät suunnittelutyökalut. Taloteknisten järjestelmien suunnittelun onnistumisen osalta tärkeintä oli laadukkaat arkkitehtisuunnitelmat, sujuva tiedonsiirto sekä liitosten ja komponenttien detaljointi. (Hassanain *et al.*, 2018) Itävaltalaistutkimuksen mukaan erityisesti arkkitehti- ja talotekniikkasuunnitelmien välillä on suuri riski konflikteille. Arkkitehtisuunnitelmien muutokset ja ahtaat tilavaraukset hankaloittavat taloteknistä suunnittelua. (Monsberger ja Fruhwirth, 2018)

Onnistuneella talotekniikkasuunnittelun koordinointiprosessilla on merkittäviä kustannushyötyjä, etenkin hankkeissa, joissa talotekniikan tilavaraukset ovat ahtaat. Riley *et al.* (2005) ovat selvittäneet työmaalla havaittujen suunnitelmakonfliktien kustannuksia. Vähiten haittaa hankkeelle aiheuttaa konfliktit, jotka havaitaan ja ratkaistaan ennen asennuksien aloitusta. Näitä tapauksia on noin 50 % kaikista konflikteista ja ne ovat tyypillisiä toteutusvaiheen alussa. Arvioiduksi kustannusvaikutukseksi on määritelty 0–

1000$. Tapaukset, joissa urakoitsija ehtii toteuttamaan asennuksensa ja toinen urakoitsija joutuu korjaamaan asennuksensa tämän vuoksi kustannusvaikutuksiksi, arvioitiin 2000–5000 $. Näitä konflikteja oli noin 33 % kaikista konflikteista ja ne olivat tyypillisimpiä hankkeen keskivaiheilla. Jos konflikti huomataan vasta kun jälkimmäinen urakoitsija ei voi suorittaa asennustaan ja joutuu odottamaan, että ensin asentanut siirtää asennuksensa, kustannusarvio on noin 3000–30 000 $. Nämä tapaukset ovat tyypillisimpiä hankkeen lopuksi ja ovat noin 17 % kaikista tapauksista.

Toteutussuunnitteluvaiheessa laadittu yleissuunnitelma on määrä kehittää rakentamisen ja hankinnan mahdollistaviksi suunnitelmadokumenteiksi. (RT 10-11284, 2017) Toteutussuunnitteluvaiheessa kaikki suunnitelmaratkaisut tulisi olla rakennettavuudeltaan mahdollisimman hyvin toteutettavissa, sillä myöhemmin rakentamisvaiheessa tehtävät muutokset hidastavat hanketta ja luovat lisäkustannuksia. Taloteknisten toteutussuunnitelmien laatu on todettu heikoksi, eivätkä ne palvele asentajia työmaalla niin hyvin kuin olisi mahdollista.

3.2 Talotekniikan tietomallintamisen prosessi

Tietomallintaminen (Building Information Modeling, BIM) on rakennusalalla yleistynyt digitalisaation myötä viimeisten vuosikymmenien aikana. Tietomallintamisen ja digitalisaation roolia kasvatetaan 1.1.2025 voimaan tulevassa uudessa rakentamislaissa. Keskeisimpänä muutoksena laki yhdenmukaistaa tietomallin roolia rakentamisluvituksessa, joka uuden lain myötä vaatii alueidenkäytön suunnitelmat tietomallin mukaisina koneluettavassa muodossa. (Ympäristöministeriö, 2024) Tietomallintamista ohjataan Suomessa Yleisillä tietomallivaatimuksilla (YTV 2012), joka pohjautuu kansainväliseen SFS-EN ISO 19650 standardiin. Standardin mukaan: *”Informaatiovaatimukset on välitettävä toimitustiimissä pisteeseen, jossa informaatio voidaan tuottaa tehokkaimmin.”* (SFS-EN ISO 19650, 2019) Standardin tavoitteena on vähentää jäsentämättömän informaation korjauksista ja virheellisen informaation hallinnasta aiheutuvaa resurssihukkaa sekä luoda standardoitu informaation hallinnan malli rakennusalalle. Informaation hallinnan kolme menestystekijää ovat informaatiovaatimusten määrittely, informaation toimittaminen suunnittelussa ja informaation toimittaminen. (SFS-EN ISO 19650, 2019)

Tietomallintamisessa rakennuksen suunnittelijat muodostavat yhteistyössä kolmiulotteisia (3D) malleja niin, että informaatio olisi jaettavissa sekä käytettävissä projektissa mahdollisimman laajasti eri osapuolten välillä. (Mäki ja Paavola, 2012). Rakennustiedon Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 4:n mukaan: ”Kiinteistöjen ja rakennusten mallinnuksen tavoite on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävän kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaariprosessin tukeminen. Tietomalleja

hyödynnetään koko rakennuksen elinkaaren ajan, lähtien suunnittelun alusta ja jatkuen vielä rakennusprojektin jälkeen käytön ja ylläpidon aikana.” (RT 10-11069, 2012) Tietomallintamisen hyötyjä on listattu useissa lähteissä (Eastman *et al.*, 2011; Leite, 2020) ja sen on kerrottu lisäävän hankkeiden tuottavuutta sekä helpottavan osapuolten välistä kommunikaatiota. Nämä aihealueet on tunnistettu edelleen ongelmallisiksi nykypäivän rakennushankkeita tarkasteltaessa, joten voitaneen todeta, että tietomallintaminen ei ole saavuttanut täyttä potentiaaliaan rakennushankkeiden johtamisen edesauttajana. Wang *et al.* (2015) mukaan monet tutkimuksista keskittyvät tietomallintamisen jalkauttamiseen joko suunnitteluvaiheeseen tai rakennusvaiheeseen. Artikkelissa osoitetaan että, tutkimusta talotekniikan suunnittelun ja toteutuksen tietomalliprosessin integroimiseksi tarvitaan (Wang *et al.*, 2015).

Informatiivinen tietomalli mahdollistaa suunnittelun ohjauksen ja eri suunnittelualojen yhteistyön aikaisemmassa vaiheessa hanketta. Hyvin toteutettu informatiivinen tietomalli edesauttaa tavoitteellisen koko elinkaaren aikaisten kustannustappioiden vähentämisen, jotka johtuvat puutteellisista elinkaaritiedoista hankkeiden suunnitteluvaiheessa. Gallaher et al. on vuoden 2004 tutkimuksessaan arvioinut kyseisten tappioiden olevan pelkästään Yhdysvalloissa noin 15.8 miljardia dollaria. (Gallaher *et al.*, 2004)

Talotekniikan osalta tietomallintaminen on merkittävässä roolissa suunnittelun toteutusjärjestelmänä. Talotekniset järjestelmät mallinnetaan ja eri järjestelmien reittien toteutuskelpoisuus pyritään varmistamaan törmäystarkasteluilla. Kuten tässä tutkimuksessa on todettu taloteknisiä järjestelmiä ei ole onnistuttu suunnittelemaan eikä mallintamaan tasolle, jolla työmaan toteuttajat pystyisivät ne hyödyntämään ilman ajallista hukkaa. Valkonen ja Seppänen ovat tutkimuksessaan ensimmäiseksi talotekniikan asennusprosessin tuottavuutta parantavaksi tekijäksi nostaneet tietomallintamisen laajamittaisen hyödyntämisen hankkeessa. (Valkonen ja Seppänen, 2023)

Tietomalli datarikkaana järjestelmänä on olennainen osa rakennushankkeen informaatiovirtaa. Mitä laadukkaampaa rakennushankkeen informaatiovirta on, sen kustannus- ja aikataulutehokkaampi hanke on. (Seppänen ja Uusitalo, 2017) Suunnittelutiedon virtaamista rakentamisen käyttöön on kehitetty RAVA3PRO -hankkeessa. Siinä taloteknistä toimitusketjua kehitetään yhtenevällä tuotetiedolla, jonka avulla suunnittelutiedosta saadaan hankintatietoa. Kansallisesti yhteneväinen tuotetieto kehittää aliurakoiden sekä materiaalien hankintaa määräluetteloiden ja kustannustietoisuuden löytyessä suoraan tietomallista. Tämän tietoisuuden lisääntyminen helpottaa merkittävästi TATE-urakoiden hankkimista alustavin suunnitelmin sekä määräluetteloin. Suunnitelmien päivittyessä urakoiden määräluettelot päivittyvät. (Siren, 2024) Kuvassa 9 on esitetty TATE-tiedonvirtauksen malli suunnittelusta, hankintojen ja rakentamisen kautta ylläpitoon.

Kuva 10. *TATE-tiedonvirtaus (mukaillen Siren, 2024)*

Suunnitteluvaiheessa syntyvä tuoteluettelo E-BOM (Engineerin Bill Of Material) rikastetaan vakioiduksi hankintatiedoksi (M-BOM=Manufacturing Bill Of Material), ja sitä kautta suunnitelmiin pohjautuviksi tilauksiksi. Tämä tuotetietoisuus mahdollistaa sähköisen luovutusvaiheen materiaaliluetteloiden, kemikaaliluetteloiden, huoltokirja-aineistojen ja hiilijalanjäljen määrittelyn. (Siren, 2024)

3.2.1 Tietomallintamisen tasot, tarkkuus ja toleranssit

Jotta tietomallia hankkeessa pystytään mahdollisimman hyvin hyödyntämään, on jokaiselle hankkeelle tunnistettava ja asetettava hankekohtaiset painopistealueet sekä tavoitteet. Rakennustiedon Yleiset tietomallivaatimukset (2012) esittää mallinnuksen yleisimmille tavoitteille seuraavia:

- Hankkeen päätöksentekoprosessien tukeminen
- Osapuolten sitouttaminen hankkeeseen mallin avulla
- Suunnitteluratkaisujen havainnollistaminen
- Suunnitelmien yhteensovittamisen avustaminen
- Parantaa rakennusprosessin ja sen lopputuotteen laatutasoa
- Tehostaa rakentamisen prosessia
- Parantaa turvallisuutta sekä rakentamisen, että elinkaaren aikana
- Tukea kustannus- sekä elinkaarianalyysejä
- Helpottaa tietojen siirtämistä käytönaikaiseen tiedonhallintaan. (RT 10-11069, 2012)

Tietomallintamisen tavoitteet ja haluttu taso vaikuttaa oleellisesti tietomallin tarkkuustasoon. Tavoitteiden mukaan määritelty tietomallin tarkkuustaso pyrkii siihen, että mallin tietosisältö vastaa haluttua käyttötarkoitusta. Näin ollen tilaajan sekä tietomallista vastuussa olevan tahon tulee tavoitteenasetannan yhteydessä päättää, mille tasolle malli tehdään ja mikä on mallin käyttötarkoitus. Tämän tutkimuksen kannalta on olennaista tietää, tehdäänkö malli sille tasolle, että sen varaan voidaan työmaalla tukeutua toteutuksen ongelmienratkaisun yhteydessä. Yleiset tietomallivaatimukset (2012) jakavat tietomallintamisen tason neljään tarkkuustasoon, jotka ovat verrattavissa kansainväliseen

LOD- (Level Of Detail) järjestelmään, jossa tasot jaetaan LOD 100-400 välille. (Leite, 2020) Tietomallintamisen tasot määritellään seuraavasti:

Taso 1: Rakennus mallinnetaan perusgeometrialtaan ja sijainniltaan oikein.

Taso 2: Perusgeometrian lisäksi rakenteiden kokonaismäärät elementoidaan niin, että niiden kokonaismäärät on mahdollista laskea

Taso 3: Rakennukselle mallinnetaan tyyppielementit, -rakennusosat ja -paikallavalut, joiden liitynnät, raudoitteet ja valutarvikkeet mallinnetaan geometrialtaan ja sijainniltaan oikein. Teräskokoonpanoista tehdään mallikokoonpanot liitoksineen.

Taso 4: Rakennuksen elementit, rakennusosat ja paikallavalut mallinnetaan toteutuskelpoiselle tasolle liitoksineen, raudoitteineen ja valutarvikkeineen. Teräskokoonpanoista tehdään konepajatasoiset mallit.

Tasot mahdollistavat eritasoiset käyttötarkoitukset. Taso 1 mahdollistaa suunnittelualojen yhteensovittamisen. Tason 2 avulla voidaan hankkeen valmisteluvaiheessa tehdä määrälaskentaa. Taso 3 mahdollistaa hankintojen tekemisen ja työn suunnittelun tietomallin avulla. Taso 4 vastaa toteutuskelpoista tarkkuustasoa ja tietosisältöä. Olennaista on myös ymmärtää tarkkuustason vaikutus tietomallisuunnittelun hintaan. Yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan tietomallitasolta toiselle siirryttäessä mallintamisen kokonaiskesto kasvoi 2–11-kertaiseksi, jolloin myöt suunnittelun kustannukset kasvavat (Leite, 2020). Toisaalta tasolta seuraavalle siirtyminen toimivan prosessin avulla vähentää rakennusaikaisia kustannuksia, jotka johtuvat suunnitelmien rakennettavuusongelmista. Wang et al. (2015) esittivät kiinalaistutkimuksessaan monivaiheisen yhteensovitusprosessin säästäneen pelkästään materiaalikustannuksissa 48 miljoonan Yhdysvaltain dollarin (USD) hankkeessa noin 201 000 dollaria (Wang *et al.*, 2015).

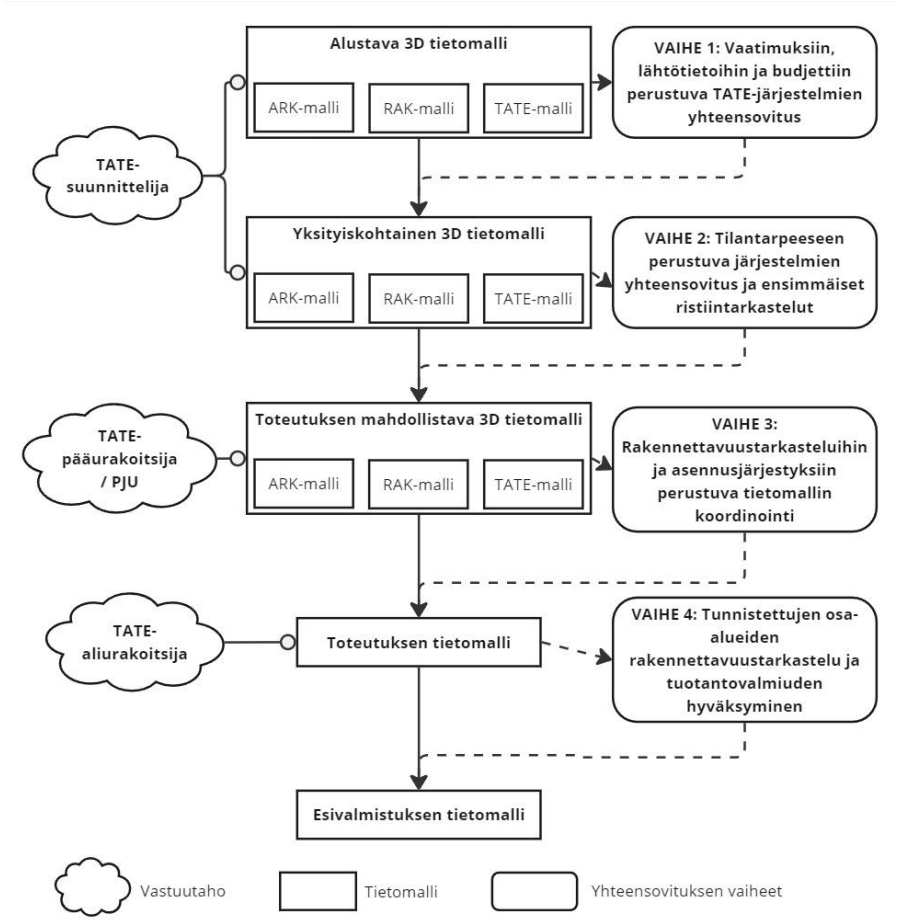
3.2.2 Törmäystarkastelut ja yhteensovitus

Tietomallintaminen mahdollistaa nopeamman ja tarkemman suunnitelmien yhteensovituksen. Tehokas tietomallipohjainen suunnittelunohjaus voi ehkäistä kustannusten ylitystä, aikatauluviiveitä ja työn keskeytyksiä työmailla, kun eri suunnittelualojen suunnitelmat voidaan risteyttää aikaisempaa kaksiulotteista mallintamista ketterämmin (Leite, 2020). Tietomallipohjaisia suunnitelmia yhteensovitetaan törmäystarkasteluin, jossa suunnitteluohjelman toiminto paljastaa suunnitelmakomponenttien risteämiset 3D-mallissa. Törmäyksiä voi hankkeissa löytyä suuria määriä ja niiden ratkaiseminen on aikaa vievää (Teo *et al.*, 2022). Tietomallikoordinointi ei takaa rakennettavuutta, vaikka tietomallin törmäystarkastelussa se olisi todettu törmäyksettömäksi. Työmaalla asennusten

toteutuskelpoisuuden estää usein mallintamattomat objektit tai tietomallin rakennettavuustarkastelun puuttuminen. Näihin ongelmiin ratkaisuna Valkonen ja Seppänen esittää tutkimuksessaan tietomallin laatutason parantamisen sekä tietomallin rakennettavuustarkastelun tuomisen mukaan tietomallintamisen prosessiin (Valkonen and Seppänen, 2023). Mallintamattomiin objekteihin kuuluvien taloteknisten kannatusten suunnittelun yhdenmukaistamiseksi buildingSMART Finland on laatinut uuden tehtävänkuvauksen sisällytettäväksi nykyisiin suunnittelutoimeksiantoihin. Tällä pyritään kannatusten parempaan huomiointiin suunnitteluvaiheessa. (Järvinen and Heikkilä, 2024) Törmäystarkasteluiden sekä yhteensovitusten aiheuttama suunnitelmien deletointi ja risteämisten aiheuttama kiertely aiheuttaen vaikeasti toteutettavia ratkaisuja (*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023).

Talotekniikkaurakoitsijat ovat avainasemassa suunnitteluvaihtoehtojen muodostamisessa. He vastaavat rakentamisen yksityiskohtien kehittämisestä ja toteutuksesta. He ovat kuitenkin tyypillisesti passiivisia tietomallipohjaisessa suunnittelun ohjauksessa. Tämä saattaa johtua siitä, että tietomallin käyttö hankkeissa ei ole vielä täysin vakiintunut. (Wang *et al.*, 2015; Wang ja Leite, 2016; Varteva, 2021)

Wang *et al*. (2015) ovat luoneet suunnitelmien kehittämiseen prosessin, jonka tavoitteena on ratkaista suunnittelun ja toteutuksen rajapinnan yhteensovitusongelmat. (Kuva 11.) Prosessissa on viisi prosessin myötä kehittyvää tietomallia ja neljä vaihetta, joiden tarkoituksena on kehittää tietomalli toteutuksen ja esivalmistuksen mahdollistavaksi malliksi. Kolme ensimmäistä vaihetta ovat tavanomaisia suunnittelun koordinoinnin vaiheita. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään projektin laajuus, tilaohjelmat ja muut perustiedot, joiden pohjalta talotekniikka voi laskea tarvittavan järjestelmien laajuuden ja luonnostella sen sijoittelun. Toisessa vaiheessa muodostetaan lähtötietojen ja budjetin mukaiset tarkat järjestelmäkuvaukset, jotka yhteensovitetaan arkkitehti- ja rakennemallien kanssa. Tässä vaiheessa voidaan toteuttaa ensimmäinen eri järjestelmien törmäysten yhteensovittaminen. Kolmannesta vaiheesta eteenpäin prosessiin otetaan mukaan tarkempi rakennettavuustarkastelu. Ensin talotekninen pääurakoitsija tai vastaavasti projektinjohtourakoitsija ottaa vastuun suunnitelmien toteutuskelpoisuuden koordinoinnista tuoden oman panoksensa ammattitaitoisena toteuttajana. Tässä vaiheessa on olennaista tunnistaa hankkeen haastavat osa-alueet, joissa tehdään laaja tarkastelu rakennettavuudesta ottaen huomioon asennusjärjestykset, asennustyön tarpeet.



Kuva 11. *Tietomallin kehittäminen toteutuksen mahdollistamiseksi (mukaillen Wang et al., 2015)*

3.2.3 4D ja 5D-tietomallinnus

Perinteistä 3D tietomallia on kehitetty viime vuosien aikana eteenpäin ja siihen on liitetty neljänneksi ulottuvuudeksi aikataulu, jolloin puhutaan 4D-aikataulusta. 4D-aikataulu mahdollistaa rakennuksen visualisoinnin millä tahansa ajan hetkellä, tai mistä tahansa sijainnista. (Crowther ja Ajayi, 2021) Suomessa 4D-tietomallinnus on kohtalaisen uusi palvelu eikä näin ollen vielä laajamittaisessa käytössä. (Ojala ja Sipilä, 2022) Projektiorganisaatiolle on tärkeää, että aikataulut ovat mahdollisimman luotettavia sekä loogisesti eteneviä, hankkeen riskit on tunnistettu ja tuotannon etenemisen seuranta verrattuna suunniteltuun on mahdollista. Näihin kaikkiin osa-alueisiin 4D-tietomallintaminen pyrkii luomaan luotettavan työkalun. (Crowther ja Ajayi, 2021)

Tietomallintaminen taso vaikuttaa työmäärään sekä kustannuksiin. Mallin ollessa yksityiskohtaisempi, vaatii se enemmän myös aikataulutukselta. Nykypäivän rakentamisessa 3D-mallintaminen on osa prosessia lähes kaikissa suurissa tai keskisuurissa hankkeissa ja usein sen taso mahdollistaa ainakin hankinnat sekä työn suunnittelun mallin avulla. Aikataulun osalta olennaiset päätökset 4D-mallissa on malliin sisällytettävät

osa-alueet sekä aika-askeleen pituus. (Knuuttila, 2012) Chau *et al*. (2005) 4D-rakentamisen johtamista käsittelevässä tutkimuksessaan toteavat tavanomaista isommassa rakennushankkeessa 4D-aikatauluun sisällytettävät tehtävät tulisi olla noin kahden viikon mittaisia tai lyhyempiä, jos tehtävä on kriittinen toteutuksen kannalta. (Chau, Anson ja De Saram, 2005)

Tutkimuksen kohdistuessa toteutussuunnittelun ja asennustyön haasteisiin, on 4D-aikataulusuunnittelu varteenotettava keino työn sujuvoittamiseksi. Asennustyön näkökulmasta 4D-tietomalli helpottaa työn suunnittelua, työturvallisuutta, logistiikkaa sekä asennusjärjestysten suunnittelua. Työn suunnittelu helpottuu, kun 4D-mallista on nähtävissä työskentelyalueet kullekin ajanjaksolle. Työturvallisuutta kehittää 4D-mallin paremmat mahdollisuudet riskien tunnistamiselle, työturvallisuuden suunnittelulle sekä turvallisuusjärjestelyistä tiedottamiselle. Logistiikkaa ja asennusjärjestysten yhteensovittamista sujuvoittaa mallin kyvykkyys tunnistaa tarvittavat työskentely- ja varastointitilat, jolloin tunnistetaan tietyn työskentelyalueen töiden päällekkäisyydet. (Sulankivi, Mäkelä ja Kiviniemi, 2009; Knuuttila, 2012; Crowther ja Ajayi, 2021) (Mirzaei *et al.*, 2018)

5D-tietomallinnuksessa malliin liitetään kustannustietoisuus, jolloin budjetin ennustaminen hankkeen alkuvaiheessa mahdollistuu. Budjettiarvio muuttuu reaaliaikaisesti suunnitelmamuutoksia /-lisäyksiä tehtäessä. 5D-tietomallin voidaan todeta, olevan tietomallitasoltaan ensimmäinen kokonaisvaltainen työkalu rakennushankkeen ohjaukseen. Malli huomioi kaikki rakennushankkeen onnistumisen edellytykset eli laadun, aikataulun sekä kustannukset. (Teo *et al.*, 2022)

3.3 Toteutussuunnittelun yhteenveto

Taloteknisen toteutussuunnittelun on todettu sisältävän merkittävän määrän hukkaa. Suunnittelun ja tietomallintamisen osalta kirjallisuusselvityksen havaintoja on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. *Yhteenveto talotekniikan toteutussuunnittelusta*

Suunnitteluvaihe sisältää merkittävän määrän hukkaa. Hukan tyypit: suunnittelun puutteellisilla edellytyksillä, suunnitelmien tarkastus, uudelleen suunnittelu, tiedon siirtyminen ja tiedon odottelu.	(Koniel, 2019; Seppänen et al., 2020)
Suunnittelun positiivisen iteraatioprosessin suositellaan jatkettavan niin pitkään kuin mahdollista, jolloin se kasvattaa lopputuotteen arvoa, mutta liian pitkään jatkuessaan arvon tuotto lakkaa synnyttäen ajan ja kustannusten hukkaa	(Knotten *et al.*, 2015).
43 % suunnitteluprosessin ongelmista kohdistuu talotekniikkasuunnitteluun. Suunnittelun päähaaste heikko koordinaatio suunnitteluorganisaation jäsenten välillä	(Seppänen et. al, 2020)

Tietomalli lisää hankkeiden tuottavuutta sekä helpottaa osapuolten välistä kommunikaatiota.	(Eastman et al., 2011; Leite, 2020)
Uusi rakentamislaki vaatii alueidenkäytön suunnitelmat koneluettavassa muodossa.	(Ympäristöministeriö, 2024)
Tietomallintamisen laajamittainen hyödyntäminen hankkeessa parantaa talotekniikan asennusprosessin tuottavuutta.	(Valkonen ja Seppänen, 2023)
Hyvin toteutettu informatiivinen tietomalli edesauttaa tavoitteellisen koko elinkaaren aikaisten kustannustappioiden vähentämisen.	(Gallaher et al., 2004)
Tehokas tietomallipohjainen suunnittelunohjaus voi ehkäistä kustannusten ylitystä, aikatauluviiveitä ja työn keskeytyksiä työmailla, kun eri suunnittelualojen suunnitelmat voidaan risteyttää aikaisempaa kaksiulotteista mallintamista ketterämmin	(Leite, 2020)
Törmäystarkasteluiden sekä yhteensovitusten aiheuttama suunnitelmien deletointi ja risteämisten aiheuttama kiertely aiheuttaa työmaalla vaikeasti toteutettavia ratkaisuja	(*Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023)
Törmäyksiä voi hankkeissa löytyä suuria määriä ja niiden ratkaiseminen on aikaa vievää	(Teo *et al.*, 2022).
Tietomallikoordinointi ei takaa rakennettavuutta. Työmaalla asennusten toteutuskelpoisuuden estää usein mallintamattomat objektit tai tietomallin rakennettavuustarkastelun puuttuminen.	(Valkonen ja Seppänen, 2023)
Tietomallipohjainen tiedonvirtaus vakioiduilla tuotetiedoilla helpottaa aliurakoiden sekä materiaalien hankintaa	(Siren, 2024)
4D ja 5D tietomallintamisella on mahdollista kehittää urakkatyön tuottavuutta tulevaisuudessa	(Crowther ja Ajayi, 2021)

4. TALOTEKNIIKAN TOTEUTUS

4.1 Talotekniikan asennustyö

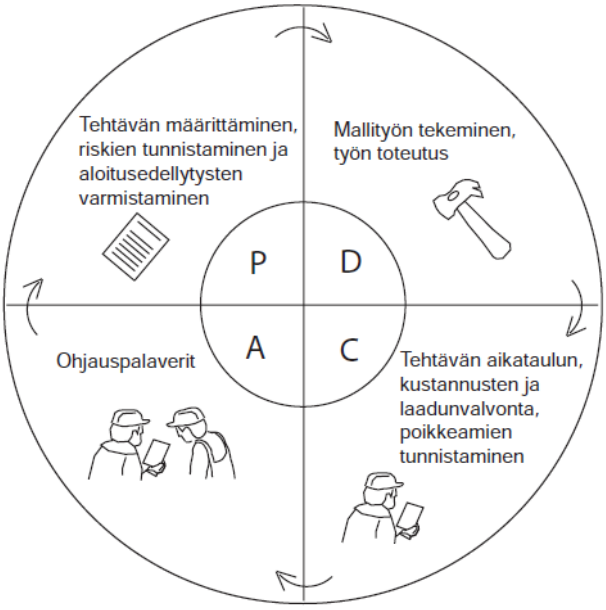
Talotekniikan asennusprosessin on aikaisemmissa tutkimuksissa tunnistettu sisältävän suuren määrän hukkaa. Aalto-yliopiston tutkimusten mukaan asennusaika osuus työajasta vaihtelee eri tekniikka-alojen välillä 18–25 % välillä. Asennustyötä tukevan työn osuus oli 41–42 % ja varsinaiseksi hukaksi luokitellun työn osuudeksi kerrottiin 16–28 %. Suurin osa hukan syistä tutkimuksessa todettiin liittyvän puutteellisiin aloitusedellytyksiin. Urakoitsijat asentajineen joutuvat tekemään asennustyön suunnittelua samanaikaisesti työn kanssa, jolloin työn sujuvuus sekä tuottavuus kärsii. Asennustyön suunnittelu tulisi tehdä suunnittelijan ja urakoitsijan yhteistyönä ennen työn aloittamista hyödyntäen tietomallin visualisointikyvykkyyttä. (Seppänen *et al.*, 2021) Amerikkalaistutkimuksessa arvoa tuottamattomaksi ajaksi määriteltiin ammattikunnan mukaan 40–60 % ja syyksi määriteltiin suunnittelun ja prosessin kontrolloinnin puute. Alhaisella työn tuottavuudella on suuret kustannukset, kun karkeasti määriteltynä noin 40–60 % hankkeen kustannuksista on työvoimaa. Tällöin, jos yritys onnistuisi vähentämään hukkatyötä kolmanneksella, voitaisiin säästää noin kuudesosa projektin kustannuksista. (Chelson, 2010)

Talotekniikan asennustyö vaatii onnistunutta tehtäväsuunnittelua. Ennen asennustyötä tulee varmistaa työn aloitusedellytykset eli aikaisempien työvaiheiden valmius, suunnitelmien ajantasaisuus, tarvittavat materiaalit ja henkilöresurssit. Lisäksi tehtäväsuunnitelmassa tunnistetaan riskit ja varmistetaan turvallisuus. Tehtäväsuunnittelu mahdollistaa työnaikaisen johtamisen ja ohjauksen. Pelkkä tehtäväsuunnitelman teko ei riitä, vaan työtehtävän etenemistä tulee myös seurata. Olennaisinta tehtäväsuunnittelussa on suunnittelutarpeen tiedostaminen, jolloin saadaan vastaus kysymykseen, miksi tehtäväsuunnittelua tehdään. Tehtäväsuunnittelun prosessia kuvataan Demingin-ympyrämallilla, joka on esitetty kuvassa 12. Rakennushankkeen viranomaisosapuoli vaatii työnantajalta järjestelmällisyyttä, joka pitää sisällään määrättyjen toimenpiteiden suorittamisen. Toimenpiteet on listattu alla:

- Katselmukset
- Ilmoitukset
- Työmaasuunnitelmat
- Tarkastukset
- Turvallisuusseuranta

- Pätevyydet
- Lupakirjat
- Varastointiluvat
- Työterveyden organisointi

Näihin vaatimuksiin vastaaminen helpottuu kokonaisvaltaisen kuvan 11. mukaisen tehtäväsuunnittelun avulla. (Palomäki *et al.*, 2010)



Kuva 12. *Demingin -ympyrämallin mukainen tehtäväsuunnittelu (Palomäki et al., 2010)*

Valkosen ja Seppäsen tutkimuksessa (2023) asennustyön ongelmat jaettiin kolmeen eri kategoriaan, jotka olivat riittämättömät tilavaraukset, puuttuvat suunnitelmakomponentit ja rakennettavuus. Riittämättömät tilavarauksissa asennustila on pienempi tai asennettava laite on suurempi, jolloin asennus voi olla joko mahdotonta tai aiheuttaa merkittävää haittaa sen huollettavuudelle. Tietomallista ja suunnitelmista puuttuvat suunnitelmakomponentit aiheuttavat ennalta-arvaamattomia ongelmia ja vievät tilaa rakennuksesta pienentäen näin ollen suunniteltujen objektien asennustilaa. Mallintamattomia objekteja suunnitelmissa olivat muun muassa TATE-kannatukset, sähkökaapelit tai pienet rakenteelliset ratkaisut kuten kiinnikkeet. Rakennettavuuden tarkastelun kerrottiin tutkimuksessa kohdistuvan lähinnä törmäysten välttämiseen törmäystarkasteluin, eikä aitoa rakennettavuuden, asennusjärjestyksen, asennukseen vaadittavien työvälineiden sekä yhteensovituksen koordinointia suoritettu. (Valkonen ja Seppänen, 2023)

Asentamisessa ja sen suunnittelussa työmaalla hyödynnetään edelleen paljon perinteisiä suunnittelutyökaluja, kuten Gantt-kaaviota sekä 2D piirustuksia. Nämä perinteiset ta-

vat eivät mahdollista kohteen avaruudellisen ulottuvuuden tarkastelua, jonka takia asennusjärjestysten, -aikataulujen ja menetelmien suunnittelu sekä hallinta on haasteellista. Usein rakennusprojekteissa tilankäyttö, logistiikka ja asennusjärjestykset perustuvat työmaajohdon henkilökohtaiseen ammattitaitoon tai olettamuksiin. Asennusaikataulu on toteutettava niin, että se huomioi rakennusprosessin dynaamisuuden eli prosessin ympäristö muuttuu ajan funktiona. Tällöin asennusaikataulua laativan henkilön on muodostettava prosessi mielessään, jolloin projektien monimutkaistuessa tehtävästä tulee käytännössä katsoen mahdoton. (Winch, 2009) Digitaalisten sovellusten käyttämistä työmaalla taloteknisten asennusten helpottamiseksi olisi mahdollista lisätä (Varteva, 2021). Tutkimukset maailmalla ovat osoittaneet, että toteutuksen tuottavuutta voitaisiin parantaa hyödyntämällä teknologiaa paremmin. Wu *et. al* (2022) mukaan tietomallin hyödyntämisellä asennustyössä on suuri potentiaali LVI-asennusten virheiden vähentämisessä. Sen mahdollistaessa putkistojärjestelmän asennustilan hahmottamisen, törmäyksien ja etäisyyksien hahmottamisen muihin järjestelmiin sekä vaihtoehtoisten toteutustapojen arvioinnin. Tietomallin käyttö LVI-töiden yhteensovittamisessa on todettu kasvattavan työn tuottavuutta 5–25 % ja sen on todettu olevan jopa 228 % nopeampaa kuin perinteisten 2D kuvien käyttö. Kiinassa taloteknisten projektien kokonaistuottavuus on kasvanut 13–38 % tietomallin hyödyntämisen myötä. (Wu *et al.*, 2022) Tietomallin hyödyntämisasteesta työmaalla ei löytynyt kovinkaan paljoa Suomalaista relevanttia tutkimusaineistoa.

4.1.1 Lämmitys-, vesi- ja viemärityöt

Lämmitys-, vesi- ja viemärityöt lyhennettynä LVV-työt perinteisesti tehdään aloittaen rakennuksen perustuksista ja pohjakerroksista, joissa yleensä sijaitsee rakennuksen lämmönjakohuone. Työjärjestyksenä edetään pääjohdoista käyttöpisteisiin. LVV-työt on hankkeeseen aikataulutettava oikeassa järjestyksessä niin, että edeltävät rakennustekniset työvaiheet on tilojen, rakenteiden ja pintojen osalta määrätyllä valmiusasteella. Lisäksi on huolehdittava, että muut talotekniset työt, kuten sähkötyöt, on yhteensovitettu LVV-töiden kanssa. Liitteenä 1 olevaan taulukkoon on koottu Ratu -kortiston mukaiset LVV-töiden aikataulutettavat tehtävät. Aikataulun tavoitteena on varata urakoitsijoille realistinen työaika sekä se on työnsuunnittelun ja hankintojen ajoituksen mahdollistaja. LVI-töiden aikataulutuksen luotettavuutta heikentää suuri liitos-, taivutus- ja kannakointimäärä, suunnitelmien keskeneräisyys ja jatkuvat muutokset, muutostöiden suuri määrä sekä huono työnohjaus. (LVI 04-10410, 2007)

4.1.2 Sähkötyöt

Sähkötyöt toteutetaan pääkeskustiloista kohti käyttöpisteitä, joka tarkoittaa usein pohjakerroksesta ylöspäin. Ensin toteutetaan johtoreitit, kuten putkitukset, kaapelihyllyt, kanavat ja asennuskourut. Tämän jälkeen voidaan toteuttaa johdotukset keskuksilta pisteille ja lopuksi suoritetaan sähkökalustus. Tutkimuksen liitteenä 2 on esitetty Ratu-kortiston mukaiset sähkötöiden aikataulutettavat tehtävät. Sähkötöiden aloittamista varten rakenteiden ja pintojen tulee olla tarvittavalla valmiusasteella ja sähkötöiden toteuttamiselle on varattava riittävästi aikaa. On huomioitava myös muiden TATE-järjestelmien työt ja niiden yhteensovitus, sillä esimerkiksi IV-koneet ja lämpökeskus edellyttävät tehtyjä LVI-, sähkö- ja automaatioasennuksia. (LVI 04-10412, 2007)

Urakkasuunnittelussa on huomioitava, että sähkötöihin kuluvaa työmenekkiä kasvattaa sähkökalusteiden normaalia suurempi määrä, hankalat rakenteiden sisäiset putkitukset, suunnitelmien keskeneräisyys ja paikkansapitämättömyys, muutostyöt ja heikosti laaditut aikataulut. (LVI 04-10412, 2007) Etenkin sähkötöissä asennustyötä häiritsee sähkösuunnittelun suuri revisiomäärä ja jatkuvat suunnitelmamuutokset. (Seppänen *et al.*, 2021)

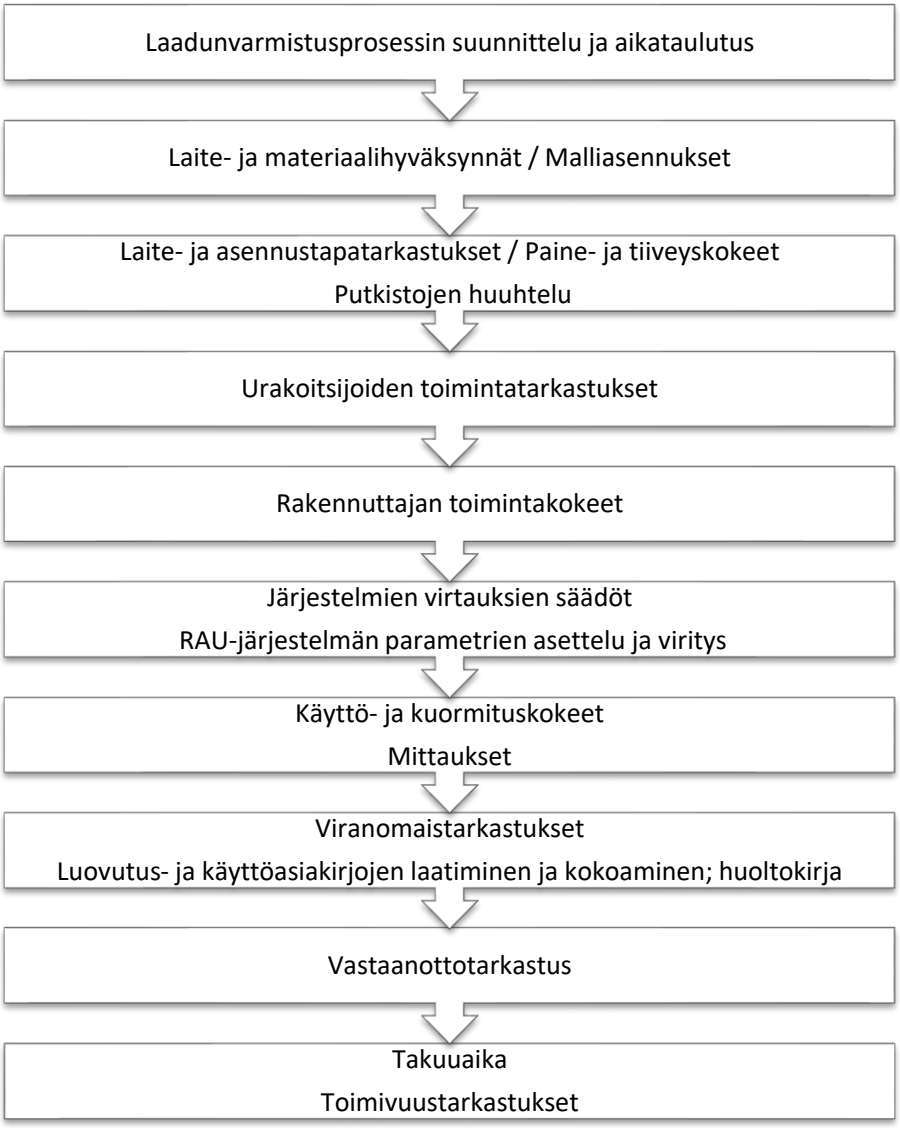
4.1.3 Ilmanvaihtotyöt

Ilmanvaihtotöiden työjärjestykseen vaikuttaa onko hankkeen tyyppi ja käytetäänkö siellä keskitettyä vai hajautettua ilmanvaihtoa. Asuinkerrostalojen keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä työt aloitetaan yläpohjan kanavista, kun taas liike- ja toimistorakennuksissa aloitetaan kellarikerroksen kanava-asennuksista. Hajautetussa ilmanvaihtojärjestelmässä työt aloitetaan myös kellarikerroksesta tai vastavuoroisesti huoneistojen IV-kanavista. Ilmanvaihdon aikataulutettavat työvaiheet on esitetty tutkimuksen liitteessä 3. IV-töiden työmenekkiin kasvattavasti vaikuttavia tekijöitä ovat ahtaat asennuspaikat, suorakaidekanavat, alakattorakenteet, suunnitelmien keskeneräisyys ja paikkansapitämättömyys, muutostyöt sekä heikosti laaditut aikataulut. (LVI 04-10411, 2007)

4.2 Talotekniikkaurakan laadunvarmistus

Urakkasuoritusten olennaisena osana ovat tarkastukset, toimintakokeet, säädöt, mittaukset ja koekäytöt, joiden tulee noudattaa TalotekniikkaRYL:in laatuvaatimuksia sekä LVI 03-10630 ja LVI 03-10631 ohjekorttien menettelytapoja (LVI 04-10410, 2007). Vartevan (2021) haastattelututkimuksen tuloksena todettiin, ettei taloteknisten järjestelmien testaukselle, laadunvarmistukselle ja luovutukselle varata riittävästi aikaa. Laadunvarmistuksen järjestelmällinen toteutus aloitetaan ennen asennustöiden aloitusta ja sitä jat-

ketaan säännöllisesti rakentamisen ajan takuuajan päättymiseen saakka. Laadunvarmistusprosessin (Kuva 12.) tavoitteena on suunnitelmien mukainen toteutus, vaadittava laatutaso sekä tavoitteet täyttävä lopputulos sekä valmius rakennuksen käytölle ja ylläpidolle. Prosessin on tarkoitus yhtenäistää ja tehostaa taloteknisten järjestelmien laadun ja toimivuuden varmistamista sekä sitouttaa hankkeen osapuolet laadukkaaseen toteutukseen.



Kuva 13. *Talotekniikan laadunvarmistuksen prosessi (mukaillen LVI 03-10630, 2018)*

Sopimusasiakirjoissa on määriteltävä, mitkä laadunvarmistuksen toimenpiteet hankkeessa tehdään ja kenen vastuulla niiden suorittaminen on. LVI 03-10630 ohjekortissa suositellaan prosessikuvauksen liittämistä urakoiden hankinta-asiakirjaksi. Laadunvarmistuksen toteutus on dokumentoitava laadunvarmistussuunnitelmassa esitettävin menettelyin. (LVI 04-10410, 2007; LVI 03-10630, 2018; LVI 03-10631, 2018)

4.3 Talotekniikkatoteutuksen yhteenveto

Talotekniikan asennustyö kohtaa monenlaisia haasteita, joihin osaan juurisyynä on suunnitelmien laatu. Asennustyön onnistumisen edellytyksenä on tehtäväsuunnittelu sekä laadunvarmistus. Kirjallisuusselvityksen havainnot on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. *Yhteenveto talotekniikan toteutuksesta*

Asennustyön hukan suuruus noin 16–25 % prosenttia	(Seppänen et al., 2021)
Hukan juurisyynä suunnittelu ja toteutus puutteellisin aloitusedellytyksin	(Seppänen et al., 2021)
Asennustyön suunnittelu tulisi tehdä suunnittelijan ja urakoitsijan yhteistyönä ennen työn aloittamista hyödyntäen tietomallin visualisointikyvykkyyttä.	(Seppänen *et al.*, 2021)
Systemaattinen tehtäväsuunnittelu olennaisessa osassa asennusten onnistumisen kannalta	(Palomäki et al., 2010)
Asennustyön ongelmina: - olivat riittämättömät tilavaraukset - puuttuvat suunnitelmakomponentit - rakennettavuus.	(Valkonen ja Seppänen, 2023)(Kiiras *et al.*, 2007)
LVISA-asennustöiden suunnittelua vaikeuttaa - Keskeneräiset suunnitelmat - Jatkuvat muutostyöt - Huono työnohjaus ja aikatauluttaminen	(LVI 04-10410, 2007; *Suunnitteluprosessi 2.0 -projekti*, 2023); (LVI 04-10412, 2007); (LVI 04-10411, 2007)
Laadunvarmistusprosessin tarkoituksena on varmistaa suunnitelmanmukainen toteutus ja sitouttaa osapuolet laadukkaaseen toteutukseen	(Lahdenperä ja Koppinen, 2003)
Laadunvarmistukselle, järjestelmien testaukseen ja luovutukseen ei varata riittävästi aikaa.	(Varteva, 2021)

5. TUTKIMUKSEN SUORITUKSEN KUVAUS

Tutkimuksessa on käytetty tutkimusmenetelmänä teemahaastatteluja, tutkijan osallistuvaa havainnointia ja työpajatyöskentelyä. Kyseisten menetelmien käyttö tässä tutkimuksessa kuvataan seuraavassa.

5.1 Asiantuntijahaastattelut

Case-kohteessa järjestettiin teemahaastatteluita keskeisimpien osapuolten kanssa. Haastatteluihin valikoitiin TATE-PJU:n avustamana case-kohteen keskeisimmät osapuolet niin, että toteuttavien organisaatioiden näkökulma saatiin parhaiten esitettyä. Tutkimuksessa haastateltiin yhteensä neljää taloteknistä aliurakoitsijan edustajaa, talotekniseen projektinjohtourakan projektipäällikköä, pääurakoitsijan talotekniikkapäällikköä, pääurakoitsijan tietomallikoordinaattoria sekä kahta talotekniikkasuunnittelijaa.

Taulukko 4. *Tutkimuksen Case-kohteen asiantuntijahaastattelut*

	Osapuoli	**Rooli**
H1	KVR-urakoitsija	Talotekniikkapäällikkö
H2	KVR-urakoitsija	Tietomallikoordinaattori
H3	TATE-PJU	Yhteishaastattelu: Projektipäällikkö, Sähkötöiden projektipäällikkö, LVV-töiden työnjohtaja, IV-töiden työnjohtaja
H4	TATE-suunnittelu	LVI-suunnittelun projektipäällikkö
H5	LVV-aliurakoitsija 1	Työpäällikkö
H6	LVV-aliurakoitsija 2	Työnjohtaja
H7	IV-aliurakoitsija	Työpäällikkö
H8	SÄH-aliurakoitsija	Projektipäällikkö ja nokkamies

Haastattelut teemoitettiin kirjallisuusselvitysten ja kenttätutkimuksen havaintoihin pohjautuen. Teemat olivat suunnittelun ohjaus ja toteutusmuoto, suunnitelmien rakennettavuus ja tietomallintaminen. Ohjaavat haastattelukysymykset on esitetty liitteessä 4. Haastattelujen havainnot ja tulokset on esitetty kappaleessa 6.1.

5.2 Osallistuva havainnointi Case-kohteessa

Mahdollisia tutkimuksen Case-kohteita tiedusteltiin Talotekniikka 2030 -tutkimushankkeeseen osallistuneiden yritysten edustajilta tämän tutkimuksen aloituspalaverissa. Työn Case-kohteeksi valikoitui julkinen hanke pääkaupunkiseudulta, jonka laajuus on noin 44 000 brm^2. Hanke toteutettiin elinkaarihankkeena, jossa urakkasopimuksen toteutusmuoto oli kokonaisvastuurakentaminen (KVR) sekä elinkaarimallin mukainen 20 vuoden palvelusopimus. Hankkeen pääurakoitsija on vastuussa suunnittelunohjauksesta. Pääurakoitsija on toteuttanut hankkeen tarjousvaiheesta saakka yhteistyössä taloteknisen projektinjohtourakoitsijan kanssa. Talotekninen projektinjohtourakoitsija (TATE-PJU) suorittaa hankkeessa talotekniikan toteutussuunnittelun sekä asennustyön yhteensovituksen. TATE-PJU on hankkeessa sopimussuhteessa KVR-pääurakoitsijaan. TATE-PJU:lla on alaisuudessaan useita taloteknisiä aliurakoitsijoita eri taloteknisten järjestelmien toteuttajina.

Hankkeen tavoitteiksi oli asetettu laadun parantaminen, taloudellisuuden varmistaminen sekä helposti ylläpidettävän, huollettavan ja koko elinkaaren kestävän rakennuksen tuottaminen. Tavoitteista etenkin viimeinen on tutkimuksen kannalta merkittävä, sillä talotekniikan huollettavuus ja käytettävyys voi kärsiä, jos toteutusta ei kyetä tekemään suunnitelmien mukaiseksi, ja asennuksia joudutaan improvisoimaan.

Havainnointi toteutettiin kohteessa maalis-huhtikuussa 2024. Työmaajakson tavoitteena on kartoittaa taloteknisen toteutussuunnittelun keskeisiä, konkreettisimpia sekä yleisimpiä haasteita toteuttavan organisaation näkökulmasta tarkasteltuna. Jakson aikana tutkija osallistui tutkimuksen kannalta olennaisiin työmaakierroksiin ja kokouksiin. Aluksi tutkija suoritti kohteen perehdytyksen ja tutustui kohteeseen sekä sen dokumentteihin. Tutkijalle myönnettiin oikeudet tarkastelemaan hankkeen tietomallia sekä keskeisimpiä aikatauluja. Tutkija osallistui taloteknisen projektinjohtourakoitsijan sekä taloteknisten aliurakoitsijoiden töiden yhteensovituskierroksiin, joissa varmistettiin hankkeen sujuva eteneminen. Lisäksi osana havainnointia tutkija osallistui urakoitsijapalavereihin, joka mahdollisti aikataulun tarkastelun ja antoi aliurakoitsijoille mahdollisuuden kommentoida suoriutumistaan ja antaa kehitysehdotuksia. Suunnittelukokouksissa TATE-PJU ohjasi suunnitelmien valmistumista ja antoi mahdollisuuden viikoittaiselle vuorovaikutukselle. Kolmannessa havainnoidussa kokouksessa eli talotekniikan tietomallipohjaisissa yhteensovituspalavereissa suunnitelmia yhteensovitettiin KVR-urakoitsijan, TATE-PJU:n ja suunnittelijoiden kesken. Taloteknisistä urakoista työmaalla oli käynnissä LVV-, IV-, sähkö, sprinkler ja automaatiourakat. Kenttätutkimuksen havaintoja ja tuloksia on kirjattu kappaleeseen 6.2.

5.3 Asiantuntijatyöpaja

Tutkimushankkeessa toteutettiin yksi asiantuntijavetoinen työpaja, jonka tavoitteena oli tutkimusosuudessa tunnistettujen haasteiden analysointi sekä ratkaisuehdotusten ideointi. Työpaja järjestettiin 14.5.2024 ja siihen osallistui 11 henkilöä. Työpajaan osallistui Talotekniikka 2030 -tutkimushankkeeseen osallistuneiden yritysten asiantuntijoita eri talotekniikan osa-alueilta. Työpajassa oli edustettuna taloteknisen urakoinnin ja suunnittelun edustajien lisäksi kaksi laitevalmistajan sekä yksi ohjelmistokehityksen edustaja.

Työpajan aluksi osallistujien ajatusta aiheeseen kohdistettiin alustavien tulosten esittelyllä, jonka jälkeen osallistujat suorittivat kolmessa ryhmässä kolme eri teemaista case-tehtävää. Case-tehtävät valittiin asiantuntijahaastattelujen sekä työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella. Tehtävien avulla pyrittiin testaamaan hankkeessa löydettyjä tuloksia sekä vahvistamaan niiden relevanttius. Tehtävien teemoiksi valikoitui tulosten mukaisesti toteutusmuoto ja suunnittelunohjaus, rakennettavuus sekä tietomallintaminen.

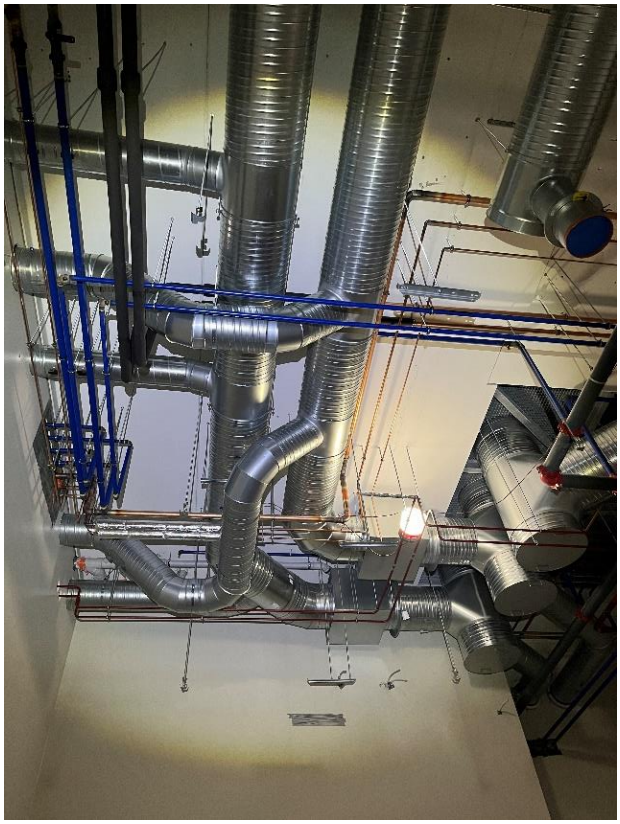
Toteutusmuodon ja suunnittelunohjauksen tehtävää ohjasi seuraava toimintaympäristökuvaus ja avustavat kysymykset;

Case 1: Useat haastavat hankkeet toteutetaan suunnittelun ja toteutuksen rinnastavilla toteutusmuodoilla esimerkiksi PJU:na. Juuri näissä suurissa ja kompleksisissa hankkeissa talotekniikan koordinointi on olennainen menestystekijä, mutta ei saa usein tarpeeksi huomiota. Hankkeiden rakentaminen aloitetaan yhä keskeneräisemmillä suunnitelmilla ja suunnitelmat muuttuvat/täydentyvät läpi koko hankkeen aivan vastaanottoon saakka. Tämä aiheuttaa merkittävää epävarmuutta toteutukseen. Suunnitelmien valmiudesta ja etenemisestä ei ole selkeää tilannetietoa läpi organisaation tilaajasta aliurakoitsijoihin. Suunnitelmia toimitetaan kädestä suuhun periaatteella eikä niiden rakennettavuuden kehittämiselle jää aikaa. Vajavaiset tai myöhästyneet suunnitelmat hidastavat töitä ja nostavat kustannuksia.

> Havaintoja rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeista?
>
> Miten talotekniikan suunnittelunohjausta ja koordinointia voitaisiin parantaa hankkeissa?

Rakennettavuuden teemaa käsiteltiin seuraavalla tehtävällä;

Case 2: Asennusjärjestysten vaihtuminen pienellä alueella aiheuttaa työn pirstaloitumista, paljon yhteensovitusta työmaalla ja riskin valmiiden asennusten siirtämiselle tai purkamiselle. Töiden yhteensovitus ja suunnittelu on osa työmaatoimintaa, mutta jos asennuksen tuottavuutta halutaan kasvattaa, tulisi kehittyvien suunnittelujärjestelmien myötä yhä useampi ongelma olla ratkaistavissa suunnittelupöydällä.



Kuva 14. *Työpajan toisen case-tehtävän havainnekuva*

Tehtävässä haettiin vastauksia seuraaviin ohjaaviin kysymyksiin:

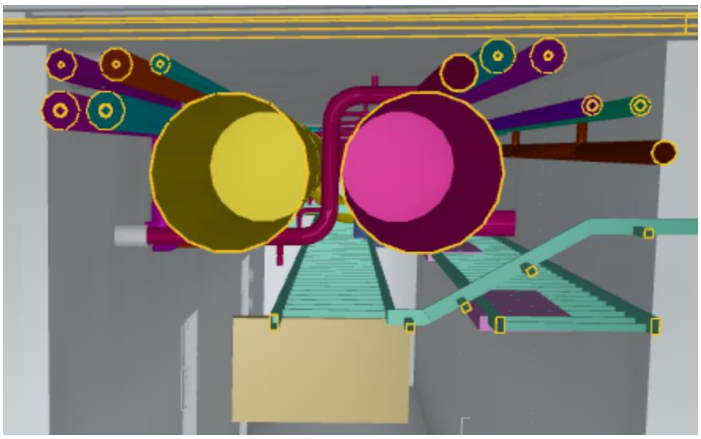
Hankalasti toteutettavien alueiden juurisyitä? Mikä aiheuttaa monimutkaisia ratkaisuja?

Ymmärretäänkö talotekniikan tilantarve ja rakennettavuuden huomiointi?

Kehitysehdotukset talotekniikan taloteknisten järjestelmien rakennettavuuden parantamiseksi:

Tietomallintamisen tulevaisuuden kehityssuuntia ideoitiin seuraavalla tehtävällä:

Case 3: Tietomallitoleranssi aiheuttaa monimutkaisia, tiiviitä tai jopa mahdottomia ratkaisuja etenkin pieniin tiloihin. Asentajat (etenkin LVV ja IV) hyödyntävät tietomallia yhä enemmän ja enemmän jokapäiväisenä työn sujuvoittavana. Vaatii tarkan ja ajantasaisen tietomallin sekä tehokkaat laitteet suurien tietomallitiedostojen pyörittämiseen.



Kuva 15. *Työpajan kolmannen case-tehtävän havainnekuva*

Tehtävässä haettiin vastauksia seuraaviin ohjaaviin kysymyksiin:

Tietomallin tarkkuustason ja toleranssien vaikutus suunnittelussa ja toteutuksessa?

Tietomallin tietosisällön ja tarkkuustason kasvattamisen haasteet ja mahdollisuudet? Sopimukset ja kustannukset?

Miten tietomallintamista voidaan kehittää tulevaisuudessa?

Työpajassa pyrittiin avoimen kommunikoinnin ja interaktiivisen työskentelyn turvin tuomaan esille näkemyksiään taloteknisen toteutuksen haasteista sekä visioimaan kehitysaskeleita tulevaisuuteen.

6. TUTKIMUSTULOKSET

Seuraavassa käydään läpi haastattelututkimuksen, tutkijan osallistuvan havainnoinnin ja työpajatyöskentelyn tulokset. Viimeisessä kappaleessa tutkimustulokset on koottu taulukkoon kokonaisuuden hahmottamiseksi.

6.1 Asiantuntijahaastatteluiden tulokset

Haastattelujen tulokset jaettiin kirjallisuudesta löydettyjen teemojen mukaisesti kolmeen; toteutusmuotoon ja suunnittelun ohjaukseen, rakennettavuuteen ja tietomalliin liittyviin havaintoihin. Haastattelujen tulokset on taulukoitu teemoittain kokonaisuuden hahmottamiseksi.

6.1.1 Toteutusmuodon ja suunnittelun ohjauksen tulokset

Toteutusmuotoon sekä suunnittelunohjaukseen liittyvät haasteet kulminoituivat *kommunikaatioon ja tiedon siirtymiseen.* Aliurakoitsijat (H5, H6, H7, H8) kokivat rinnakkaisen toteutusmuodon vaativana ja suunnitelmien kehittymisen haastavana työn suunnittelun kannalta. Hankkeita lähdetään toteuttamaan tänä päivänä entistä keskeneräisemmillä suunnitelmilla. (H1) Suunnittelun myöhäinen valmistuminen aiheuttaa paineita ja epätietoisuutta sekä suunnitteluun, että toteutukseen. Suunnitelmien valmiusasteen etenemisestä toivottiin parempaa kommunikaatiota. Yleisenä käytäntönä on, että suunnitelmia toimitetaan työmaalle viikoittain. On sovittuna viikoittainen suunnitelmien päivityspäivä, jonka jälkeen jokainen aliurakoitsija käy muutokset läpi. Muutoksia voi tulla mihin suunnitelmiin ja sijainteihin vain. Pahimmassa tapauksessa suunnitelmien päivittyessä ei ole tiedossa toteutetaanko kyseiset suunnitelmat vai ei. Tällöin aliurakoitsijan on varmistettava kyseinen asia pääurakoitsijalta. (H8) Tämä aiheuttaa merkittävää epävarmuutta aliurakoitsijoiden toteutukseen ja etenkin sen suunnitteluun.

Urakkatarjousta tehdessä aliurakoitsijalle on esitelty kokonaisuus ja toteutustapa, mutta hankkeen edetessä sen toteutus on hankaloitunut. Aliurakoitsijoilla urakkaneuvotteluissa ja laskennassa saattaa olla eri henkilö kuin työmaan johdossa. Jolloin toteutusmuodon ja suunnitelmien valmistuminen vaatii myös aliurakoitsijan sisäistä kommunikaatiota. (H3) Määräluetteloin toteutettavassa urakkatarjouksessa tarjoavat aliurakoitsijoilla on samat lähtökohdat hinnoittelun suhteen ja riski massojen muutoksesta jää tilaajalle. (H1) Sopimuskannustin urakoitsijan mahdollisuudesta vaikuttaa suunnitelmiin säästävästi voisi olla ennaltaehkäisevä tapa välttää urakoitsijan toteuttaminen heikoilla suunnitelmilla ja korjaamalla myöhemmin tilaajan kustannuksella. (H3)

Rakentamisen ja suunnittelun aikataulut on yhteensovitettava. TATE-suunnittelua vaikea toteuttaa lohkoittain, sillä järjestelmät joudutaan suunnittelemaan kokonaisuuksina. Viemärisuunnitelmien toimittamiseksi täytyy olla käytännössä vähintään kaikki alueen LVI-suunnitelmat valmiina. (H4) Eri suunnitelmien eriaikainen valmistumisajankohta haastaa yhteensovitusta.

> *”Esimerkiksi sähköputkitusvaiheessa tarvitaan rakennusautomaatiokuvia ja valvontakuvia, joita usein hankkeissa ei saada toimitettua toivotusti.” -Projektipäällikkö, Sähköaliurakoitsija. (H8)*

Rakennusvaiheen aikataulu esiteltävä suunnittelijoille tarkkaan ja näistä luotava yksi toimiva kokonaisuus. Suunnitelmat toimitettava alueellisina sekä järjestelmien kokonaisuuksina. Suunnittelun aikataulutuksessa on myös huomioitava aliurakoitsijoiden tekemät toteutussuunnitelmat kuten paloilmoitinjärjestelmä ja viranomaisverkko. (H3) Suunnitelmat valmistuivat kohteessa viimeistään kaksi viikkoa ennen kyseisten töiden aloitusta. Aikataulu on tiukka ja LVV-urakoitsijan edustaja totesi, että vähäinenkin suunnitelmien myöhästyminen aiheuttaa työn hidastumista työmaalla ja merkittävää kustannusten nousua. Liian tiukka suunnitelmien valmistumisajankohta vie mahdollisuuden urakoitsijoiden vaikuttamiselta suunnitelmien rakennettavuuteen, ennakoivaan materiaalien hankintaan sekä mahdollisuuden aikataulun kirimiseen. (H5)

Kiinteän perusosan ja muuntuvan tilaosan eli vaiheen 1 ja vaiheen 2 suunnitelmien jako oli osalla aliurakoitsijoista epäselvä. (H4, H5, H7) Urakoitsijat olivat tarjonneet urakan kiinteän osan kiinteällä hinnalla ja muuntuvan tilaosan massalistojen/määräluetteloiden mukaisesti. Jako tilaosien välillä ei ollut johdonmukaisesti esitetty suunnitelmissa ja muuntuvien osien suunnitelmatäydennyksien aikataulusta ei ollut ymmärrystä. Suunnittelijan mukaan osien suunnittelu ja rajan merkkaaminen on erityisen haastavaa kohteissa, joissa ei ole toistuvuutta, eikä selkeitä tekniikkakäytäviä. Sekä suunnittelija, että tietomallikoordinaattori esittivät tilaosien merkkaamista suunnitelmiin ja sitomista tietomallin attribuuttitietoihin, joka mahdollistaa suunnittelun statuksen esittämisen tietomallissa. (H2, H4)

Asennettujen järjestelmien purkamista tai asennustilan loppumista aiheuttaa IV-äänimittauksista aiheutuvat äänenvaimentimien lisäykset tai jäähdytystarpeen lisääntymisestä aiheutuva jäähdytysrunkokokojen kasvaminen sekä puhallinkonvektorien lisääminen. IV-äänien mittaus simulointi pystytään suorittamaan vasta kun koko järjestelmä on suunniteltu. Limittyvissä hankkeissa tämä saattaa aiheuttaa muutoksia jo asennettuihin järjestelmiin. Suunnitteluvaiheessa äänitasojen hallinta sekä jäähdytystarpeen tarkka määrittely ehkäisee myöhemmin työmaalla tehtäviä kalliita muutoksia. (H3)

TATE PJU-malli on lisännyt suunnittelun ja urakoinnin välistä vuorovaikutusta ja tuonut positiivisia elementtejä hankkeiden johtamiseen. Urakoitsijat ovat kehittyneet hankkeiden johtamisessa ja tuotannon sekä suunnittelun tarpeiden kommunikointi on kehittynyt. Urakoitsija tuo suunnittelulle toteutuksen järjestelmät sekä tuotteet joiden pohjalta suunnitellaan. Tämä säästää suunnittelulta aikaa ja vähentää uudelleensuunnittelua. Lähtötiedoilla ja tilaohjelmalla suuri merkitys. ARK ja RAK muutokset työllistävät TATE-suunnittelua. Haasteena urakoitsijan johtamissa hankkeissa on kustannusten tarkka optimointi, jolloin saatetaan karsia parhaasta mahdollisesta suunnittelun laatutasosta. (H4)

6.1.2 Suunnitelmien rakennettavuus

Rakennettavuuteen perustuvat havainnot muodostuivat sekä positiivisista, että ongelmallisista huomioista. Suunnittelu oli kohteessa hyvällä tasolla ja suurin osa asennuksista pystyttiin toteuttamaan niin kuin ne oli suunniteltu. (H5, H6, H7, H8) Rakennettavuuden suunnittelu ja suunnitelmien laatu on IV-urakoitsijan mukaan kehittynyt vuosien myötä, mutta toistuvaksi suunnitelmien yhteensovitusongelmaksi IV-urakoitsija kertoi eroavaisuudet alakattosuunnitelmissa ja ilmanvaihdon pohjakuvissa. (H7) Suunnitelmien rakennettavuutta parantaa kaikki suunnitelmien tuotantoa helpottavat tiedot, järjestykset tai visualisoinnit. Esimerkiksi lohkojaot, kiinteän ja muuntuvan osan raja tai sadevesilinjojen numerointi. (H6, H7, H8) Suunnitelmasisällön esittely vähentää väärintulkinnan riskiä ja tiedon hukkumista (H3). Tuotannon tehokkuutta parantaa merkittävästi nokkamiehen aktiivinen rooli suunnitelmien tarkastajana ja tehtävien jakajana. (H8) Suunnitelmien rakennettavuutta haastaa myös urakoitsijoiden tekemät virheet ja suunniteltua suurempi tilankäyttö. (H4)

Asennusjärjestyksen suunnittelussa on parannettavaa. Suunnitelmat aiheuttavat usein työn pirstaloitumista, jolloin mestalta toiselle siirtymisessä kuluu aikaa ja urakkaluonteisuus katoaa. Urakoitsija voisi yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa määritellä asennus/suunnittelujärjestyksen. (H8) Kuitenkin urakoitsijoiden roolin kasvattaminen toteutussuunnittelun tekijänä koetaan hankalana, sillä myöskään aliurakoitsijoilla/toteuttavilla organisaatioilla ei ole käsitystä hankkeen kokonaisuudesta. (H3) Urakoitsijoiden mukaan ottaminen ennakoivaan suunnittelun rakennettavuustarkasteluun ja asennusjärjestysten kommentointiin olisi kuitenkin suotavaa. (H4)

Systemaattisista rakennettavuustarkasteluista tunnistetuille alueille ei suunnittelijalla ollut kokemusta. (H4) Aliurakoitsijoilla oli haastatteluihin pohjautuen halukkuutta osallistua ennakoivaan työnsuunnitteluun hyvin ohjatuissa rakennettavuustarkasteluissa. (H6, H7)

Suunnitelmia kehitetään rakennettavuudeltaan muokkaamalla niistä toteutuksen mukaisia *punakynäversioita (eng. as built).* Aliurakoitsijan vastuulla on toimittaa nämä dokumentit takaisin pääurakoitsijalle, mutta toiminta sisältää paljon epävarmuutta.

> *”Etenkin pääkeskustilojen, IV-konehuoneiden ja lämmönjakohuoneiden osalta toimintatapa on usein sitä, että urakoitsija toimittaa toteutuksestaan punakynäversion suunnittelijalle asennustyön jälkeen, jonka jälkeen suunnittelija täydentää sen tietomalliin. Ja epävarmaa on myös se, kuinka hyvin punakynädata liikkuu takaisin suunnitelmiin.” -TATE-PJU, Sähkötöiden projektipäällikkö (H3)*

Punakynätoteutuksessa mennään usein asennustekniikka edellä eikä elinkaari edellä. Teknisissä tiloissa urakoitsijoilla on kyky parantaa toteutettavuutta ja tarkemmalla suunnitelmien rakennettavuustarkastelulla voitaisiin vähentää punakynäsuunnittelun määrää. (H3)

6.1.3 Tietomallin hyödyntäminen

Tietomalli koettiin aliurakoitsijoiden haastatteluissa hyväksi toimintamalliksi, mutta tietomallin hyödyntämisessä töiden yhteensovituksessa oli vielä varaa kehittyä. Jokaisen aliurakoitsijan vähintään osa asentajista hyödynsi tietomallia työmaalla asennustyön sujuvoittamiseksi ja totesivat sen olevan toimiva työkalu, kunhan malli on ajantasainen. (H5, H6, H7, H8) Tietomalli oli lähes poikkeuksetta käytössä nuorilla asentajilla, ja osa kokeneemmista asentajista ei ollut ottanut sitä käyttöön erinäisistä syistä. (H5) Haasteeksi todettiin mobiililaitepohjaisen tietomallitarkasteluohjelman suorituskyky. Etenkin sähkötöissä asennustyön urakkaluonteisuus aiheuttaa sen, että työtä tehdään nopeimmalla ja toimivimmalla tavalla eli 2D kuvilla. (H8) Tietomallia hyödynnettiin suunnittelun ohjaamiseen, hankintojen avustamiseen ja suunnitelmien yhteensovitukseen tietomallikoordinaattorijohtoisesti. Tietomalliprosessin toimintaa johdettiin yleisiin tietomallivaatimuksiin (YTV2012) pohjautuvan ohjeen mukaisesti. Tietomalliohjeessa oli selvitettynä mallinnettavat objektit ja ne, mitkä esitetään suunnitelmissa. (H2)

Tietomallitoleranssit tuottavat tiiviitä suunnitteluratkaisuja. Mallinnusohjelmat sallivat 25 millimetrin leikkauksen, joten automaattitarkistusohjelmat eivät havaitse automaattisesti kaikkia törmäyksiä tai rakennettavuudeltaan mahdottomia alueita, mikä on huomioitava suunnittelussa. Toisena haasteena tietomallikoordinaattori nosti eristeiden leikkaamisen sallimisen. Eristeet voivat leikata, mutta työmaalla niiden asentamiseen tarvitaan tilaa, jota tietomalli ei huomioi. (H2) Suunnittelijan näkemyksen mukaan YTV (2012) mukaisten toleranssien kasvattaminen lisäisi suunnittelun työtä törmäysmäärien kasvaessa entisestään eikä työmaan asennustoleranssit mahdollista niin tarkkaa asentamista, joten lisätyö ei tuottaisi varsinaista lisäarvoa. (H4)

Tietomallipohjaisessa yhteensovituksessa vaarana on vaikeasti toteutettavien suunnitteluratkaisujen syntyminen, ellei kokonaisuutta, asennusjärjestyksiä ja rakennettavuutta huomioida. (H2) Suunnitelmien yhteensovitus tehtävä ensin suunnittelijoiden kesken (H2, H4). Törmäystarkastelu ja koordinointi aloitettava kaikkien järjestelmien suunnitelmien kehityttyä lohkoittain, jolloin voidaan ottaa mukaan tehokkaasti myös urakoitsijoiden edustajia. Koordinoinnissa huomionarvoista on, että risteilyjen lukumäärällinen tarkastelu ei kuvasta absoluuttisesti tilannetta. Koordinaattorin rooli ei ole ratkaista kaikkia yhteensovituksen ongelmia, vaan se on osa suunnittelijoiden tehtävänkuvaa. Yhteensovitusta haastaa saman alueen eri aikaan valmistuvat talotekniset suunnitelmat, jolloin eri suunnitelmien välistä yhteensovitusta ennakoidusti on hankala toteuttaa. Myöskään resursoitu aika ei riitä kaikkien risteilyjen tarkistamiseen, vaativien alueiden löytäminen hankalaa hankkeen ison koon takia. (H4)

> *”Avainasemassa on se, että pystyttäisiin tunnistamaan ne kriittiset risteilyt sieltä tietomallista.” -LVI-suunnittelun projektipäällikkö (H4)*

Mallintamattomien objektien asettamat haasteet tunnistettiin myös haastatteluissa. Case-kohteen työmaalla mallintamattomat väliseinien kantavat teräsrakenteet aiheuttivat haasteita talotekniikan läpivienneille. Näiden teräspilareiden lisääminen arkkitehtimalliin lisäisi suunnitelmien rakennettavuutta. (H3) Kannatusten mallintaminen on toinen haaste ja sen tuoma hyöty on hankala saavuttaa. TATE-urakoitsijan mukaan mallintaminen on taloudellisesti kannattamatonta, ellei kyseessä ole yhteiskannatus. (H2) Sen kuitenkin todetaan parantavan suunnitelmien rakennettavuutta ja niiden mukaiset asennusvarat tulisi tunnistaa. (H3) Tietomallikoordinaattori näkee kannatusten mallintamisen kannattavana. Sillä mallista haasteiden havaitseminen on huomattavasti halvempaa, kuin työmaalla tapahtuva yhteensovitus. Tietomallikoordinaattorin mukaan kannatusten visuaalinen mallintaminen ei rasittaisi ifc. mallin suorituskykyä merkittävästi. (H2) Urakoitsijan ja suunnittelijan aktiivinen yhteistyö parantaa asian tiedostamista. BuildingSMART Finlandin uuden käyttötapauskuvauksen mukainen tyyppitilojen kannatusten mallintaminen ei täysin ratkaise ongelmaa hankalimpien alueiden sijaitessa muualla kuin tyyppitiloissa. Kannatusten mallintamattomuuden lisäksi myös palokatkojen suunnittelemattomuus haastaa suunnitelmien toteutettavuutta. Myös palokatkojen asentamiselle ei usein jää tilaa ja ne joudutaan toteuttamaan laatua vaarantaen. Palokatkojen suunnittelusta on myös laadittu BuildingSMART Finlandin käyttötapauskuvaus. (H2)

Tarkkuustason kasvattaminen on haastavaa työmaan näkökulmasta. Tietomallin tarkkuuden lisääminen puhumattakaan 4D ja 5D datasta, tuo sen käytön raskaaksi ja hidastavan hyödyntämistä työmaalla. Talotekniikan aikataulutuksen ollessa nykyiselläänkin haaste 4D aikataulusuunnittelun osalta tulisi aloittaa karkealta järjestelmätasolta. (H2)

6.1.4 Haastattelujen yhteenveto

Asiantuntijahaastatteluiden havainnot on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. *Haastattelujen havainnot teemoittain*

	Havainto
Toteutusmuoto ja suunnittelunohjaus	Aliurakoitsijat kokivat rinnakkaisen toteutusmuodon vaativana ja suunnitelmien kehittymisen haastavana työn suunnittelun kannalta.
	Sopimuskannustin suunnitelmien kehitysehdotuksista voisi olla ennaltaehkäisevä tapa välttää urakoitsijan toteuttaminen heikoilla suunnitelmilla ja korjaamalla virheet myöhemmin tilaajan kustannuksella.
	TATE-suunnittelua on vaikea toteuttaa lohkoittain. Järjestelmät joudutaan suunnittelemaan kokonaisuuksina.
	Suunnittelun aikataulutuksessa on huomioitava aliurakoitsijoiden tekemät toteutussuunnitelmat
	Kiinteän perusosan ja muuntuvan tilaosan rajan merkkaaminen on haastavaa kohteissa, joissa ei ole toistuvuutta, eikä selkeitä tekniikkakäytäviä. Tilaosien merkkaaminen suunnitelmiin ja sitominen tietomallin attribuuttitietoihin mahdollistaisi suunnittelun statuksen esittämisen tietomallissa.
	Suunnitteluvaiheessa äänitasojen hallinta sekä jäähdytystarpeen tarkka määrittely ehkäisee myöhemmin työmaalla tehtäviä kalliita muutoksia
	TATE-PJU toteutuksessa suunnittelun hukkaa vähennetään urakoitsijan toimittamilla järjestelmätiedoilla.
Rakennettavuus	Suunnitelmaeroavaisuudet eri alojen suunnitelmien välillä haastavat toteutusta ja töiden yhteensovitusta.
	Rakennettavuutta parantaisi kaikki suunnitelmien tuotantoa helpottavat tiedot, järjestykset tai visualisoinnit.
	Suunnitelmasisällön esittely vähentää väärintulkinnan riskiä ja tiedon hukkumista
	Urakoitsijoiden roolin kasvattaminen toteutussuunnittelun tekijänä koetaan hankalana.
	Systemaattisesta haastavien asennusalueiden tunnistamisesta ja niiden rakennettavuustarkasteluista ei suunnittelijalla ollut kokemusta
Tietomallintaminen	Asentajat hyödyntävät tietomallia päivittäisessä työskentelyssään
	Tietomallitarkasteluohjelmien hitaus ja ominaisuuksien puute ei mahdollista sähkötöiden urakkaluonteisuutta
	Tietomallitoleranssit tuottavat tiiviitä tai jopa mahdottomia suunnitteluratkaisuita ja tämä tulisi huomioida suunnittelussa.
	Yhteensovituksen vaarana on tuottaa vaikeasti toteutettavia suunnitteluratkaisuja
	Suunnitelmien yhteensovitus suositellaan tehtäväksi ensin suunnittelijoiden kesken
	Yhteensovitusta haastaa saman alueen eri aikaan valmistuvat talotekniset suunnitelmat
	Aika ei riitä kaikkien risteilyjen tarkistamiseen. Vaativien alueiden löytäminen hankalaa hankkeen ison koon takia.
	Mallintamattomia objekteja: Väliseinien teräsrakenteet, kannatukset ja palokatkot. Vaikeuttavat toteutusta työmaalla mutta niiden lisääminen suunnitelmiin haaste.

6.2 Kenttätutkimuksen havainnot

Tähän kappaleeseen on koottu case-kohteessa tehtyjä havaintoja toteutussuunnittelun haasteista. Case-kohteessa oli käynnissä monia taloteknisiä työvaiheita, mutta millään osalohkolla ei ollut päästy viimeisiin taloteknisiin asennuksiin, joissa usein konkretisoituu tilan puute sekä asennusten risteäminen. Lisäksi kohteessa oli pääosin korkea kerroskorkeus ja hyvin tilaa taloteknisille asennuksille, joten asennusten törmäilyt oli mahdollista välttää yksinkertaisilla ratkaisuilla. Näistä syistä konkreettiset asennusten törmäilyt ja yhteensovitusongelmat eivät laajasti realisoitunut hankkeen tutkimusvaiheen aikana. Muutamia konkreettisia suunnittelun yhteensovituksen ja rakennettavuustarkastelun puutteista johtuneita töiden keskeyttämiseen johtaneita ongelmatilanteita työmaalta löytyi. Tarkemmin niitä on kuvattu myöhemmin tässä kappaleessa.

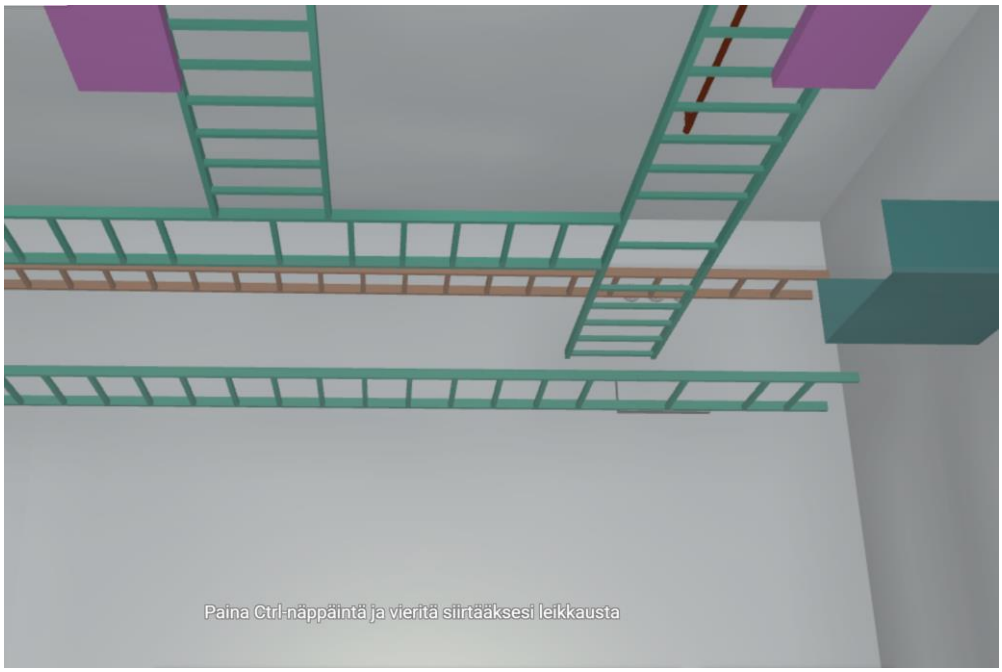
Työmaalla oli käytössä paljon hyviä käytäntöjä suunnittelun ja toteutuksen yhteensovittamiseksi. Talotekninen projektinjohtourakoitsija hyödynsi hankkeessa useita SUKE-mallin mukaisia oppeja projektinjohtototeutuksen onnistumiseksi. Rakennus oli jaettu vaiheen 1 (kiinteä perusosa) suunnitelmiin ja vaiheen 2 (muuntuva tilaosa) suunnitelmiin. Kenttätutkimuksen ajankohtana työmaalla oli kiinteän osan suunnitelmat valmiit ja muuntuvien osien suunnittelu käynnissä. Kuten haastatteluista selvisi, kuitenkaan osien rajapinta ja muuntuvien osien täydentyvät suunnitelmat eivät olleet koko organisaatiolle selvät. Tämä loi epävarmuutta suunnittelun ja toteutuksen yhteensovitukseen. Rakentaminen sekä toteutussuunnittelu limittyy hankkeessa ja sitä johdetaan suunnitelmatarveaikataululla, joka on sidottu sisävalmistusaikatauluun. Yhteensovitusta ja suunnitelmien valmistumista seurataan suunnitelmien seurantataulukolla. Aliurakoitsijoiden sopimuksiin on kirjattu kohta, jossa toteutussuunnitelmat luvataan toimitettavaksi urakoitsijan käyttöön kaksi viikkoa ennen kyseisen työvaiheen aloitusta. Tätä ennen suunnittelijoiden tulee hyväksyttää suunnitelmat pääurakoitsijalla sekä TATE-PJU:lla. Havainto kenttätutkimuksessa oli sama kuin haastatteluissa; aikataulu toteutussuunnitelmien toimittamiselle oli tiukka, jolloin se loi kiirettä suunnittelun ja toteutuksen rajapintaan.

Toteutusvaiheessa pidettiin viikoittain suunnittelua koordinoivia palavereja, joissa seurattiin suunnitelmien valmistusta, selvitettiin haasteita sekä tuotiin esille lähtötietotarpeita. Palaverit pidettiin talotekniikan suunnittelualoittain ja ne eivät sisältäneet ylimääräistä ajankäyttöä. Lisäksi palavereissa olivat paikalla vain olennaiset henkilöt. Palaveri antoi sekä TATE PJU:lle mahdollisuuden vaikuttaa suunnittelijoiden toimintaan, mutta myös vastavuoroisesti suunnittelijoille viikoittaisen ajankohdan hankkeeseen vaikuttamiselle.

Suunnittelupalaverin lisäksi joka toinen viikko taloteknisiä suunnitelmia yhteensovitettiin tietomallipalaverissa yhdessä KVR-urakoitsijan tietomallikoordinaattorin sekä talotekniston suunnittelijoiden kanssa. Kaksituntisessa palaverissa käytiin läpi suunnitelmien yhteentörmäyksiä alueittain. Osallistujat selvittivät yhdessä vaadittavat korjaukset ja määräsivät vastuutahon tehtävän toteuttamiseksi. Palaveri oli kokonaisuudessaan tehokas ja siihen osallistui oikeat henkilöt. Tietomallipalaveria kehuttiin useassa keskustelussa hyväksi käytännöksi yhteensovituksen toteuttamiseksi sekä törmäilyjen ehkäisemiseksi. Palavereissa TATE PJU pystyi tuomaan esille ehdotuksensa rakennettavuuden parantamiseksi ja näin onnistuu ennaltaehkäisemään asennettavuusongelmien syntymistä varsinaisen työn alkaessa. Kuitenkaan laajamittaisempaa hankalasti asennettavien alueiden tunnistamista ja alueiden rakennettavuuden kehittämistä ei toteutettu. Seuraavaksi esitellään konkreettisia esimerkkejä työmaalla realisoituneista haasteista.

6.2.1 Esimerkki 1

Konkreettisena esimerkkinä suunnitelmien toteutettavuudesta taloteknisen projektinjohtourakoitsijan sähkötöiden projektipäällikkö nosti esille työmaakierroksen yhteydessä korkeajännitekaapeloinnin sekä niiden vaatimien kaapelihyllyjen suunnittelun pääkeskustilassa. Pääkeskusten tyypit sekä niistä lähtevien kaapeleiden määrät, koot ja taivutussäteet olivat olleet suunnittelun tiedossa, mutta kaapeleiden vaatimat kaapelihyllyt olivat alimitoitettu kyseiselle kaapelimäärälle. Kaapeleille ei riittänyt kuvan 16 mukaisen tietomallin sekä suunnitelmien mukainen yksi hylly, vaan hyllyjä jouduttiin lisäämään. Tilanteen huomasi työn suorittava talotekninen urakoitsija töiden alkaessa, josta aiheutui työn keskeytys. Olemassa olevien hyllyjen siirtäminen, uusien hyllyjen teettäminen, reikien tekeminen ja työn suunnittelu vei projektipäällikön mukaan noin viiden päivän työajan.



Kuva 16. *Kuvakaappaus tietomallin pääkeskustilan kaapelihyllyistä*

Lisäksi pääkeskustilassa korkeajännitekaapeleiden taivutussäteitä ei ollut huomioitu ja hyllyt tekivät 90 asteen kulmia, joihin kaapeleiden kääntäminen käy mahdottomaksi. Työmaan tilanne on esitetty kuvassa 17. Projektipäällikön mukaan tämä oli useassa aikaisemmassakin hankkeessa toistunut ongelma ja korjattavissa huolellisemmalla suunnittelulla.

Kuva 17. *Kuva kohteen toteutetuista pääkeskustilan kaapelihyllyistä*

Kyseisessä pääkeskustilassa oli kuitenkin tilaa asennuksille eikä muutokset hyllymääriin tai taivutuskulmiin käyneet esteeksi muille asennuksille. Pääkeskustilan huomioiden pohjalta projektinjohtourakoitsija osasi ottaa huomioon korkeajännitekaapeleiden tilantarpeen tulevissa asennuksissa ja ennaltaehkäistä tulevia asennettavuusongelmia. Haastavampi kaapeleiden taivutukseen liittyvä tilanne havaittiin edellä mainitun tilanteen myötä viereisellä käytävällä. Kuvan 18 mukaisesti seinästä läpi tulevat kaapelit olisi määrä taivuttaa kuvan turkoosin kaapelihyllyn mukaiseen kulmaan alittaen IV-kanavat. Taivutuskulma on jyrkempi kuin kaapelien sallittu kulma alaspäin taivutettaessa sekä vaakatason suorakulmaisessa mutkassa, joten suunnitelman mukainen toteutus on haastava tai jopa mahdoton.

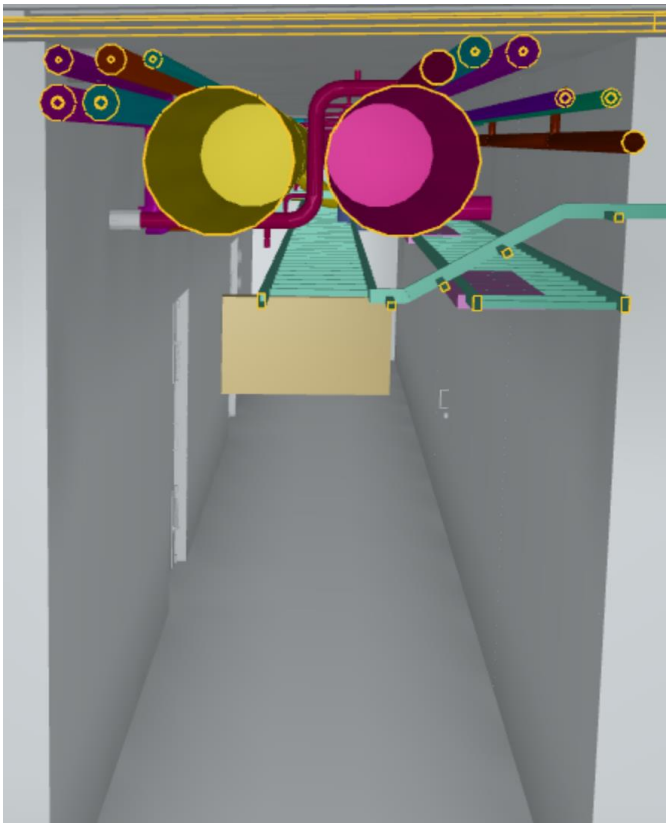
Kuva 18. *Tekniikkakäytävä kuvakaappauksena tietomallista sekä työmaalta*

Kyseisen alueen asennukset olivat aloittamatta, joten havaittuun haasteeseen pystyttiin reagoimaan ennakoidusti.

6.2.2 Esimerkki 2

Samassa käytävätilassa oli myös LVV-urakoitsijalla suunnitteluun liittyvä haaste, jossa lämpö- ja jäähdytysputket olivat suunniteltu aivan kiinni holvirakenteeseen. Urakoitsija totesi, että putkien kannatuksille ei ole tilaa sekä putkiosien yhteenliittävän hitsauksen tekemiseen ei ollut varattu työskentelytilaa. Kannatusten vaatimien varojen puuttuminen todettiin olevan toistuva ongelma kohteesta riippumatta ja niiden vaatimat varat tulisi tunnistaa paremmin suunnittelussa. Sama haaste tunnistettiin haastatteluissa, kirjallisuudessa ja myöhemmin työpajatyöskentelyssä. Putket on esitetty kuvassa 19.

Kuten haastatteluissa todettiin kannatuksia ei ollut kohteessa mallinnettu, sillä sekä urakoitsijan, että suunnittelijan mukaan niiden mallintamisen todettiin olevan taloudellisesti kannattamatonta, ellei kyseessä ole yhteiskannake usealle järjestelmälle.

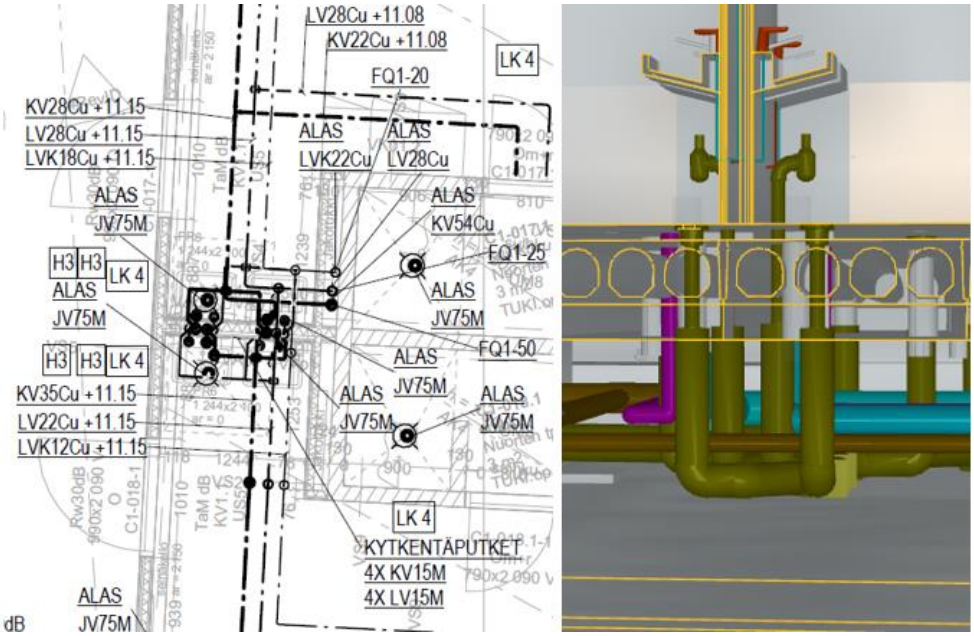


Kuva 19. *Tietomallileikkaus tekniikkakäytävän talotekniikasta*

Kyseinen asennustilan puute oli nostettu esille tietomallin yhteensovituspalaverissa taloteknisen projektinjohdon toimesta ja haasteeseen pystyttiin etsimään ratkaisuja ennakoidusti ennen töiden aloittamista. Talotekniikan kannatusten liian pieni tilantarve on työmaan henkilöstön mukaan yleinen syy toteutuksen poikkeamalle suunnitelmista.

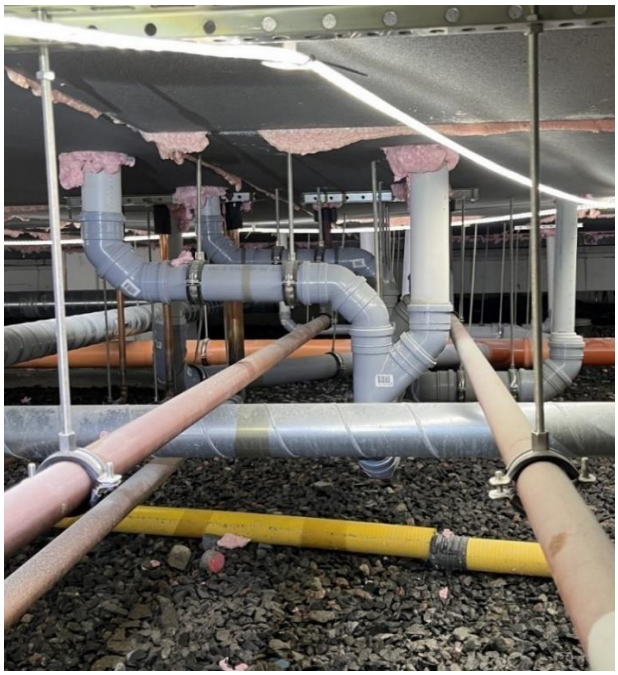
6.2.3 Esimerkki 3

Suunnitelmamuutosten myöhästyminen aiheuttaa työmaalla kustannuksia ja aikataulu-viiveitä. Tutkimuskohteessa suunnitelmiin lisättiin maaliskuussa 2024 pesuallasviemäröinti. Lähtötiedot kyseiselle vesipisteelle oli annettu toukokuussa 2023 hieman muita vesipistelähtötietoja myöhemmin. Kyseinen vesipiste jäi suunnittelematta eikä sitä toteutettu heinäkuun 2023 alapohjan viemäriasennuksissa. Alapohjan viemäriasennukset olivat maaliskuussa 2024 jo loppuneet, joten työ joudutaan toteuttamaan muutostyönä. Muutos aiheutti jo asennettujen viemäreiden muutoksia alapohjassa, timanttiporauksen alapohjan laattaan sekä lisääntyneitä käyttöveden putkiasennuksia. Ohessa tilannetta havainnollistava kuva 20 suunnitelmasta sekä tietomallista.



Kuva 20. *LVI-suunnitelma sekä tietomallikaappaus alapohjan viemäröinneistä*

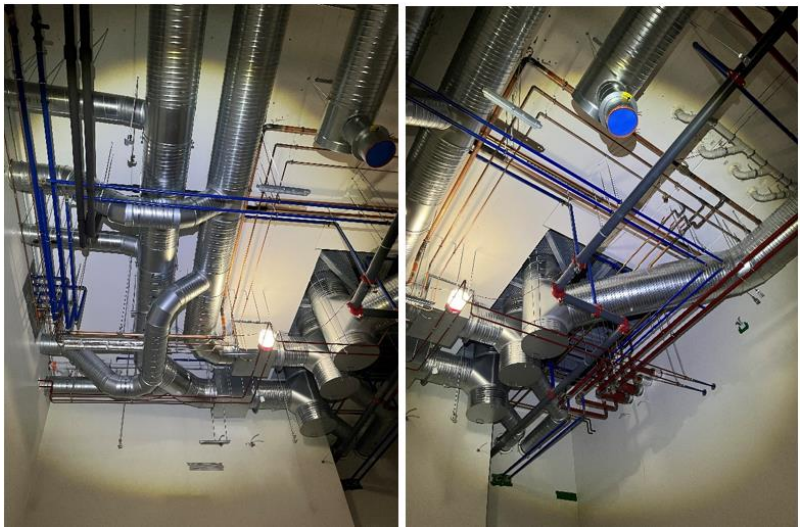
Lisä- ja muutostöitä ei case-kohteessa ollut jouduttu kuitenkaan suuria määriä toteuttamaan, joten lähtötietojen määrittely sekä suunnittelun ohjaus voidaan todeta olleen onnistunutta. Realisoituneet suunnitelmamuutokset syntyivät toteutuksen aikaisesta suunnitelmien yhteensovituksesta sekä suunnitelmien täydentymisestä. Suunnittelun ohjaus oli myös case-hankkeessa olennaisessa osassa suunnittelun onnistumisen kannalta ja työmaata hidastavien muutostöiden kontrolloijana.



Kuva 21. *Kuva viemäröintien toteutuksesta ryömintätilassa*

6.2.4 Esimerkki 4

Kohteesta löytyi muutama hankala yhteensovitusta vaativa lokaatio, jossa eri talotekniset järjestelmät risteilivät pienellä alueella. Asennusjärjestysten sopiminen ja työn yhteensovitus oli näillä alueilla vaativaa. Tilannetta havainnollistava kuva 22. Työmaalla tämän tyyppiset tilanteet aiheuttavat monien eri tahojen välistä yhteensovitusta ja töiden hidastumista tai jopa keskeytymistä, heikentäen työmaan työn tuottavuutta. Kyseisessä tilanteessa töiden toteutukseen liittyvät osapuolet järjestivät useita katselmuksia töiden yhteensovittamiseksi. Lopulta IV-työt jouduttiin toteuttamaan LVV-asennusten väleihin, joka hidasti merkittävästi asennustyötä.



Kuva 22. *Hankalan asennusjärjestyksen alue*

Osa rakennustyömaan yhteensovituksesta on välttämätöntä, mutta mikäli tulevaisuudessa työn tuottavuutta halutaan parantaa mahdollisimman moni asennusjärjestyksiin ja yhteensovituksiin liittyvä haaste olisi mahdollista ratkaista suunnittelupöydällä suunnittelutyökalujen kehittyessä.

6.2.5 Yhteenveto kenttätutkimuksesta

Case-kohteessa suoritettu osallistuva havainnointi ts. kenttätutkimus mahdollisti haastatteluja syvemmän ymmärryksen konkretiasta työmaaolosuhteissa. Kenttätutkimuksen havainnot on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6. *Kenttätutkimuksen havainnot koottuna teemoittain*

	Havainto
Toteutusmuoto ja suunnitte-	TATE-PJU:n hyödyntäminen mahdollisti TATE-suunnittelun ja toteutuksen jatkuvan yhteensovituksen ja koordinoinnin
	Huomiot suunnitelmien johtamiseen suunnitelmatarveaikataululla - Oltava kytkettynä toteutusaikatauluun sekä suunnitteluaikatauluun

	- Laadittu yhteistyönä - Suunnitelmien myöhästyminen aiheuttaa hukkaa
	Lähtötietojen määrittelyllä on iso rooli toteutuksen onnistumisen kannalta ja suunnitelmamuutokset kuluttavat paljon työmaan resursseja
	Kiinteän perusosan ja muuntuvan tilaosan jako haastoi johdettavuutta ja aiheutti epäselvyyttä organisaatiossa
Rakennettavuus	Suunnitelmien rakennettavuus oli kohteessa hyvällä tasolla.
	Järjestelmien materiaaliominaisuuksien huomioimattomuus aiheutti jopa mahdottomia asennuksia
	Suunnitelmista puuttuvat objektit vaikeuttavat toteutusta ja vievät asennustilaa
	Asennusjärjestysten vaihtelu vaatii yhteensovitusta työmaalla, hidastaa työtä ja aiheuttaa urakkatyön pirstaloitumista.
Tietomallintaminen	Tietomallipohjainen suunnitelmien yhteensovitus ratkaisee työmaan haasteita etukäteen ja mahdollistaa rakennettavuuden huomioinnin ennakoivasti ennen toteutusta.

6.3 Työpajatyöskentelyn tulokset

Tässä kappaleessa esitellään asiantuntijatyöpajan tulokset. Työpajan tulokset jaettiin niin ikään kolmeen teemaan tutkimuksen aikaisempiin tuloksiin pohjautuen. Työpajan tulokset on koottu taulukoihin 7, 8 ja 9. Toteutusmuodon ja suunnittelunohjauksen tehtävässä keskusteltiin erityisesti suunnittelun aikataulutuksesta ja kuinka eri osapuolia hyödynnetään suunnittelun laadun parantamiseksi. Etenkin suunnitelma- ja käyttäjämuutoksia, hankintojen sekä aikataulujen hallinta todettiin haastavaksi. Kehitysehdotuksena suunnitteluvaiheeseen tulee luoda osapuolien yhteistyönä tarpeeksi yksityiskohtainen suunnittelun kuvaus, josta selviää aikataulut, muutosten johtaminen, kiinteän ja muuntuvan osan reunaehdot. Tämän tavoitteena on vähentää osapuolien väärinymmärryksiä ja välttää hallitsematonta ryntäystä. Hallittu suunnitteluvaihe parantaa suunnitelmien laatua sekä suunnitelmia toimitetaan työmaalle oikea-aikaisesti. PJU-hankkeissa onnistumisen edellytyksenä on pääurakoitsijan sekä suunnittelijan aktiivisuus.

Taulukko 7. *Työpajan tulokset hankkeen ohjaukseen*

	Haaste	**Kehitysehdotus**
Toteutusmuoto ja suunnittelunohjaus	Heikot lähtötiedot	Urakoitsijan mukaan ottaminen tarpeeksi ajoissa (myös TATE)
	Suunnittelun aikataulutus	Toteutettavuuden tarkastelu on huomioitu aikataulussa Työpajatoteutettu suunnittelukartta
	Kiinteä perusosa ja muuntuva tilaosa	Rajan määrittely talotekniikalle vaikeaa. Ymmärrettävä hyödyt ja toimintaperiaate sekä tuotava mukaan päivittäiseen johtamiseen

	Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden tilannetietoisuus	Suunnittelijan sekä urakoitsijan aktivisuus ja yhteistyö etenkin PJU-toteutuksessa
	Suunnittelun ohjaus	Vaatii kaikkia suunnittelualoja koordinoivaa johtamista ja osaamisen laajamittaista hyödyntämistä
	Käyttäjämuutosten vieminen suunnitelmiin	Muutosten johtaminen ja muuntuvien tilojen suunnitelmapakettien lukitseminen. Lukitsemisen jälkeen voidaan aloittaa tuotantoa palveleva suunnittelu. Selkeä koordinoinnin vastuujako

Suunnitelmien rakennettavuuden kehittämiseksi työpajassa ratkaisuehdotuksia lähdettiin hakemaan hankkeen alkuvaiheista asti. Kuten talotekniikkasuunnittelijan haastattelussa myös työpajassa todettiin ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheen päätöksillä olevan suuri merkitys suunnittelun onnistumiseksi. Alkuvaiheen arkkitehdin ja TATE-suunnittelijan aktiivinen yhteistyö sekä talotekniikan roolin ymmärtäminen nähtiin merkityksellisinä. Epäselvien asennusjärjestysten ratkaisemiseksi suunnittelijoiden rakennettavuuden huomiointi sekä TATE-urakoitsijan aikainen integraatio todettiin olennaiseksi. Myös tietoisuuden lisääminen uusista selvityksistä sekä palokatko-, että kannatussuunnittelun kehittämiseksi koettiin tärkeänä.

Taulukko 8. *Työpajan tulokset suunnitelmien rakennettavuuden parantamiseksi*

	Haasteet	**Kehitysehdotukset**
Rakennettavuus	Tilavarausten sekä asennustilan hahmottaminen suunnitteluvaiheessa. Urakoitsijat tarvitsevat ja vievät usein suunniteltua enemmän tilaa.	Tilantarpeen visualisointi ehdotussuunnitteluvaiheessa ja leikkauskuvien tekeminen TATE-koulutuksen lisääminen ARK ja RAK osapuolille Suunnitelmakatselmukset ja tietomallikatselmukset urakoitsijoille
	Raitisilmanoton suunnittelu ja konehuoneiden asemointi	TATE-suunnittelun merkityksen hahmottaminen aikaisin TATE-suunnittelun integroinnilla Monialaisemman ymmärryksen lisääminen esimerkiksi koulutuksen muutoksilla
	Myöhäisen akustiikkasuunnittelun vaikutus talotekniikan tilantarpeeseen	Akustiikkasuunnittelun integrointi hankkeeseen tarpeeksi ajoissa ja yhteistyöpohjainen suunnittelu
	Kannatusten suunnittelun vastuutus	Tietoisuuden lisääminen Building Smart Finlandin uudesta ohjeistuksesta. Kannatusten vastuuttaminen tehtäväluetteloissa Mahdollisten yhteiskannakkeiden sisällyttäminen pääurakkaan pätevästi suunniteltuna
	Palokatkojen reunaehtojen huomioiminen suunnittelussa	Tietoisuuden lisääminen Building Smart Finlandin uudesta ohjeistuksesta

	Epäselvät asennusjärjestykset	Rakennettavuus agendalle suunnittelukokouksissa alusta alkaen. Urakoitsijan mukaan ottaminen mahdollisimman aikaisin ja sen hyödyntäminen

Tietomallintamisen työpajatehtävässä keskusteltiin etenkin mallintamattomien objektien vaikutuksista. Suunnittelun resurssit eivät nykypäivän hankkeissa riitä tarkkaan mallintamiseen ja rakennettavuuden tarkastelu mallintamattomien objektien osalta jää tekemättä. Haastavat alueet tulisi tunnistaa tietomallista ja tarkastella enemmän mallin rakennettavuutta urakoitsijan kanssa.

Taulukko 9. *Työpajan tulokset tietomallintamisen kehittämiseksi*

	Haasteet	**Kehitysehdotukset**
Tietomallintaminen	Halkaisijaltaan alle 20 mm putkien huomioimattomuus	Etenkin ahtaissa tilantarve huomioitava. Rakennettavuustarkastelu toteuttavan organisaation kanssa tietomallipohjaisesti
	Tilaajan vaatimukset määräävät mallintamisen tarkkuutta ja yhteisymmärrys tietomallin käytöstä työmaalla puuttuu	Selkeä tietomalliohjeistus hankkeelle ja sen selventäminen organisaatiolle Tietomallikatseluohjelmien kehittäminen
	Laitevalmistajien osia puuttuu mallista	Tuotetiedon tuominen suunnitteluun
	Toleranssien määrittely talotekniikalle puuttuu	Kansallinen määrittely talotekniikan toleransseille vastaamaan suunnittelun tarpeita.
	Suunnittelun resurssit eivät riitä yksityiskohtaiseen mallintamiseen	Mallintamisen ja yhteensovituksen prosessin sujuvoittamisella resursseja voidaan käyttää tehokkaammin

7. TULOSTEN POHDINTA JA YHTEENVETO

7.1 Keskeiset tulokset ja niiden suhde kirjallisuuteen

Talotekniikan koordinointi on haastava rakennushankkeen osa-alue ja sen voidaan todeta sisältävän epävarmuustekijöitä. Myös tämän tutkimuksen myötä voidaan todeta sama kuin kirjallisuudessa, että talotekniikan onnistunut koordinointi on hankkeen menestystekijä. (Korman, Fischer ja Tatum, 2003; Monsberger ja Fruhwirth, 2018; Valkonen ja Seppänen, 2023) Sekä asennustyön että suunnittelun on todettu sisältävän merkittävän määrän hukkaa ja olennaiseksi juurisyyksi on määritelty suunnittelu ja sen koordinointi (Seppänen *et al.*, 2021; Lappalainen *et al.*, 2022). Tämän tutkimuksen tulokset olivat hyvin samansuuntaisia kuin kirjallisuuskatsauksen havainnot. Talotekniikan rooli rakennushankkeessa on merkittävä ja suunnitelmien kehittämisessä vastaamaan toteuttavien organisaatioiden tarpeita on vielä kehitettävää. Merkittävänä haasteena kaikkien tutkimusmenetelmien tuloksena oli hankkeen tilannetiedon jakaminen kaikille hankeorganisaation tasoille. Etenkin talotekniset aliurakoitsijat eivät olleet sisäistäneet hankkeen etenemisen periaatteita ja hyödynnettäviä toimintamalleja. Erityisesti suunnittelun yhteensovittaminen tuotannon tarpeisiin todettiin haastavaksi. Toteutussuunnittelun ja tuotannon rajapinta sisälsi merkittävää tilannetiedon vajavaisuutta sekä suunnittelun, että urakoinnin osalta. Suunnitelmien toimittaminen työmaalle nousi esille epävarmuutta sisältävänä prosessina, kuten myös Valkonen ja Seppänen (2023) olivat tutkimuksessaan todenneet.

Case-kohteessa hyödynnetty TATE-PJU toteutusmuoto mahdollisti taloteknisen toteutustietoisuuden integroinnin hankkeeseen ajoissa ja suunnittelun jatkuvan ohjaamisen sekä yhteensovittamisen. TATE-PJU:n hyödyntäminen vaatii täsmällistä lähtötietojen ja tavoitteiden määrittelyä, jotta urakka voidaan hankkia kevennetysti. Se vaatii suunnittelun johtamiskykyä ja aktiivisuutta sekä suunnittelijalta, että urakoitsijalta läpi koko hankkeen. Havainnot toteutusmuodosta olivat samansuuntaisia kuin Bárányn (2023) toteuttamassa suunnitteluprosessin hukkaa minimoivassa tutkimuksessa.

Suunnitelmien laatu ja rakennettavuus todettiin case-kohteessa hyväksi, mutta haastattelujen ja työpajan myötä suunnitelmien rakennettavuutta voidaan etenkin tietomallipohjaisella tarkastelulla parantaa. Systemaattista urakoitsijavetoista rakennettavuustarkastelua ei tehdä, eli kuten kirjallisuudessa todettiin (Wang *et al.*, 2015) toimia talotekniikan suunnittelun ja toteutuksen tietomalliprosessien integroimiseksi edelleen tarvitaan. Tä-

män tutkimuksen tuloksena huomattiin että, suunnittelijat usein tunnistavat hankalia alueita ja miettivät asennusjärjestyksiä, mutta niistä kommunikointi työmaan suuntaan ontuu. Hankalasti toteutettavien alueiden tunnistamiseen ja niiden rakennettavuustarkasteluihin yhdessä urakoitsijan kanssa tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Haastattelujen myötä todettiin että, mitä järjestelmällisemmin haasteita pystytään ratkaisemaan ennakoidusti, sitä kustannustehokkaampaa rakentaminen on, kuten myös Riley et al. (2005) oli tutkimuksessaan esittänyt.

Keskeisenä havaintona case-kohteesta oli että, tietomallin työmaakäytössä oli havaittavissa selkeä kehitystrendi. Tietomallia hyödynnetään työmaalla vuosi vuodelta enemmän. Kirjallisuudesta löytyi vain vähän aikaisempaa tutkimusta tietomallin työmaakäytöstä tai sen haasteista. Wu et al. (2022) esittivät tutkimuksessaan tietomallin hyödyntämisessä olevan potentiaalia LVI-asennusten työn tuottavuuden parantamisessa. Sen mahdollistaessa putkistojärjestelmän asennustilan hahmottamisen, törmäyksien ja etäisyyksien hahmottamisen muihin järjestelmiin sekä vaihtoehtoisten toteutustapojen arvioinnin. Sama oli havaittu työmaaolosuhteissa ja tietomallia hyödynnettiin jatkuvasti enemmän töiden yhteensovitukseen sekä asennustyön suunnitteluun. Tässä tutkimuksessa havaittiin myös että, tietomallin työmaakäytössä oli edelleen valtavasti vapauttamatonta potentiaalia.

Tutkimuksen tavoitteet pyrittiin täyttämään etsimällä vastauksia kolmeen tutkimuskysymykseen. Seuraavaksi analysoidaan tutkimuksen tulokset tutkimuskysymyksittäin.

1. *Mitkä ovat taloteknisten suunnitelmien keskeisimmät haasteet ja miten suunnitelmien asennuskelpoisuutta voidaan parantaa.*

Taloteknisten suunnitelmien keskeisimmät haasteet toteuttavan organisaation näkökulmasta olivat.

- Materiaaliominaisuuksien asennustekninen huomioimattomuus
- Suunnitelmissa mallintamattomien objektien puute hankaloittaa töiden yhteensovitusta
- Suunnitelmaeroavaisuudet eri alojen suunnitelmien välillä luovat ristiriitaista informaatiota urakoitsijoille
- Epäselvät asennusjärjestykset ja urakkatyön pirstaloituminen hidastavat asennustyötä
- Suunnitelmista puuttuu asennustyötä edistäviä tietoja, järjestyksiä ja aluejakoja, joilla olisi työtehokkuutta parantavia vaikutuksia.

Suunnitelmien asennuskelpoisuutta parannetaan huomioimalla talotekniikan toteutus hankkeen alusta lähtien. Kuten myös kirjallisuudessa todettiin (Hassanain *et al.*, 2018), hankkeen lähtötiedoilla, arkkitehtisuunnitelmien tilavarauksilla ja konehuoneiden asemoinnilla on merkittävä rooli suunnitelmien toteutuskelpoisuuden konkretisoitumisessa

myöhemmin toteutusvaiheessa. TATE-suunnittelijan mahdollisimman aikainen integraatio hankesuunnitteluvaiheessa ja talotekniikan rakennettavuuden tarkastelusta huolehtiminen läpi koko rakennushankkeen suunnitteluvaiheen, ovat keinoja toteutussuunnittelun laadun parantamiseksi. Tämä tosin vaatii TATE-suunnittelijalta asennusteknistä ymmärrystä ja asennuksien tilantarpeen hahmottamista. Talotekniikan urakointiosaamisen integroiminen ja osaamisen hyödyntäminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta esimerkiksi TATE-PJU toteutuksena, parantaa suunnitelmien toteutettavuutta, kuten myös Bárány (2023) diplomityössään esitti.

Tutkimuksessa suositellaan tietomallipohjaisen suunnittelun tarkkuustason systemaattista kehittämistä ja rakennettavuustarkastelun lisäämistä Wang et al (2015) esittämän prosessin (kuva 11) mukaisesti. Siinä urakoitsija saadaan otettua mukaan tutustumaan ja kehittämään suunnitelmia. Samalla urakoitsijan tilannetieto sekä mahdollisuudet aikaisempaan töiden suunnitteluun paranee.

2. *Missä muodossa ja miten ohjeistettuna suunnitelmat tulisi toimittaa työmaalle, jotta suunnitelmien tulkinta olisi ymmärrettävämpää?*

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta suunnitelmien toimittamisen työmaalle olevan epäjohdonmukaista.

Suunnitelmien toimittaminen työmaalle tulisi hallita noudattaen selkeää yksityiskohtaista projektisuunnitelmaa, joka voidaan esitellä hankkeen aliurakoitsijoille kyseisen työmaan toimintamallina. Suunnitelmien toimittaminen voidaan sitoa yhdeksi kokonaisvaltaiseksi prosessiksi toteutussuunnitelmien rakennettavuuden kehittämisen kanssa. Urakoitsijavetoisissa suunnitelmakatselmuksissa suunnittelijalla on mahdollisuus esitellä ja ohjeistaa suunnitelmien sisältö. Toteutusvalmiuden toteamisen jälkeen on aikataulutettava aika mahdollisille suunnitelmatarkennuksille, hankinnoille ja urakoitsijan omalle työn suunnittelulle sekä asentajien ohjeistamiselle. Tämä vaatii, että suunnittelu etenee riittävästi ennen toteutusta, eikä luonteeltaan hitaampi suunnitteluvaihe ota aikataulullisesti kiinni toteutusvaiheen aikataulua hankkeen edetessä. Tällöin aika yhteensovitukselle ja työnsuunnittelulle katoaa, ja tuloksena syntyy negatiivisia vaikutuksia kustannuksiin sekä aikatauluun. Rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen rajapinta vaatii aktiivisuutta, sekä suunnittelijalta, että urakoitsijalta, joten etenkin suunnittelijan resurssit on varmistettava ja aktiivisuutta vaadittava sopimuksissa.

Etenkin LVI-töissä edetään jatkuvasti kohti tietomallipohjaisempaa asennustyötä. Tutkimuksen tuloksena todettu tietomallin hyödyntämisen lisääntyminen työmaakäytössä nosti esiin haasteen tietomallin työmaakäyttöä käsittelevän selkeän ohjeistuksen puuttumisen. 2D kuvien ja tietomallin välisiä ristiriitoja tulisi hankkeissa vähentää ja 2D-kuvien

sisältämä lisätieto esitellä. Tietomalli mahdollistaa jo nyt asennuskorkojen, osamittojen ja toteutuksen kannalta arvokkaiden leikkauskuvien hahmottamisen työmaaolosuhteissa. Tietomallin hyödyntäminen asennuksissa parantaa työn tuottavuutta ja tulevaisuudessa sen ominaisuuksia on mahdollista kehittää.

Kolmanneksi tutkimuskysymykseksi työlle oli määritelty:

> *3. Mihin tarkkuuteen ja toleransseihin TATE-suunnitelmilla tulisi työmaan näkökulmasta päästä, sekä miten arkkitehti- ja rakennesuunnitelmissa tulee ottaa huomioon ja esittää TATE-asennusten vaatimat toleranssit sekä asennusjärjestykset.*

Työmaan näkökulmasta olennaiseksi nähtiin asennuksien tilantarpeiden, järjestelmien materiaaliominaisuuksien, suunnitelmista puuttuvien komponenttien ja asennusta helpottavien tietojen lisäävän tietomallin tarkkuutta.

Tietomallintamisen törmäystarkastelujen toleranssitason (25 mm) muuttaminen nähtiin haastavana. Olennaisempaa olisi hahmottaa tietomallin törmäystarkasteluiden ja yhteensovituksen prosessin kehittäminen kohti rakennettavampaa tietomallia. Huomion arvoisena nähtiin, että toleranssien aiheuttama tietomallinmallin luonne tuottaa tiiviitä suunnitteluratkaisuja. Näiden tiiviiden alueiden tunnistaminen ja systemaattinen rakennettavuustarkastelu kehittäisi tietomallin tarkkuustasoa työmaan näkökulmasta parempaan suuntaan. Myös kansallinen määrittely talotekniikan tietomallitoleransseista nähtiin epäselvänä. Toleranssit tulisi määritellä talotekniikalle erikseen ja kehittää vastaamaan talotekniikan tarpeita.

Arkkitehtisuunnitelmissa talotekniikan tilantarpeet tulisi huomioida mahdollisimman aikaisin. Sillä muutokset arkkitehtisuunnitelmiin ovat suuri hukan aiheuttaja TATE-suunnittelulle. Rakennusalan osapuolet tarvitsevat laaja-alaisempaa ymmärrystä taloteknisistä järjestelmistä ja niiden toteutuksesta. Tämä tavoite voidaan täyttää koulutusta lisäämällä.

Kannatusten, palokatkojen ja muiden mallintamattomien objektien vaikutukset tulee ymmärtää suunnittelussa ja niiden mallintamista erityisesti yhteensovitukseltaan haastavaksi tunnistetuille alueille tulisi harkita. Sekä kannatusten, että palokatkojen suunnittelun kehittämisestä on laadittu BuildingSMART Finlandin käyttötapauskuvaukset, joiden tietoisuuden lisääminen rakennusalalla loisi toteutussuunnittelun laatutasoa kehittävän vaikutuksen.

7.2 Tutkimuksen luotettavuus, yleistettävyys ja rajoitukset

Tutkimustulosten kriittinen luotettavuuden arviointi on olennainen osa kvalitatiivista tutkimusta. Tutkimusmetodologia sisältää rajoitteita sekä virhemahdollisuuksia, joita analysoidaan validiteetin ja reliabiliteetin avulla. Validiteetti ilmaisee miten hyvin menetelmä mittaa juuri sitä ilmiötä, mitä oli tarkoitus mitata. (Tilastokeskus, 2024b). Reliabiliteetti ilmaisee, miten luotettava ja toistettava tutkimusmenetelmä on mittaamaan haluttua ilmiötä (Tilastokeskus, 2024a). Tämän tutkimuksen *kirjallisuusselvityksessä* hyödynnettiin pääsääntöisesti tieteellisiä artikkeleja, alan kirjallisuutta ja ajankohtaisia tutkimuksia Suomesta ja maailmalta. Laaja-alainen kirjallisuuden tarkastelu lisäsi tulosten reliabiliteettia ja eri lähteiden luotettavuutta pyrittiin tarkastelemaan yksilöllisesti. Tulosten luotettavuutta ulkomaalaisten lähteiden osalta heikentää eri maiden erilaiset alan toimintaperiaatteet sekä mahdollisuus käännösvirheille lähteitä suomeksi käännettäessä.

Monimenetelmäinen *empiirinen tutkimus* lisää tutkimuksen luotettavuutta, luoden toisiaan täydentäviä näkökulmia tutkittavasta aiheesta. Empiirisen tutkimuksen validiteettia sekä reliabiliteettia heikentää tulosten keskittymisen yhteen case-hankkeeseen ja saman hankkeen eri osapuolien haastatteluihin. Case-kohde oli uudistoimitilarakentamiskohde, joka toteutettiin KVR-toteutusmuotoisena. Jokaisen rakennushankkeen ollessa erilainen ja toteutusmuotoja ollessa erilaisia, vaikuttaa se tutkimustulosten yleistettävyyteen ja toistettavuuteen. Kohteen havaintoihin vaikutti myös verrattain lyhyt havainnointiaika (1kk), jolloin havainnointi rajoittui vain työmaan sen hetkiseen tilanteeseen. Myöhemmin hankkeessa konkretisoituneet havainnot jäivät tutkimuksen ulkopuolelle. Case-kohteen havaintoja pyrittiin validoimaan alan asiantuntijoista koostuneessa työpajassa, jonka avulla voitiin arvioida myös havaintojen yleistettävyyttä sekä validiteettia.

Teemahaastattelun luotettavuutta haastaa sen epäjärjestelmällinen eteneminen ja haastateltavan mahdollisuus kysymyksen väärinymmärrykselle. Myös keskustelun ajautuminen aiheen ulkopuolelle ja epäolennaisen tiedon jakaminen on yleistä teemahaastatteluissa. Haastattelujen validiteettia ja reliabiliteettia heikentää suunnittelun näkökulman rajoittuminen yhteen haastatteluun. Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella ilmiötä toteuttavien organisaatioiden näkökulmasta, joten urakoitsijoiden painottaminen oli perusteltua. Haastattelujen validiteettia parannettiin muistiinpanoilla sekä haastattelujen litteroinnilla, joka mahdollisti haastatteluihin palaamisen ja tulosten vertailun.

Osallistuvan havainnointi mahdollisti haastatteluja konkreettisemman ymmärryksen keräämisen, mutta sillä on myös rajoitteensa. Havainnointi on hyvin subjektiivinen tutkimusmenetelmä, ja pohjautuu tutkijan omaan ymmärrykseen sekä kykyyn tunnistaa mer-

kitykselliset havainnot. Osallistuva havainnointi on myös mahdoton toistettava ja havaintojen yleistettävyys muihin kohteisiin on hankala tunnistaa. Havainnoinnin laatua heikentää myös tutkijan rooli kohteessa, jolloin osapuolien käytös saattaa muuttua eivätkä tutkittavat aiheet konkretisoidu totuudenmukaisesti. (Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara, 2009) Osallistavan havainnoinnin luotettavuutta pyrittiin lisäämään toteutuksen kuvauksella.

Tutkimustulosten analysoinnin reliabiliteettiin vaikuttaa tutkijan kokemattomuus ja omien aikaisempien mielikuvien vaikutus tulkintaan. Tutkija toteutti ja analysoi tulokset pääasiassa omatoimisesti, mutta kokeneet ohjaajat vierailivat tutkimuskohteen työmaalla ja ovat kommentoineet tekstiä. Tällä on luotettavuutta lisäävä vaikutus tutkimustuloksiin. Tutkimuksen tuloksena annetut tulokset ovat yleistettävissä moniin rakennushankkeisiin, mutta erityisesti tutkimuksen suositukset ovat yleistettävissä rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeisiin. Tulokset olivat samansuuntaisia aiemman kirjallisuuden kanssa, joten niitä voidaan pitää luotettavina.

Tutkimus tuottaa uutta tieteellistä *kontribuutiota* Suomen rakennusalalle. Taloteknisen suunnittelun prosessia ja sen koordinointia on tutkittu paljon sekä Suomessa, että maailmalla. Myös talotekniikan asennusprosessin haasteita on kirjattu monessa lähteessä. Taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen rajapinnan tutkiminen toteuttavan organisaation näkökulmasta on keskeistä uutta tieteellistä kontribuutiota. Myös tietomallin hyödyntämisasteesta työmaalla ja työmaakäytön tulevaisuuden mahdollisuuksista aikaisempaa tutkimusta löytyi vähän, joten voidaan todeta tämän tutkimuksen olevan aikaisempaa taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen tutkimusta täydentävää.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella toteuttavan organisaation näkökulmasta toteutussuunnitelmien asennuskelpoisuutta, suunnitelmien toimittamista työmaalle sekä suunnitelmatoleranssien vaikutusta. Tutkimuksessa löydettyihin haasteisiin pyrittiin esittämään kehitysehdotuksia haastattelututkimuksen, havainnoinnin ja asiantuntijatyöpajan pohjalta. Monimenetelmäinen tutkimus mahdollisti haasteiden ja ratkaisuehdotusten välisten korrelaatioiden löytämisen. Talotekniikka 2030 -tutkimushankeen työkokouksiin sekä työpajoihin osallistuneet alan asiantuntijat lisäsivät tutkimuksen tieteellistä arvoa. Työn tulokset osoittivat että, aihe oli tarpeellinen tutkimukselle. Talotekniikan suunnittelun ja toteutuksen rajapinta sisältää edelleen merkittävää epävarmuutta ja tilannetietoisuuden puutetta. Myös tietomallin hyödyntämisessä asennustyön tuottavuuden parantajana suurin potentiaali on vielä vapauttamatta. Todettakoon, että aihealue vaatii edelleen tutkimusta ja toiminnan jatkuvaa kehittämistä. Etenkin tietomallin ja datan virtaukseen pohjautuvaa toimintaa tulisi rakennusalalla kehittää ennakkoluulottomasti eteenpäin. Tutkimuksen aiheen keskeisimpiä havaintoja on koottu aikajanamuotoon, joka on esitetty liitteessä 5.

Tämän tutkimuksen pohjalta toimenpide-ehdotuksina taloteknisen toteutussuunnittelun kehittämiseksi suositellaan seuraavia keinoja:

- TATE-suunnittelijan mahdollisimman aikainen integraatio hankesuunnitteluvaiheessa ja talotekniikan rakennettavuuden tarkastelusta huolehtiminen läpi koko rakennushankkeen suunnitteluvaiheen.
- Talotekniikan urakointiosaamisen integroiminen ja osaamisen hyödyntäminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta
- Tietomallipohjaisen suunnittelun tarkkuustason systemaattista kehittämistä ja rakennettavuustarkastelun lisäämistä Wang *et al.* (2015) esittämän prosessin (kuva 11) mukaisesti
- Laaja-alaisemman taloteknisen ymmärryksen lisäämistä hankkeen eri osapuolille taloteknisen koulutuksen lisäämisen avulla
- Tietoisuuden lisääminen BuildingSMART Finlandin laatimien kannatusten sekä palokatkojen suunnittelun käyttötapauskuvauksista.
- Tietomallintamisen ennakkoluuloton kehittäminen kohti tehokkaampaa datan hallintaa

Toteutusta haastoi laajassa aihealueessa pysyminen ja tutkimuksen tulokset osoittivat toteutussuunnittelun kehittämisen olevan kaikkiin rakennushankkeen vaiheisiin kohdistuvaa toimintaa. Tutkimuksessa pyrittiin keskittymään aivan suunnittelun ja toteutuksen

rajapinnan toimintaan, joten aivan kaikkia rakennushankkeen alkuvaiheen haasteita ei taltioitu. Tutkimus ja sen tulokset vastasivat sille annettuihin tavoitteisiin ja voitaneen todeta tutkimuksen olleen onnistunut.

Jatkotutkimusaiheita pohdittiin tutkimuksen edetessä sekä tutkimushankkeen päätöstilaisuudessa Talotekniikka 2030 -yritysedustajien kanssa. Ensimmäiseksi jatkotutkimusaiheeksi ehdotetaan tietomallin työmaakäytön haasteiden sekä tulevaisuuden mahdollisuuksien tutkimista. Ja sitä, miten sovelluksia voidaan kehittää parempaan työmaakäyttöön. Toiseksi jatkotutkimusaiheeksi esitetään, miten suunnitelmien laatua voidaan parantaa korjausrakentamiskohteissa, ja kuinka kannattavaa vanhojen järjestelmien hyödyntäminen on. Tämän tutkimuksen päätöstilaisuudessa todettiin toteutussuunnittelun olevan erityisen haastavaa korjausrakentamiskohteissa. Kolmanneksi jatkotutkimusaiheeksi ehdotetaan talotekniikan paloturvallisuuden suunnittelun tutkimista. Miten palokatkot voitaisiin suunnitella, ja miten eri valmistajien palokatkojen tuotetietoisuus integroidaan rakennushankkeeseen.

LÄHTEET

Ahola, R. ja Liljeström, K. (2018) ‘Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa’. Joutsenmerkki. Available at: https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2022/08/Hiilijalanjaljen-pienentaminen-kustannustehokkaasti_2018.pdf.

Ahonen, A. *et al.* (2022) ‘Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa’.

Aslam, M., Gao, Z. ja Smith, G. (2020) ‘Exploring factors for implementing lean construction for rapid initial successes in construction’, *Journal of Cleaner Production*, 277, p. 123295. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123295.

Ballard, G. (2000) ‘Positive vs Negative Iteration in Design’. IGLC. Available at: https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-97520968-5e0d-483e-ad29-c684af864ef0.pdf.

Bárány, S. (2023) *LVI-suunnittelun hukkaa minimoiva suunnitteluprosessi*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Available at: https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/b5b76b37-6e1e-4db8-aed9-d5b688039235/content.

Barrie, D.S. ja Paulson, B.C. (1992) *Professional Construction Management*. Third Edition. McGraw-Hill, Inc,.

Chau, K.W., Anson, M. ja De Saram, D.D. (2005) *4D dynamic construction management and visualization software: 2. Site trial*. Amsterdam: Elsevier B.V.

Chelson, D.E. (2010) ‘The effects of building information modeling on construction site productivity’. UMI. Available at: https://www-proquest-com.libproxy.tuni.fi/openview/37880b6a1b9c8ea4841227cdadc1faa7/1?cbl=18750&parentSessionId=F9nM1CsPE2NFameOeC7RkeFs%2B13DYYO1RBsskDecgro%3D&pq-origsite=gscholar&accountid=14242 (Accessed: 13 June 2024).

Chen, Y.-J., Feng, C.-W. ja Lee, K.-W. (2012) ‘The Application of BIM Model in M/E/P Construction Coordination’. Trans Tech Publications. Available at: https://www.proquest.com/docview/1442649194?accountid=14242&pq-origsite=primo&parentSessionId=X5dhs22D8igKAV8DY40u5uU9KLy3PzJ%2BATpYTG64x5o%3D&sourcetype=Scholarly%20Journals.

Crowther, J. ja Ajayi, S.O. (2021) ‘Impacts of 4D BIM on construction project performance’, *International Journal of Construction Management*, 21(7), pp. 724–737. Available at: https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1580832.

Eastman, C. *et al.* (2011) *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2nd ed.).* John Wiley and Sons.

Franssila, J. ja Junnonen, J.-M. (2022) ‘TALOTEKNIIKKA 2030 - Talotekniikan rooli rakentamisen arvoketjussa’. Tampereen yliopisto. Available at: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-10/TH1.%20Talotekniikan%20rooli%20rakentamisen%20arvoketjussa_0.pdf.

Gallaher, M.P. *et al.* (2004) *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry*. NIST GCR 04-867. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. Available at: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/gcr/2004/NIST.GCR.04-867.pdf.

Hassanain, M.A. *et al.* (2018) ‘Factors affecting building services’ coordination during the design development and review stages’, *Built Environment Project and Asset Management*, 8(1), pp. 64–77. Available at: https://doi.org/10.1108/BEPAM-06-2017-0040.

Hirsjärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P. (2009) *Tutki ja kirjoita*. 15. painos. Kirjayhtymä Oy.

Järvinen, T. (2018) 'TATE-mallinnus rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa'. SKOL ry. Available at: https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/2020-02/skol_tate_mallit-rinnakkainen_suunnittelu2018.pdf.

Järvinen, T. ja Heikkilä, R. (2024) 'RYTV Käyttötapauskuvaus - Tekniikkakannatusten suunnittelu'. buildingSMART Finland ja Rakennustietomalli. Available at: https://drive.buildingsmart.fi/s/3qHxenSDMwfA3dp (Accessed: 4 June 2024).

Kankainen, J. ja Junnonen, J.-M. (2001) *Rakennuttaminen*. Rakennustieto.

Khanzode, A. (2010) 'An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP'. Stanford University. Available at: https://stacks.stanford.edu/file/druid:db106qv2525/TR187.pdf.

Kiiras, J. *et al.* (2007) *SUKE-Malli talotekniikan suunnittelun ja hankintojen ohjaukseen projektinjohtohankkeessa*. Rakennustieto.

Kiiras, J. *et al.* (2019) 'Projektinjohtorakentaminen ja muita palvelumuotoja'. Rakennustieto Oy.

Knotten, V. *et al.* (2015) 'Design management in the building process - A review of current literature'. Elsevier. Available at: https://tinyurl.com/46jh6y9r.

Knuuttila, O. (2012) *4D-mallinnuksen mahdollisuudet voimakattilamitoituksessa*. Tampereen teknillinen yliopisto. Available at: https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/21078.

Koniel, O. (2019) 'Suunnittelun ohjausmenetelmän kehittäminen toteutussuunnittelun hukan eliminoimiseksi'. Aalto-yliopisto. Available at: https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/eb879913-40e1-4421-9cc7-de639932de6e/content.

Korman, T.M., Fischer, M.A. ja Tatum, C.B. (2003) 'Knowledge and Reasoning for MEP Coordination', in. American Society of Civil Engineers. Available at: https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282003%29129%3A6%28627%29 (Accessed: 23 February 2024).

Korman, T.M. ja Huey-King, L. (2014) 'Industry Input for Construction Engineering and Management Courses: Development of a Building Systems Coordination Exercise for Construction Engineering and Management Students', *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 19(1), pp. 68–72. Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000189.

Korman, T.M. ja Tatum, C.B. (2006) 'Using Construction, Operations, and Maintenance Knowledge to Better Coordinate Mechanical, Electrical, and Plumbing Systems in Buildings', in. ASCE. Available at: https://doi.org/10.1061/40798(190)15.

Koskela, L., Huovila, P. ja Leinonen, J. (2001) 'Design Management in Building Construction: From Theory to Practice'. VTT. Available at: https://www.researchgate.net/publication/28578920_Design_management_in_building_construction_From_theory_to_practice.

Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan? (2023). Available at: https://www.youtube.com/watch?v=c8jcKN9dl0w (Accessed: 14 December 2023).

Lahdenperä, P. and Koppinen, T. (2003) *Kannustavat maksuperusteet rakennushankkeessa Osa 1. Kansainvälinen kartoitus*. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Available at: https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2003/T2191.pdf.

Laine, T. (2001) 'Miten kokemusta voi tutkia? Fenomenologinen näkökulma.', in *kkunoita tutkimusmetodeihin II.* 5. Jyväskylä: PS-kustannus, pp. 26–44.

Lappalainen, E. *et al.* (2022) ‘Improving Design Quality by Contractor Involvement: An Empirical Study on Effects’, in. MDPI. Available at: https://doi.org/10.3390/buildings12081188.

Leite, F. (2020) *BIM for design coordination : a virtual design and construction guide for designers, general contractors, and MEP subcontractors*. John Wiley & Sons, Inc.

Lukka, K. (2014) ‘Konstruktiivinen tutkimusote’, *METODIX*, 19 May. Available at: https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/ (Accessed: 17 May 2024).

LVI 03-10630 (2018) ‘Talotekniikan laadunvarmistus ja vastaanottomenettely - Prosessikuvaus’. Rakennustieto Oy.

LVI 03-10631 (2018) ‘Talotekniikan laadunvarmistus ja vastaanottomenettely - Tehtävät ja dokumentointi’. Rakennustieto Oy.

LVI 04-10410 (2007) ‘Lämmitys-, vesi- ja viemärityöt’. Rakennusteollisuus RT ja Rakennustietosäätiö RTS.

LVI 04-10411 (2007) ‘Ilmastointityöt’. Rakennusteollisuus RT ja Rakennustietosäätiö RTS.

LVI 04-10412 (2007) ‘Sähkötyöt’. Rakennusteollisuus RT ja Rakennustietosäätiö RTS.

Mäki, T. and Paavola, S. (2012) ‘Tietomallintamisen käytöt rakentamisessa’.

Mirzaei, A. *et al.* (2018) *4D-BIM Dynamic Time–Space Conflict Detection and Quantification System for Building Construction Projects*. Available at: https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001504 (Accessed: 13 February 2024).

Monsberger, M. ja Fruhwirth, M. (2018) ‘Die Gebäudetechnik im österreichischen Bauprozess’. Technische Universität Graz.

Ojala, J. ja Sipilä, K. (2022) *Miksi 4D-hankepalvelu kannattaa rakennushankkeessa*, *Granlund*. Available at: https://www.granlund.fi/blogi/miksi-4d-hankepalvelu-kannattaa-rakennushankkeessa/ (Accessed: 13 February 2024).

Palomäki, J. *et al.* (2010) ‘Rakentamisen tehtäväsuunnittelu’. Rakennustieto.

Riley, D.R. *et al.* (2005) ‘Benefit-Cost Metrics for Design Coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing Systems in Multistory Buildings’, in *Journal of Construction Engineering and ManagementVolume 131, Issue 8*. ASCE, pp. 857–942. Available at: https://ascelibrary-org.libproxy.tuni.fi/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282005%29131%3A8%28877%29 (Accessed: 14 June 2024).

Rintamäki, T., Kuusela, H. ja Mitronen, L. (2007) ‘Identifying competitive customer value propositions in retailing’. Available at: https://www-emerald-com.libproxy.tuni.fi/insight/content/doi/10.1108/09604520710834975/full/html.

RT 10-10962 (2009) ‘Talo 2000 Hankenimikkeistö’. Rakennustieto. Available at: https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/8458#page=1.

RT 10-11069 (2012) ‘YLEISET TIETOMALLIVAATIMUKSET 2012 Osa 4. Talotekninen suunnittelu’. Rakennustieto. Available at: https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/10222#page=1.

RT 10-11224 (2016) ‘Talonrakennushankkeen kulku - Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu’. Rakennustieto.

RT 10-11226 (2016) ‘Talonrakennushankkeen kulku - Kustannusten muodostuminen ja ohjaus’. Rakennustieto.

RT 10-11284 (2017) ‘Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR18’. Rakennustieto. Available at: https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/2012#page=1.

RT 10-11290 (2017) ‘Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18’. Rakennustieto.

RT 103470 (2022) ‘Opas projektinjohtomuotojen käyttöön’. Rakennustieto.

Seppänen, O. *et al.* (2020) ‘Building 2030 - Hukan mittaaminen suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti’. Aalto-yliopisto. Available at: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2020-06/Hukka-suunnittelussa-ja-tuotannossa-loppuraportti-22-06-2020_0.pdf.

Seppänen, O. *et al.* (2021) ‘Hukka LVI- ja sähkötöissä’. Aalto-yliopisto. Available at: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2021-12/Hukka-LVI-ja-sahkotoissa-loppuraportti2021-11-26.pdf.

Seppänen, O. ja Uusitalo, P. (2017) ‘Lean suunnittelunohjaus’. Aalto-yliopisto. Available at: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/ldm_loppuraportti_22.8.2017.pdf.

SFS-EN ISO 19650 (2019) ‘Rakennuksia ja infrarakenteita koskevien tietojen organisointi ja digitalisointi, mukaan lukien rakennetun ympäristön tietojen mallintaminen ja hallinta hyödyntämällä rakennettujen kohteiden tietomallinnusta (BIM). Osa 1: Käsitteet ja periaatteet’. Suomen Standardoimisliitto. Available at: https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1092294.html.stx.

Shen, Q. *et al.* (2002) ‘A framework for identification and representation of client requirements in the briefing process’, in *Construction Management and Economics*. Taylor & Francis Ltd, pp. 213–221. Available at: https://doi.org/10.1080/0144619042000201411.

Siren, M. (2024) ‘TATE-Toimitusketjun digitalisoinnin 6 askelta’. LVI-Info. Available at: https://tiedostot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/200524/Siren%20Magnus_LVI-Info_Tate-toimitusketjun%20digitalisoinnin%206%20askelta_20-05-2024.pdf.

Sulankivi, K., Mäkelä, T. ja Kiviniemi, M. (2009) ‘Tietomalli ja työmaan turvallisuus’. VTT. Available at: https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/turvabim.pdf.

Suunnitteluprosessi 2.0 -projekti (2023). Available at: https://www.youtube.com/watch?v=81dPl7tIQvk (Accessed: 22 April 2024).

Talotekniikalla on merkittävä rooli (2021) *granlund.fi*. Available at: https://www.granlund.fi/talotekniikka/ (Accessed: 12 December 2023).

‘Talotekniikka 2030 - Visio ja arvolupaukset’ (2023). Aalto-yliopisto. Available at: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-12/Talotekniikka2030-visio.pdf.

Teo, Y.H. *et al.* (2022) ‘Enhancing the MEP Coordination Process with BIM Technology and Management Strategies’. MDPI. Available at: https://www.mdpi.com/1424-8220/22/13/4936.

Tilastokeskus (2024a) *Reliabiliteetti*. Available at: https://stat.fi/meta/kas/index.html?R (Accessed: 14 June 2024).

Tilastokeskus (2024b) *Validiteetti*. Available at: https://stat.fi/meta/kas/validiteetti.html (Accessed: 14 June 2024).

Valkonen, T. ja Seppänen, O. (2023) ‘Improving Productivity in Ventilation and Plumbing Installations by Developing Designs’, in. *31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 31)*, Lille, France, pp. 1061–1071. Available at: https://doi.org/10.24928/2023/0151.

Varteva, K. (2021) ‘Talotekniikan prosessin kehittäminen rakennushankkeen johtamisessa’. Aalto-yliopisto. Available at: https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/51234082-aaa7-43a5-9851-9c54ca0d49f3/content.

Vilkka, H. (2005) *Tutki ja kehitä*. Otavan kirjapaino Oy: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Wang, J. *et al.* (2015) ‘Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability’. Elsevier B.V.

Wang, L. ja Leite, F. (2016) ‘Formalized knowledge representation for spatial conflict coordination of mechanical, electrical and plumbing (MEP) systems in new building projects’. Elsevier B.V.

Winch, G. (2009) *Managing Construction Projects*. 2. John Wiley & Sons, Incorporated.

Wu, Q. *et al.* (2022) ‘Identifying Impact Factors of MEP Installation Productivity: An Empirical Study’. MDPI. Available at: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/565.

Ympäristöministeriö (2024) *Rakentamislaki*. Available at: https://ym.fi/rakentamislaki (Accessed: 15 May 2024).

LIITTEET

LIITE 1. LVV-töiden aikataulutettavat tehtävät. *(LVI 04-10410, 2007)*

Aikataulunimike	Sisältö	Suunnittelujako
Ulkopuoliset putkistot ja liittymät	ulkopuoliset jätevesiviemärit, ulkopuoliset sadevesiviemärit, ulkopuoliset vesijohdot ja ulkopuoliset lämpöjohdot	koko rakennus
Kaivot	sadevesikaivot, tarkistuskaivot, tarkistusputket ja perusvesikaivo	koko rakennus
Pohjaviemärit	sisäpuoliset pohjaviemärit ja sisäpuoliset pohjasadevesiviemärit	osajako
Lämmönjakohuoneen asennustyöt	lämmönsiirtimet ja lämmönjakokeskukset, lämmönjakohuoneen lämpöjohto-, vesijohto- ja viemäriasennukset. Polttoaineen varastointi-, käsittely- ja syöttölaitteet. Polttimet, kattilat ja varaajat. Laitteet ja varusteet. Hoitotasot ja tehdasvalmisteiset savupiiput	koko rakennus
Jako- ja kytkentäjohdot	lj-pohjajohdot, lj-kerroshaaroitukset, vj-pohjajohdot ja vj-kerrosjohdot. Kerrosviemärit haaroituksineen, kerrossadevesiviemärit, jäähdytys (jako- ja kytkentäjohdot) ja kylpyhuone-elementtien kytkentä	osa/kerrosjako
Nousujohdot	lj-kerrosnousujohdot, vj-kerrosnousujohdot, viemärien nousujohdot, sadevesiviemärien nousujohdot ja jäähdytys nousujohdot	osa/kerrosjako
Lämmityspatterit		osa/kerrosjako
Lämpö päälle valmius		osa/kerrosjako
Vesi- ja viemärikalusteiden asennus	WC-istuimet, pesualtaat, ammeet, suihkualtaat, suihkut, pesupöydät ja pesualtaat, sekoittimet, hanat, kastelupostit,	osa/kerrosjako

	huuhtelualtaat, erityisvesikalusteet, kuivaus- ja kiertovesipatterit, muut vesi- ja viemärikalusteet	
Eristystyöt	lämmitys- ja talousvesijärjestelmän eristys. Jäte- ja sadevesiviemärieristykset.	osa/kerrosjako
Ilmastointikonehuoneen putkiasennukset	ilmastointipattereiden lämmitysvesiverkosto	koko rakennus
Verkoston vesivirtojen säätötyöt	vesijohtoverkoston tasapainotukset ja lämmitysverkoston perussäätö	koko rakennus
Erityisjärjestelmien laite- ja verkostoasennukset	lämmöntalteenotto, kylmätekniset järjestelmät, kaasuverkostot, paineilmaverkostot, höyryverkostot ja palontorjuntalaitteet	koko rakennus
Tarkastukset ja toimintakokeet	laite- ja asennustapatarkastukset, viranomaistarkastukset, laitteiden toimintakokeet, tarkistusmittaukset ja koekäyttö	koko rakennus

LIITE 2. *Sähkötöiden aikataulutettavat tehtävät. (LVI 04-10412, 2007)*

Aikataulunimike	Sisältö	Suunnittelujako
Aluesähköistys	Valaistus, autopaikoitus ja alue-kaapeloinnit	Osa/roilo/kerros-jako
Muuntamo	muuntamon kojeistot	koko rakennus/loh-kojako
Kojeistot ja keskusasen-nukset	pääkeskus, ryhmäkeskukset, val-vomon laitteet	osa/kerrosjako
Kaapelihyllyt ja -tikkaat	kaapelihyllyt ja -tikkaat	osa/kerrosjako
Johtokourut	johtokourut	osa/kerrosjako
Putkitukset	runkoputkitus, väliseinäputkitus, laskettujen kattojen putkitus, eri-koiset putkitukset	osa/kerrosjako
Kaapeloinnit	keskusten väliset johdot, pinta-asennukset ryhmäjohdot putkiin, yleiskaapelointijärjestelmä, anten-nijärjestelmä, ovipuhelinjärjes-telmä, palovaroitinjärjestelmä, ku-lunvalvontajärjestelmä, äänentois-tojärjestelmä, LVI-koneiden joh-dot, kytkennät	kuilu/kerrosjako
Rasiakojeiden asennus	varsinaiset kojeet, peitelevyt	osa/kerrosjako
Valaisimien asennus	varsinaiset valaisinasennukset, lamppujen asennukset	osa/kerrosjako
Sähkölämmitysjärjestelmä	sähköpattereiden asennus ja kaa-peloinnit	osa/kerros-jako/koko rakennus
Mukavuuslämpö	lämmityskaapeli, lämmityksen oh-jauslaite, kaapelointi	osa/kerrosjako/ koko rakennus
LVI-laitteiden asennukset	LVI-laitteiden sähköistys	osa/kerros-jako/koko rakennus

Asennustapatarkastukset ja toimintakokeet	LVI-toimintakoe, LVI-koekäyttö, valaistusohjaukset, muut toimintakokeet, sähkölaitoksen tarkastus, antennitarkastus, telelaitteiden kokeet, varavoimakoneiden koekäyttö, lopputarkastus	koko rakennus/lohkojako

***LIITE 3**. IV-töiden aikataulutehtävät (LVI 04-10411, 2007)*

Aikataulunimike	Sisältö	Suunnittelutaso
Runkokanavat	Pystykanavat	osa/roilo(nousukuilu)/kerrosjako
Haarakanavat	Kellarikerrosten, yläpohjan, kerrosten kanavat ja kph-elementtien IV-työt	osa/roilo(nousukuilu)/kerrosjako
Koneasennukset huoneistoihin (hajautettu järjestelmä)	Ilmastointikoneet, lämmöntalteenotto	osajako
Koneasennukset konehuoneittain	Ilmastointikoneet, kierrätysilmalaitteet, lämmöntalteenotto, ilmastoinnin jäähdytyslaitteet, väestönsuojalaitteet	konehuone
Päätelaiteasennukset	Tuloilmalaitteet, poistoilmalaitteet, siirto- ja ulkoilmalaitteet	osa/kerrosjako
Eristystyöt	Ilmastointijärjestelmien eristykset	osa/kerrosjako
Ilmavirtojen säätö- ja mittaustyöt	Urakoitsijan tekemät säädöt ja mittaukset	koko rakennus/lohkojako
Tarkastukset ja toimintakokeet	Laite- ja asennustapatarkastukset, viranomaistarkastukset, laitteiden toimintakokeet, tarkastusmittaukset ja koekäyttö	osa/koko rakennus

LIITE 4. *Teemahaastatteluja ohjanneet kysymykset ja aihealueet*

KVR-urakoitsija ja TATE-PJU:

Toteutusmuoto ja suunnittelun ohjaus

- Miten suunnittelun ja toteutuksen limittyminen onnistuu? Saadaanko toteutustasoisia suunnitelmia ajoissa
- Suunnitelmien johtamisen haasteet ja hyvät käytännöt. Onko suunnittelun tilannekuva selkeä vai onko siinä parannettavaa. Tiedetäänkö mitä suunnittelijat tekevät, on tekemässä ja mitä työmaa tarvitsee
- Kiinteän perusosan ja muuntuvan tilaosan jako. Mitä ongelmia ja haasteita aiheuttaa
- Aliurakoitsijoiden ymmärrys toteutusmuodosta ja suunnitelmien etenemisestä.

Rakennettavuus

- Kuinka paljon työtä joudutaan tekemään puutteellisilla suunnitelmilla tai suunnitelmapuutteet aiheuttavat töiden keskeytystä tai uudelleenrakentamista. Esimerkkejä?
- Asennusvarojen huomiointi ja rakennettavuustarkastelu? Millä tasolla ja miten tehdään.
- Missä muodossa ja miten ohjeistettuna suunnitelmat tulisi toimittaa työmaalle, jotta suunnitelmien tulkinta on mahdollisimman helppoa?
- Pystytäänkö toteutukseltaan haastavia alueita tunnistamaan ennalta?

Tietomallintaminen

- Paljonko tietomallia hyödynnetään työmaalla
- Miten tietomallin tarkkuustasoa voidaan kehittää
- Tietomallipohjainen yhteensovitus: Miten asennettavuuden ja rakennettavuuden huomiointi saadaan paremmin tietomallin yhteensovitukseen.

Tietomallikoordinaattori:

Toteutusmuoto ja suunnittelun ohjaus:

- Käytännön toteutus. Miten yhteensovitusta pyritään tekemään ja mallia kehittämään
- Mitä haasteita suunnitelmien täydentyminen aiheuttaa
- Suunnittelun ohjauksen haasteet rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa.

Rakennettavuus:

- Tietomallin törmaystarkastelut vs rakennettavuustarkastelu. Aiheuttaako törmäysten väistely monimutkaisia taloteknisiä toteutuksia ja huomioidaanko asennusjärjestyksiä?
- Mallintamattomat objektit? Onko mahdollista lisätä tietomalliin.

Tietomallintaminen:

- Tietomallintamisen taso ei riittävällä tasolla tuotannon yhteensovitusongelman ratkaisemiseksi. Voidaanko tietomallintamisen tasoa kasvattaa. Haasteita?
- Tietomallintamisen tarkkuustason kasvattaminen kustannuksiin.
- 4D-/5D tietomallinnus. Mahdollisuudet haasteet
- Kehitysehdotuksia

TATE AU:t

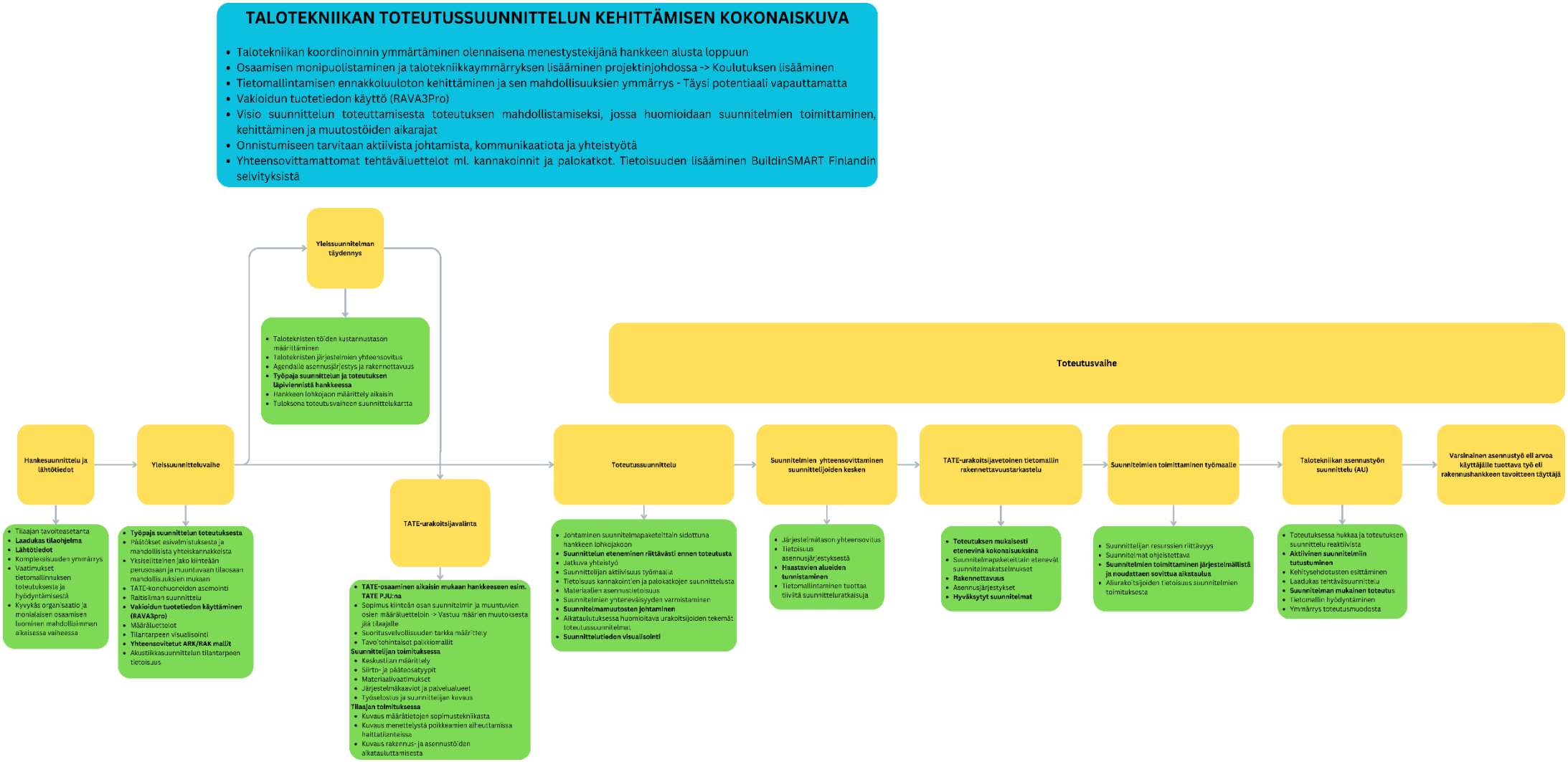
- Kuinka paljon työmaalla joudutaan tekemään suunnittelua toteutuskelpoisuuden mahdollistamiseksi? ml. asennusjärjestykset? Asennustila? Konkreettisia toistuvia ongelmia?
- Missä muodossa ja miten ohjeistettuna suunnitelmat tulisi toimittaa työmaalle, jotta suunnitelmien tulkinta on mahdollisimman helppoa?
- Mihin tarkkuuteen ja toleransseihin TATE-suunnitelmilla tulisi työmaan näkökulmasta päästä, sekä miten arkkitehti- ja rakennesuunnitelmissa tulee ottaa huomioon ja esittää TATE-asennusten vaatimat toleranssit sekä asennusjärjestykset.
- Kuinka paljon aikaa suunnitelman saatuaan urakoitsijalla on suunnitella työtään asentajien kanssa
- Suunnitelmiin liittyvien ongelmien ratkaisemisen kesto. Tietääkö asentajat kehen olla yhteydessä ja kauan vastauksien saaminen kestää.
- Kuinka etäiseksi talotekniikkaurakoitsijat kokevat suunnittelijat?
- Paljonko tietomallia hyödynnetään asennustyössä? Plussat ja miinukset
- Kehitysehdotuksia?

TATE-suunnittelija

Toteutusmuoto ja suunnittelun ohjaus:

- Suunnittelun ja toteutuksen limittyminen. Toteutuksen ja ohjaamisen haasteet
- Koetaanko, että urakoitsijaa tulisi hyödyntää paremmin edes joillain alueilla
- Suunnittelunohjauksen haasteet? Saadaanko laadukkaita suunnitelmia aikataulussa. Onko suunnittelun ohjauksen käytännön johtamisessa haasteita
- Kiinteän ja muuntuvan tilaosan haasteet ja mahdollisuudet
- TATE-PJU:n hyvät ja huonot puolet.

Rakennettavuus ja tietomallintaminen

- Aloitetaanko suunnittelu heti mallintamalla. Käytännön toiminta? Tietomallintamisen haasteet?
- Miten törmäystarkasteluja, yhteensovitusta ja rakennettavuuden tarkastelua voidaan kehittää?
- Tehdäänkö hankalasti toteutettavien alueiden rakennettavuustarkastelua
- Tietomallin tarkkuustason kehittäminen. Mitä vaatii? Paljonko kustannuksia?
- 4D ja 5D tietomallit. Miten toteutettavissa? Mitä haasteita?

LIITE 5. *Tutkimustulokset esitettynä aikajanalla*