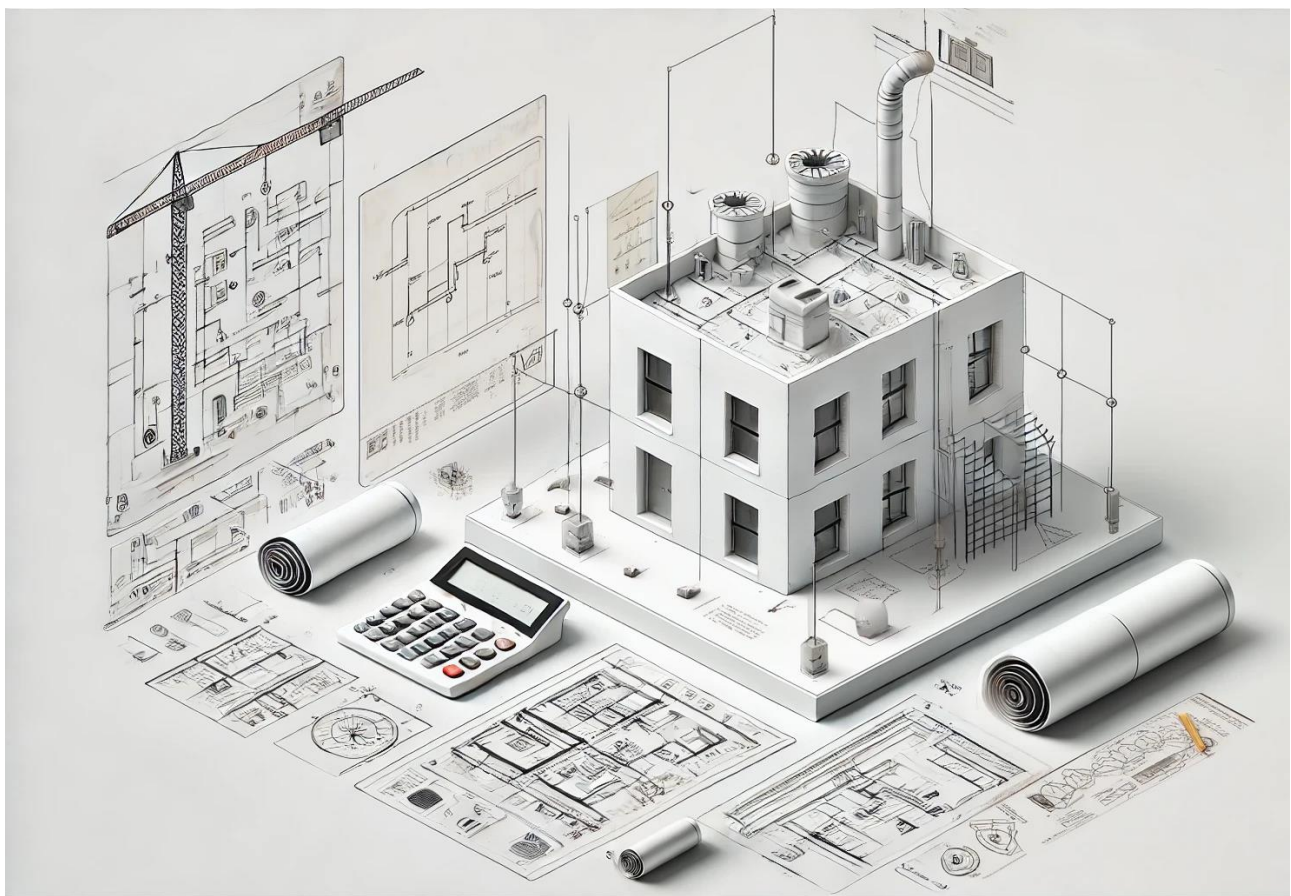


TALOTEKNIikka 2030 - Taloteknisen toteutussuunnitteludoku- mentoinnin kehittäminen

Kirjoittajat:

Juuso Järviö, Anni Luoto, Piia Sormunen ja Arto Saari



TALO|20
tekniikka|30

Alkusanat

Tämän projektin toteutuksesta on vastannut Tampereen yliopiston tutkijaryhmä: diplomityön kirjoittaja Juuso Järviö, teollisuusprofessori Piia Sormunen, professori Arto Saari ja tutkija Anni Luoto.

Projektin ohjausryhmää on osallistunut aktiivisesti seuraavat henkilöt:

Mikko Kaijalainen	Amplit (Talotekniikka ry)
Jani Penttinen	ARE Oy
Jesse Rehn	ARE Oy
Henri Hietala	Bravida
Vesa Kinnaslampi	Caverion
Eero Tähkäpää	Granlund Oy
Toni Ollikainen	Granlund Oy
Panu Mustakallio	Halton
Jorma Seppänen	Hilti
Jesse Reponen	Lahdentiedepuisto
Kalle Helmiö	MagiCAD
Nico Evers	MagiCAD
Mikko Sahikallio	QMG
Jouni Ylhäinen	Sweco

Kiitos kaikille hankkeeseen osallistuneille.

Tampereella xx.xx.2024

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1. Tiivistelmä.....	4
2. Johdanto	5
2.1. Tutkimuksen tausta.....	5
3. Kirjallisuuskatsaus.....	6
3.1. Talotekniikan koordinointi rakennushankkeessa	6
3.2. Talotekniikan toteutussuunnittelu	7
3.3. Talotekniikan asennustyö	8
4. Tutkimusmenetelmä	10
4.1. Asiantuntijahaastattelut	10
4.2. Osallistuva havainnointi Case-kohteessa.....	10
4.3. Asiantuntijatyöpaja	11
5. Tutkimustulokset	15
5.1. Asiantuntijahaastatteluiden tulokset	15
5.2. Kenttätutkimuksen havainnot	16
5.3. Työpajatyöskentelyn tulokset	16
6. Tulosten pohdinta ja yhteenveto.....	17
6.1. Keskeiset tulokset ja niiden suhde kirjallisuuteen	17
6.2. Tutkimuksen luotettavuus, yleistettävyyys ja rajoitukset	22
7. Johtopäätökset	24
Lähteet	26
Liitteet	29

1. Tiivistelmä

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 todettu 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 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 prosessien 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.

Työ koostuu kirjallisuusselvityksestä, empiirisestä tutkimuksesta sekä sen tuloksista. Empiirinen tutkimusosuus sisälsi havainnointiajanjakson case-kohteessa, kohteen asiantuntijoiden teema-haastattelut 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 epäjohtonmukaista. 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.

2. Johdanto

2.1. 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. Taloteknisten järjestelmien ja niiden asennustyön kustannusten osuus on 15–60 % hankkeen kokonaiskustannuksista, riippuen hankkeen koosta sekä kompleksisuudesta. (Khanzode, 2010; Chen, Feng and Lee, 2012; Hassanain *et al.*, 2018). Ajallisesti tarkasteltuna voi talotekniikan asennustyö ylittää jopa 50 % rakennushankkeen kokonaiskestosta. (Riley *et al.*, 2005) Talotekniikalla on keskeinen merkitys myös rakennusten hiilijalanjäljen pienentämisessä. Merkittävä osa rakennuksen koko elinkaaren ajalta mitattavasta hiilijalanjäljestä syntyy käytönajan energiankulutuksesta, jota parannetaan rakennusten energiatehokkuudella sekä energiajärjestelmien päästöjä alentamalla. (Ahola and Liljeström, 2018)

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

Eri taloteknisten järjestelmien suunnittelua tehdään pääsuunnittelijajohtoisesti jo projektien varhaisista vaiheista lähtien ja paljon työaikaä 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 and Smith, 2020) Taloteknisen toteutussuunnittelun systematiikka ja dokumentointitapa vaatii kehittämistä.

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.

Työtä on rajattu niin, että se keskittyy hankkeen suunnittelun vaiheista vain toteutuksen mahdollistavaan suunnitteluun. Tutkimus rajattiin tarkastelemaan projektinjohtorakentamisen toteutusmuotoa, sen ollessa erityisen haastava taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen yhteensovituksen kannalta.

3. Kirjallisuuskatsaus

3.1. Talotekniikan koordinointi rakennushankkeessa

Talotekniikan onnistunut koordinointi on koko rakennushankkeen keston ajalle jakautuva prosessi. Rakennuksen vaatimukset on suunniteltava hankkeen aluksi riittävällä tarkkuudella. Alkuvaiheen päätöksenteon muuttaminen myöhemmin hankkeessa on todettu haastavaksi ja kustannuksia kasvattavaksi. (Monsberger and 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 laatu-taso, tilaajan vaatimukset sekä tavoitteet ja viimeisenä suunnitteluvaiheeseen budjetoitujen kustannusten määrä.

Suunnittelu ja tuotanto ovat prosesseiltaan erityyppisiä, joka johtaa osapuolten välisen tiedonkulun ja kommunikaation hankaloitumiseen. Tuotannon ollessa suoraviivaisempi prosessi, on suunnittelun prosessin sisältämiä riippuvuuksia vaikeampi määrittää. Hankkeissa, joissa tuotanto sekä suunnittelu limitetään, esiintyy usein johtamisen ja tiedonkulun haasteita. Rajapinta suunnittelun ja tuotannon välillä on herkkä väärinymmärryksille sekä virheille, jotka laskevat rakennuksen arvoa, riitauttaa osapuolia ja luovat lisätöitä hankkeeseen (Seppänen and Uusitalo, 2017). Etenkin talotekniikan rooli rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa on ollut haastava sekä sen on todettu sisältävän merkittävän määrän hukkatyötä. (Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?, 2023)

Taloteknisissä urakoissa yleisenä toimintatapana on ollut käyttää perinteisiä kiinteähintaisia jaettuja urakoita, jolloin toteutussuunnitelmien taso tulee olla korkea. (Kiiras et al., 2019). Arkkitehtisuunnitelmien ollessa vielä keskeneräiset, tämän on todettu aiheuttavan merkittävää uudelleensuunnittelua, monimutkaisia suunnitteluratkaisuja sekä hankaloittavan taloteknisten urakoiden suunnittelua ja toteutusta. (Bárány, (2023); *Kuinka rakennushankkeen suunnittelun haasteisiin vastataan?*, 2023). Perinteiset kiinteähintaiset palkkiomuodot eivät myöskään mahdollista urakoitsijan ideointia ja

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

3.2. Talotekniikan toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelu on detaljitason suunnittelua, jonka laatu realisoituu työmaalla. Suunnitelmien rakennettavuuden arviointi jää usein suunnittelussa tekemättä tai rakennettavuudesta tehdään oletuksia (Korman and 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)

Seppänen et al. (2021) saivat tutkimuksessaan suunnittelun arvoa lisääväksi ajaksi vain 17 %. Suunnittelun hukalla ja tuotantovaiheen hukalla on havaittavissa myös yhteys. Suunnitelmien virheet, muutokset, epäselvyydet ja viivästyksset aiheuttavat suoraa hukkaa myös tuotantoon. Toteutussuunnitteluvaiheen hukkaa tutkinut Ossi Koniel (2019) listasi suunnitteluprosessin hukan typeiksi suunnittelun puutteellisilla edellytyksillä, suunnitelmien tarkastuksen, uudelleen suunnittelun, tiedon siirtymisen ja tiedon odottelun.

Seppänen et al. (2021) havaitsivat tutkimuksessaan, että jopa 43 % suunnitteluprosessin ongelmista kohdistui talotekniikkasuunnitteluun. Ko. tutkimuksessa talotekniikkasuunnittelijat kertoivat suunnittelun päähaasteen olevan heikossa koordinaatiossa suunnitteluorganisaation jäsenten välillä. Hassanain et al., (2018) löysivät tutkimuksessaan 36 tekijää, joilla havaitaan olevan vaikutusta taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen onnistumiseen. Mainituksessa tutkimuksessa löydetty 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) Monsberger & Fruhwirth (2018) tutkimuksen mukaan erityisesti arkkitehti- ja talotekniikkasuunnitelmien välillä on suuri riski konflikteille. Edelleen tutkimuksen mukaan arkkitehtisuunnitelmien muutokset ja ahtaat tilavaraukset hankaloittavat taloteknistä suunnittelua.

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. Tietomallipohjaisia suunnitelmia yhteensovitetään törmäystarkaste-luiin, jossa suunnitteluohjelman toiminto paljastaa suunnitelmakomponenttien risteämiset 3D-mal-lissa. Törmäyksiä voi hankkeissa löytyä suuria määriä ja niiden ratkaiseminen on aikaa vievää (Teo et al., 2022). Tietomallikoordinointi ei takaa rakennettavuutta, vaikka tietomallin törmäystarkaste-lussa se olisi todettu törmäyksettömäksi. Työmaalla asennusten toteutuskelpoisuuden estää usein mallintamattomat objektit tai tietomallin rakennettavuustarkastelun puuttuminen. Näihin ongelmiin ratkaisuna Valkonen ja Seppänen (2023) esittävät tutkimuksessaan tietomallin laatutason paranta-misen, sekä tietomallin rakennettavuustarkastelun tuomisen mukaan tietomallintamisen prosessiin.

Wang et al. (2015) ovat luoneet suunnitelmien kehittämiseen prosessin (liite 1), jonka tavoitteena on ratkaista suunnittelun ja toteutuksen rajapinnan yhteensovitusongelmat. Siinä on viisi prosessin myötä kehittyvää tietomallia ja neljä vaihetta, joiden tarkoituksena on kehittää tietomalli toteutuksen ja esivalmistuksen mahdollistavaksi malliksi. Kolme ensimmäistä vaihetta ovat tavanomaisia suun-nittelun 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 tar-kat järjestelmäkuvaukset, jotka yhteensovitetään arkkitehti- ja rakennemallien kanssa. Tässä vai-heessa voidaan toteuttaa ensimmäinen eri järjestelmien törmäysten yhteensovittaminen. Kolman-nesta vaiheesta eteenpäin prosessiin otetaan mukaan tarkempi rakennettavuustarkastelu. Ensin ta-lotekninen pääurakoitsija tai vastaavasti projektinjohtourakoitsija ottaa vastuun suunnitelmien toteu-tuskelpoisuuden 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. (Wang et al., 2015)

3.3. Talotekniikan asennustyö

Talotekniikan asennusprosessin on aikaisemmissa tutkimuksissa tunnistettu sisältävän suuren mää-rän hukkaa. Seppänen et al. (2021) 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 liitty-vän 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. Chelson (2020) tutkimuksessa arvoa tuottamattomaksi ajaksi

määriteltiin ammattikunnan mukaan 40–60 % ja syyksi määriteltiin suunnittelun ja prosessin kontrollin 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.

Digitaalisten sovellusten käyttämistä työmaalla taloteknisten asennusten helpottamiseksi olisi mahdollista lisätä . Tutkimukset maailmalla ovat osoittaneet, että toteutuksen tuottavuutta voitaisiin parantaa hyödyntämällä teknologiaa paremmin. 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. Wu et al. (2022) mukaantietomallin 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.

4. Tutkimusmenetelmät

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

4.1. Asiantuntijahaastattelut

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

Taulukko 2. 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 1. Haastattelujen havainnot ja tulokset on esitetty kappaleessa 4.1.

4.2. 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 brm². Hanke toteutettiin

elinkaarihankkeena, jossa urakkasopimuksen toteutusmuoto oli kokonaisvastuurakentaminen (KVR) sekä elinkaarimallin mukainen 20 vuoden palvelusopimus. Hankkeen pääurakoitsija on vastuussa suunnittelun ohjauksesta. 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 käytettävyyden voi kärsiä, jos toteutusta ei kyetä tekemään suunnitelmien mukaiseksi, ja asennuksia joudutaan improvisoimaan.

Havainnointi toteutettiin kohteessa maaliskuussa 2024. Työmaajakson tavoitteena on kartoittaa taloteknisen toteutussuunnittelun keskeisiä, konkreettisimpia sekä yleisimpiä haasteita toteuttavan organisaation näkökulmasta tarkasteltuna. Jakson aikana tutkija osallistui tutkimuksen kannalta olennaisiin työmaakerroksiin 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 yhteensovituskerroksiin, joissa varmistettiin hankkeen sujuva eteneminen. Lisäksi osana havainnointia tutkija osallistui urakoitsijapalaveriin, joka mahdollisti aikataulun etenemisen tarkastelun. Suunnittelukokouksissa TATE-PJU ohjasi suunnitelmien valmistumista ja antoi mahdollisuuden viikoittaiselle vuorovaikutukselle. Kolmannessa havainnoidussa kokouksessa eli talotekniikan tietomallipohjaisissa yhteensovituspalaverissa suunnitelmia yhteensovitettiin KVR-urakoitsijan, TATE-PJU:n ja suunnittelijoiden kesken. Taloteknisistä urakoista työmaalla oli käynnissä LVV-, IV-, sähkö-, sprinkler- ja automaatiourakat. Kenttätutkimuksen havaintoja on kirjattu kappaleeseen 4.2.

4.3. 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;

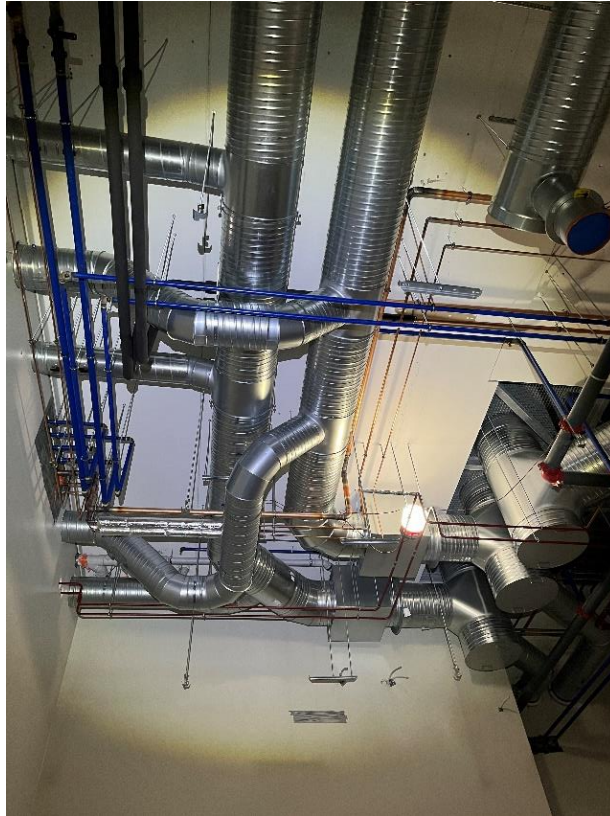
Case 1: Useat haastavat hankkeet toteutetaan suunnittelun ja toteutuksen rinnastavilla toteutusmuodoilla esimerkiksi PJU:na. Juuri näissä suurissa ja kompleksisissa hankkeissa talotekniikan koordinointi on olennainen menestystekijä, mutta ei saa usein tarpeeksi huomiota. Hankkeiden rakentaminen aloitetaan 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 tiilajasta 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 3. Työpajan toisen case-tehtävän havainnekuva

Tehtävässä haettiin vastauksia seuraaviin ohjaaviin kysymyksiin:

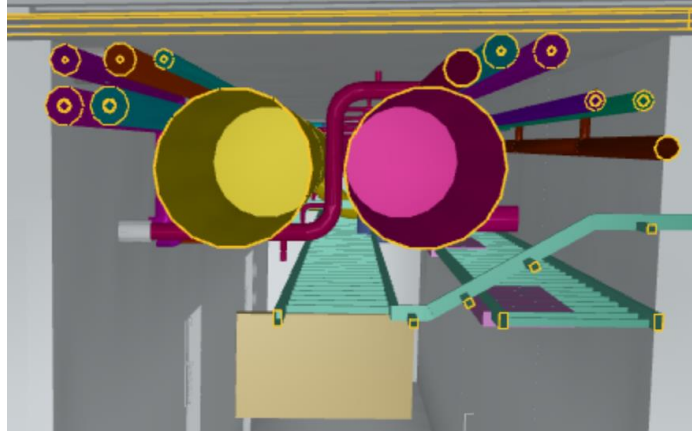
Hankalasti toteutettavien alueiden juurisyitä? Mikä aiheuttaa monimutkaisia ratkaisuja?

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 4.. 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.

5. Tutkimustulokset

Tutkimuksen menetelmät mahdollistivat tulosten kerryttämisen eri näkökulmista. Tulokset on esitetty taulukkomuodossa ja ne on jaettu tutkimuksessa löydettyjen teemojen mukaisesti kolmeen. Teemat ovat toteutusmuoto ja suunnittelun ohjaus, suunnitelmien rakennettavuus ja tietomallintaminen. Tarvemmin tutkimustuloksia on esitelty diplomityössä, johon tämä artikkeli pohjautuu.

5.1. Asiantuntijahaastatteluiden tulokset

Haastattelujen tulokset on taulukoitu teemoittain kokonaisuuden hahmottamiseksi.

	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 kokonaisuuk- sina.
	Suunnittelun aikataulutuksessa on huomioitava aliurakoitsijoiden tekemät toteutussuunnitelmat
	Kiinteän perusosan ja muuntuvan tilaosan rajan merkkäminen on haastavaa kohteissa, joissa ei ole tois- tuvuutta, eikä selkeitä tekniikkakäytäviä. Tilaosien merkkäminen suunnitelmiin ja sitominen tietomallin attribuuttitietoihin mahdollistaisi suunnittelun statuksen esittämisen tietomallissa.
	Suunnitteluvaiheessa ilmanvaihdon äänitasojen hallinta sekä jäähdystystarpeen tarkka määrittely ehkäisee myöhemmin työmaalla tehtäviä kalliita muutoksia
	TATE-PJU toteutuksessa suunnittelun hukka vähenee, kun suunnittelua tehdään urakoitsijan toimittamilla järjestelmätiedoilla.
Rakennettavuus	Suunnitelmaeroavaisuudet eri alojen suunnitelmien välillä haastavat toteutusta ja töiden yhteensovitusta.
	Rakennettavuutta parantaa suunnitelmissa esitetyt tuotantoa helpottavat tiedot, järjestykset tai visuaali- soinnit.
	Suunnitelmasisällön esittely vähentää väärintulkinnan riskiä ja tiedon hukkumista
	Urakoitsijoiden roolin kasvattaminen toteutussuunnittelun tekijänä koetaan hankalana.
	Systemaattisesta haastavien asennusalueiden tunnistamisesta ja niiden tietomallipohjaisesta rakennetta- vuustarkasteluista ei suunnittelijalla eikä aliurakoitsijoilla ollut kokemusta
Tietomallintaminen	Asentajat hyödyntävät tietomallia päivittäisessä työskentelyssään
	Tietomallitarkasteluohjelmien hitaus ja ominaisuuksien, sekä suunnittelutiedon puute ei mahdollista säh- kötöiden urakaluonteisuutta
	Tietomallitoleranssit tuottavat tiiviitä tai jopa mahdottomia suunnitteluratkaisuita. Tämä tulisi huomioida suunnittelussa paremmin.
	Törmäystarkastelun ja 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.

5.2. Kenttätutkimuksen havainnot

Kenttätutkimuksen havainnot on koottu seuraavaan taulukkoon.

Toteutusmuoto ja suunnittelunohjaus	Havainto
	TATE-PJU:n hyödyntäminen mahdollisti TATE-suunnittelun ja toteutuksen jatkuvan yhteensovituksen ja koordinoinnin
	Huomiot suunnitelmien johtamiseen suunnitelmatarveaikataululla - Oltava kytkettynä toteutusaikatauluun sekä suunnitteluajatauluun - Laadittu yhteistyönä - Suunnitelmien myöhästyminen aiheuttaa merkittävää hukkaa
	Lähtötietojen määrittelyllä on iso rooli toteutuksen onnistumisen kannalta ja suunnitelmamuutokset kulluttavat paljon työmaan resursseja
	Kiinteän perusosan ja muuntuvan tilaosan jako haastoi johdettavuutta sekä 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.

5.3. Työpajatyöskentelyn tulokset

Työpajoissa löydetty haasteet ja ideoidut kehitysehdotukset on taulukoitu seuraaviin taulukoihin

	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 tilan-tietoisuus	Suunnittelijan sekä urakoitsijan aktiivisuus ja yhteistyö etenkin PJU-toteutuksessa
	Suunnittelun ohjaus	Vaatii kaikkia suunnittelualoja koordinoivaa johtamista ja osaamisen laajamittaista hyödyntämistä
	Käyttäjämuidosten vieminen suunnitelmiin	Muidosten johtaminen ja muuntuvien tilojen suunnitelmakettien lukitseminen. Lukitsemisen jälkeen voidaan aloittaa tuotantoa palveleva suunnittelu. Selkeä koordinoinnin vastuujako

	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 ymmärtäminen aikaisemmalla TATE-suunnittelun integroinnilla Monialaisemman ymmärryksen lisääminen esimerkiksi koulutuksen muutoksilla
	Myöhäisen akustiikkasuunnittelun vaikutus talotekniikan tilantarpeeseen	Akustiikkasuunnittelun integrointi hankkeeseen tarpeeksi ajoissa ja yhteistyöpohjainen suunnittelu
	Kannatusten suunnittelun vastuuttaminen	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

	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

6. Tulosten pohdinta ja yhteenveto

6.1. 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 and Tatum, 2003; Monsberger and Fruhwirth, 2018; Valkonen and Seppänen, 2023) Sekä asennustyön, että suunnittelun on todettu sisältävän merkittävän määrän hukkaa ja olennaiseksi juurisyiksi 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. Toteutusmuoto edellyttää suunnittelun johtamiskykyä ja aktiivisuutta sekä suunnittelijalta, että urakoitsijalta läpi hankkeen. Havainnot toteutusmuodosta olivat samansuuntaisia kuin Bárányn (2023) toteuttamassa suunnitteluprosessin hukkaa minimoivassa tutkimuksessa.

Suunnitelmien laatu ja rakennettavuus todettiin case-kohteessa hyväksi, mutta haastattelujen sekä 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. Tämän 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. (H2) 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 tuotavuuden 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. 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
- Mallintamattomien objektien puute suunnitelmista hankaloittavat 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 työtahokkuutta 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 (liite 1) mukaisesti. Siinä urakoitsija saadaan otettua mukaan tutustumaan ja kehittämään suunnitelmia. Samalla urakoitsijan tilannetieto sekä mahdollisuudet aikaisempaan töiden suunnitteluun paranevat.

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

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta suunnitelmien toimittamisen työmaalle olevan epä johdonmukaista.

Suunnitelmien toimittaminen työmaalle tulisi hallita selkeän yksityiskohtaisen projektisuunnitelman mukaisesti, 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 työsuunnittelulle 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 määritetty:

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 lisääminen tietomalliin parantaen sen tarkkuutta.

Tietomallintamisen törmäystarkastelujen toleranssitason (25 mm) muuttaminen nähtiin haastavana. Olennaisempaa olisi hahmottaa tietomallin törmäystarkasteluiden ja yhteensovituksen prosessin kehittäminen kohti rakennettavampaa tietomallia. Huomion arvoisena nähtiin 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 rakennusosalalla loisi toteutussuunnittelun laatutasoa kehittävän vaikutuksen.

Tutkimuksen tuloksena koottuja toimintamalleja sekä juurisyitä on koottu kokonaisuuden hahmottamiseksi liitteeseen 2.

6.2. Tutkimuksen luotettavuus, yleistettävyyden 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 *kirjallisuus-selvityksessä* 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 havainnot 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 väärintymmärrykselle. 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 konkreettisemmän ymmärryksen keräämisen, mutta sillä on myös rajoitteensa. Havainnointi on hyvin subjektiivinen tutkimusmenetelmä, ja pohjautuu tutkijan omaan ymmärrykseen sekä kykyyn tunnistaa merkitykselliset havainnot. Osallistuva havainnointi on myös mahdoton toistettava ja havaintojen yleistettävyyden muihin kohteisiin on hankala tunnistaa. Havainnoinnin laatua heikentää myös tutkijan rooli kohteessa, jolloin osapuolien käytös saattaa muuttua eivätkä tutkittavat aiheet konkretisoidu totuudenmukaisesti. (Hirsjärvi, Remes and Sajavaara, 2009) Osallistuvan 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 aieman kirjallisuuden kanssa, joten niitä voidaan pitää luotettavina.

Tutkimus tuottaa uutta tieteellistä *kontribuutiota* Suomen rakennusosalalle. Taloteknisen suunnittelun prosessia ja sen koordinoitua 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.

7. Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella toteuttavan organisaation näkökulmasta toteutussuunnitelmien asennuskelpoisuutta, suunnitelmien toimittamista työmaalle sekä suunnitelmatoleranssien vaikutusta. Tutkimuksessa löydettyihin haasteisiin pyrittiin esittämään kehitysehdotuksia asiantuntijatyöpajan sekä aikaisemman tutkimuksen pohjalta. Monimenetelmäinen tutkimus mahdollisti haasteiden ja ratkaisuehdotusten välisten korrelaatioiden löytämisen. Talotekniikka 2030 -tutkimushankkeen 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 hyödyntäminen 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 rakennusosalalla kehittää ennakoluulottomasti eteenpäin.

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 mukaisesti. (Liite 1)
- Laaja-alaisemman taloteknisen ymmärryksen lisäämistä hankkeen eri osapuolille taloteknisen koulutuksen lisäämisen avulla
- Tietoisuuden lisääminen BuildingSMART Finlandin laatimien kannatusten sekä palokatkojen suunnittelun käytötapauksuvauksista.
- Tietomallintamisen ennakoluuloton 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 -yrittäjäseminaarin 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. and Liljeström, K. (2018) 'Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilohteessa'. Joutsenmerkki. Available at: https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2022/08/Hiilijalanjäljen-pienentaminen-kustannustehokkaasti_2018.pdf.
- Ahonen, A. *et al.* (2022) 'Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa'.
- Aslam, M., Gao, Z. and 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. and Paulson, B.C. (1992) *Professional Construction Management*. Third Edition. McGraw-Hill, Inc.,
- Chau, K.W., Anson, M. and 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. and 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. and 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. and 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. and 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. and 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. and 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. and 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. and 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](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000189).

Korman, T.M. and 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](https://doi.org/10.1061/40798(190)15).

Koskela, L., Huovila, P. and 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 yhdyskuntateknikka. 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. and Fruhwirth, M. (2018) 'Die Gebäudetechnik im österreichischen Bauprozess'. Technische Universität Graz.

Ojala, J. and 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 Management* Volume 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. and 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>.

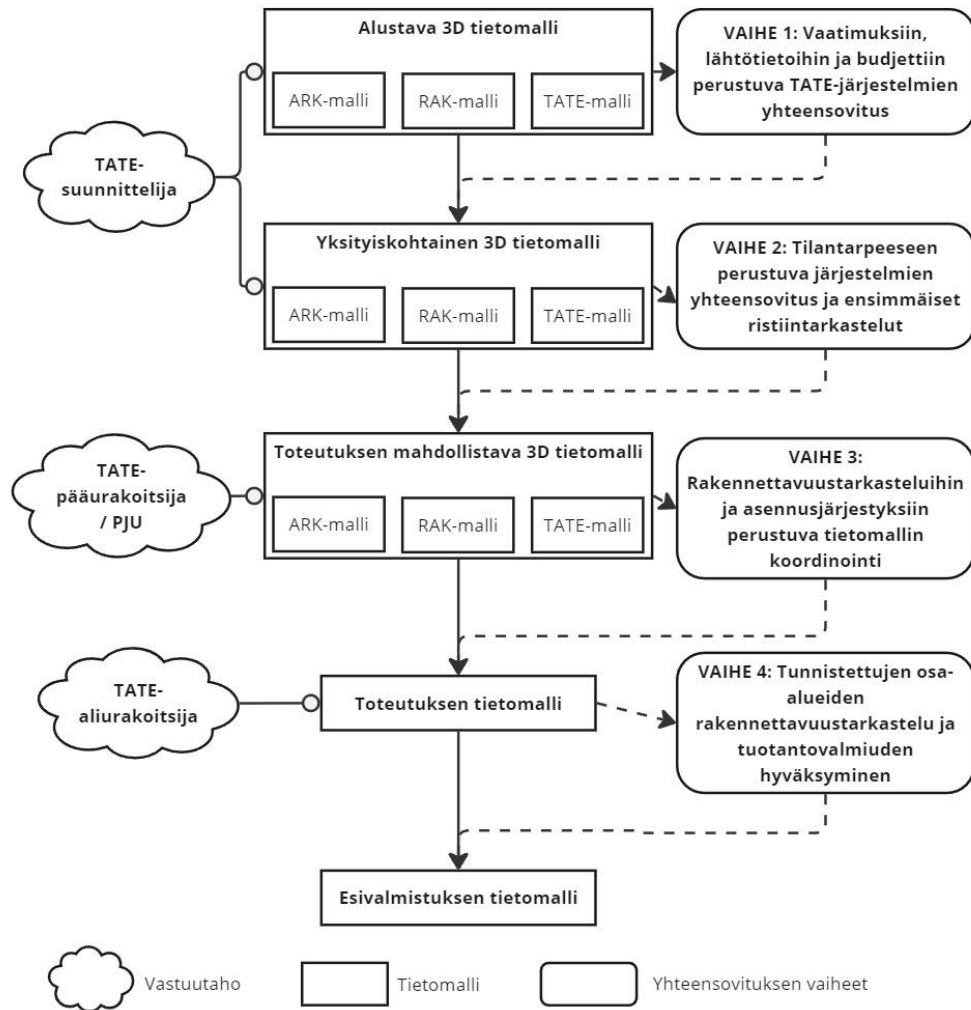
- RT 10-10962 (2009) 'Talo 2000 Hankenimikkeistö'. Rakennustieto. Available at: <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/8458#page=1>.
- RT 10-11069 (2012) 'YLEISET TIETOMALLIVAATIMUKSET 2012 Osa 4. Talotekninen suunnittelu'. Rakennustieto. Available at: <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/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 sähkötoissa'. 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. and 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. and 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=81dPI7tIQvk> (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. and 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>.
- Vilka, 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. and 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. *Tietomallin kehittäminen toteutuksen mahdollistamiseksi (mukaillen Wang et al., 2015)*



Liite 2. 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 törmäystarkastelut 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?

