

Building 2030: Talotekniikan esivalmistus- suunnittelu Loppuraportti

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat: Olli Seppänen, Tuomas Valkonen



Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Building 2030 tutkimuskonsortion jäsenet tutkimusvuonna olivat: A-Insinöörit, Fira, Granlund, Haahela, Hilti, Jatke, Lujatalo, Magicad, Parma, Peab, Pohjola Rakennus, Ramboll, Rejlers, Ramirent, Skanska, SRV, Stark, Tocoman, Trimble, Vastuu Group ja YIT.

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	3
1.1	Tutkimuksen tausta.....	3
1.2	Tutkimuksen tavoite.....	3
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
2	Esivalmistussuunnittelu	4
2.1	Esivalmistusohjelma	4
2.2	Valmistusta palveleva suunnittelu	10
2.3	Tarkemman suunnittelun työmäärä.....	18
3	Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	20
	Lähdeluettelo	21

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Building 2030 –konsortion aiemmissa hankkeissa todettiin, että talotekniikan asentajilla on hyviä syitä poiketa suunnitelmista. Suunnitelmien asennettavuuteen ei kiinnitetä riittävästi huomiota suunnitteluvaiheessa, jolloin asentajat suunnittelevat työkohteessa asennuksen loppuun (Seppänen ym. 2022). Tämä johtaa merkittävään tuottavuuden alenemiseen, kun esimerkiksi yhteensovitus edellyttää keskusteluja muiden työryhmien kanssa. Taloteknisten töiden tuottavuushaasteiden tärkein juurisyy onkin suunnittelussa (Seppänen & Görsch 2022).

Aiemmissa hankkeissa päädyttiin siihen, että toteutuskelpoiset suunnitelmat ovat myös lähtökohtaisesti esivalmistettavissa, jos suunnitelmiin lisätään tarkat materiaaliluettelot. Suunnittelutieto on tuotettavissa nykyisin käytössä olevilla työkaluilla. Tärkeintä onkin päättää, kenen pitäisi tehdä suunnitelmien detaljoinnint ja missä vaiheessa hanketta. Aiemmassa tutkimuksessa tutustuttiin Southland Industriesin prosessiin, jossa detaljoinnin teki asentajataustainen henkilö, jolle oli opetettu mallinnusta. Voisiko samanlainen prosessi toimia myös Suomessa?

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli syventää ymmärrystä talotekniikan esivalmistussuunnittelusta tekemällä käytännön työmaatestejä. Testeissä pyrittiin hyödyntämään edellisenä vuonna kehitettyjä esivalmistetun talotekniikan suunnitteluvaatimuksia. Hankkeessa tutustuttiin myös hankkeisiin, joissa esivalmistusta oli käytetty. Lisäksi tavoitteena oli arvioida talotekniikan detaljoinnin lisäkustannuksia ja siitä saatavia hyötyjä.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Hankkeessa käytettiin useita tutkimusmenetelmiä. Tärkein menetelmä oli tutustua kohteisiin, joissa esivalmisteita käytettiin tai niiden käyttöä suunniteltiin. Tohtorikoulutettava Tuomas Valkonen osallistui hankkeisiin ja kävi niitä läpi hankkeen henkilöstön ja Building 2030 –konsortion työryhmän kanssa. Yhdessä hankkeessa tehtiin esivalmistustason suunnittelua. Detaljoinnin työmäärää arvioitiin case-hankkeiden kokemusten perusteella ja perustuen kyselytutkimukseen konsortion suunnittelijoille.

2 Esivalmistussuunnittelu

Esivalmistussuunnittelu pitäisi aloittaa samaan aikaan hankesuunnittelun kanssa. Esivalmistussuunnittelu jatkuu tarkkuustasoa jatkuvasti kasvattaen aina luovutukseen ja loppupiirustusvaiheeseen saakka. Hankkeen alkuvaiheessa keskitytään esivalmisteiden mahdollisiin käyttökohteisiin suhteessa hankkeen tavoitteisiin. Päätös esivalmisteiden käytöstä tehdään näkyvällä ja perustellulla tavalla. Kun esivalmisteiden käyttämiseen on päädytty, siirrytään suunnittelemaan tarkemmin hankintaa, logistiikkaa ja erityisesti valmistusta. Tässä tutkimushankkeessa keskityttiin alkuvaiheen päätöksentekoon esivalmisteiden käyttämisestä sekä tarkemmin valmistusta palvelevaan toteutussuunnitteluun.

2.1 Esivalmistusohjelma

Aikaisemmassa Building 2030 -hankkeessa kehitettiin esivalmistusprosessi (Peltokorpi ym. 2018) ja päätöksentekomalli esivalmisteiden käyttöön (Peltokorpi ym. 2019). Esivalmistusprosessissa kuvataan, mitä päätöksiä ja toimenpiteitä talotekniikan esivalmisteiden käyttäminen edellyttää rakennusprosessin eri vaiheissa. Esivalmisteiden osalta työn pitäisi alkaa joko tarveselvitysvaiheessa tai viimeistään hankesuunnitteluvaiheessa. Mitä aikaisemmin päätökset esivalmisteiden käytöstä tehdään, sitä helpompaa ovat toteutussuunnittelu ja valmistaminen. Myöhään tehtyt päätökset aiheuttavat hukkaa (uudelleensuunnittelu, erillishankinnat, työmaalogistiikka), eivätkä mahdollista kaikkien hyötyjen ulosmittaamista. (Peltokorpi ym. 2018)

Aiemmassa tutkimushankkeessa ehdotettua esivalmistusprosessia ei vielä testattu. Tässä hankkeessa esivalmistusprosessia ja päätöksentekomallia sovellettiin uudisrakennushankkeessa jälkikäteisarviona. Kokeilun tarkoituksena oli selvittää mallin soveltuvuutta käytäntöön ja mahdollisia kehityskohteita. Tuloksista keskusteltiin hankkeen työryhmässä osallistujayritysten kanssa.

Tutkimuskohteena oli opetusrakennus, jossa tilojen käyttötarkoitukset olivat hyvin vaihtelevat ja rakennuksen geometria ja tilasijoittelu hajanainen. Hankemuoto oli KVR-urakka. Esivalmistusprosessin kokeilun ajanhetkeksi valittiin takautuvasti tarjousvaihe. Esivalmistusprosessissa (Peltokorpi ym. 2018) tämä vastaa hankesuunnitteluvaiheen ja yleissuunnitteluvaiheen ajankohtaa ja tehtäviä. Menetelmänä käytettiin työpajoja, joita järjestettiin yhteensä kolme.

Ensimmäisessä työpajassa käsiteltiin esivalmistusohjelmaa ja määritettiin mahdollisia esivalmisteen käyttökohteita sekä näihin liittyviä hyötyjä, haittoja, suunnittelurajapintoja ja hankinta-asioita. Esimerkkejä tunnistetuista esivalmisteiden käyttökohteista olivat:

- **Ilmanvaihtokonehuone, tilamoduuli**
- **Lämmönjakohuone, tilamoduuli tai tekniikkaelementit**
- **Ilmanvaihtohormit**
- **WC-tilaelementti**

- **Lavuaarielementti**
- **Aurinkopaneelit, julkisivu- tai kattoasennus**
- **Ovipieli, varusteltuna tehtaalla**

Toisessa työpajassa valittiin jatkotarkasteluun kaksi vaihtoehtoa: ilmanvaihtohormi ja ovipieli. Paikalla rakentamisen ja esivalmistamisen vertailua jatkettiin ei-rahallisten tekijöiden arvioimisella. Menetelmänä käytettiin Choosing by Advantages (CBA) menetelmää (Arroyo ym. 2020). CBA-menetelmän tavoitteena on vertailla keskenään kahta tai useampaa vaihtoehtoa erityisesti arvotekijöiden näkökulmasta, joita ei voida mitata esimerkiksi suoraan rahassa tai jollain muulla määrällisellä mittarilla. Ensin määritellään tekijät, joiden suhteen vaihtoehtojen paremmuutta arvioidaan. Tämän jälkeen arvioidaan vertailtavien vaihtoehtojen osalta jokaisen tekijän kohdalla vaihtoehdon ominaisuudet ja valitaan vaihtoehto, joka on paras arvioitavan tekijän näkökulmasta. Esimerkiksi tekijänä voi olla materiaalihukka. Tällöin esivalmistettaessa materiaalihukka on tyypillisesti pienempi kuin paikalla rakennettaessa, jolloin etu on esivalmisteella. Tämän jälkeen arvioidaan, mikä tekijä on tärkein ja annetaan tärkeimmälle tekijälle korkein pistemäärä, esim. 100, ja lopuille tekijöille annetaan pisteitä tästä alaspäin kunkin tekijän tärkeyden suhteessa. Arvotekijöiden tärkeys on tietysti subjektiivista ja tarkoituksena onkin saada mahdollisimman monta sidosryhmää mukaan arvottamaan tekijöitä. Molemmille vaihtoehdoille laadittu CBA-taulukko ja pisteytys on nähtävissä taulukoissa 1 ja 2.

CBA-analyysin jälkeen määritettiin kustannukset kummallekin vaihtoehdolle. Kustannusten määrittämisen jälkeen voidaan muodostaa nelikenttä, jossa x-akselilla on kustannukset ja y-akselilla hyötypisteet ei rahallisista tekijöistä. Molemmille vaihtoehdoille laaditut nelikentät on esitetty kuvissa 1 ja 2. Erot kustannuksissa syntyivät mm. esivalmistamiseen tarvittavassa lisäsuunnittelussa ja suorissa esivalmistuskustannuksissa. Lopputuloksena molempien tarkasteltujen esivalmistesten osalta esivalmistettu ratkaisu arvioitiin kalliimmaksi kuin paikalla rakennettu ratkaisu.

Ilmanvaihtohormin osalta suunnittelijalla ei olisi ollut tarvittavaa osaamista esivalmistussuunnitteluun ja tätä varten olisi tarvittu erillinen toimija. Toteutuksen osalta talotekniikkaurakoitsija arvioi pystyvänsä tekemään valmistuksen erillisessä hallissa, eikä erillistä valmistajaa tarvittaisi. Ovipielen osalta esivalmistaminen olisi tehty kokonaan ovitehtaassa, ja tarvittava suunnittelu valitun suunnittelijan toimesta.

Kummassakaan tapauksessa esivalmisteen käyttöön ei olisi päädytty korkeampien kustannusten takia, vaikka molemmissa tapauksissa esivalmisteen arvioitiin laadullisten tekijöiden osalta olevan ylivoimainen paikalla rakentamiseen verrattuna. Tarjousvaiheessa esivalmisteen valitseminen hankkeeseen on tarjoajan näkökulmasta ongelmallista, jos esivalmisteen käyttäminen johtaa kalliimpaan tarjoukseen.

Taulukko 1: Esivalmistettu ovipieli vs. paikalla toteutettu ovipieli

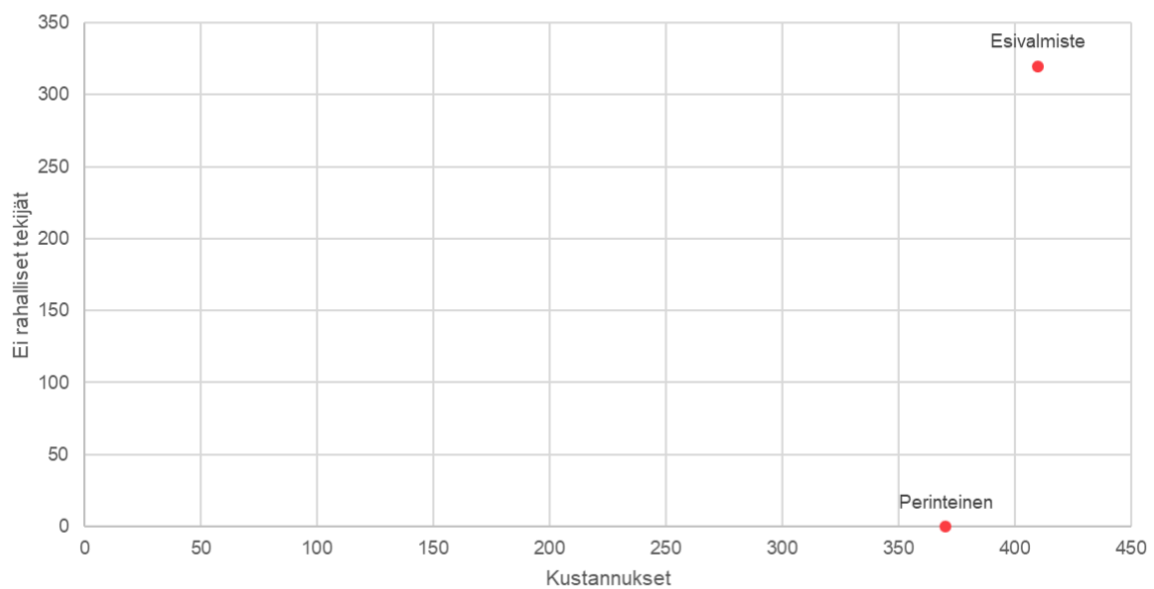
	Ovipieli varusteltu tehtaalla		Paikalla toteutettu ovipieli	
Tekijät	Ominaisuus / Etu	Tärkeys		Tärkeys
Materiaalihukka (vähemmän hukkaa on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Vioittumisriski pienenee, vaikutus hukkaan merkittävä <u>Etu:</u> Ei tule laiterikkoja	90	<u>Ominaisuus:</u> Materiaalien menekki vastaava mutta suurempi riski vioittumiselle.	
Turvallisuus (vähemmän tapaturmia on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> vähemmän työtapaturmia työmaalla, korkealla työskentely (2m) jää pois, työmaa siistimpi <u>Etu:</u> työtapaturmat vähenevät ja siirtyvät pois työmaalta	80	<u>Ominaisuus:</u> Paikalla porattavat reiät käsiporalla, osa korkealla työskennellen. Työvälineet ja materiaalit työskentelyalueen ympäristössä.	
Ergonomia (ergonomisempi on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Tasainen työskentelykorkeus, teolliset menetelmät reikien tekemiseen <u>Etu:</u> Tehdastyöskentely ergonomisempaa. Ei korkealla työskentelyä.	50	<u>Ominaisuus:</u> Korkealla työskentelyä, porausasennot epäergonomiset	
Ylläpito ja muunneltavuus (ylläpidettävämpi ja muunneltavampi ratkaisu parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Ovipieliin tulee ylimääräisiä putkituksia, jotka mahdollistavat muuntojoustavuuden <u>Etu:</u> Muunneltavampi	60	<u>Ominaisuus:</u> Ei ylimääräisiä putkituksia	
Logistiikka (vähemmän toimituksia on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Talotekniikan materiaalilogistiikka jää pois työmaalta <u>Etu:</u> Vähemmän logistiikkaa	40	<u>Ominaisuus:</u> Välivarastoinnille tarve, kun ovipieliä avataan asennusta varten	
Yhteensä		320		0

Taulukko 2: IV-pystyhormi esivalmisteena vs. paikalla rakennettuna

	IV-pystyhormi esivalmiste		Paikalla rakennettuna	
Tekijät	Ominaisuus / Etu	Tärkeys		Tärkeys
Materiaalihukka (vähemmän hukkaa on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Vähemmän hukkaa. Osat voidaan hyödyntää paremmin. Varastointi ja käsittely siistimpää. <u>Etu:</u> Vähemmän hukkaa	40	<u>Ominaisuus:</u> Hukkapätkiä, vaurioituneita kanavia. Eristeiden hukka	
Turvallisuus (vähemmän tapaturmia on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Haastavia nostoja, ylinostoja, puristumisvaara, allejäämisvaara. Putoamisvaara vaikuttaa myös ympäristöön. Riskit lyhytaikaisia. <u>Etu:</u> Lyhytaikaisemmat riskit	100	<u>Ominaisuus:</u> Kuilutyöskentely, putoamisriski. Kuilu pitkään auki. Ihmisten ja tavaroiden putoamisriski	
Ergonomia (ergonomisempi on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Mahdollisuudet ergonomisiin menetelmiin <u>Etu:</u> Työskentely kanavat vaakatasossa	60	<u>Ominaisuus:</u> Korkealla työskentely, ahtaat tilat. Erityisesti eristäminen haastavaa.	
Laatu (vähemmän laatuvirheitä ja korjauksia on parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Kannakoinnit ja eristykset onnistuvat paremmin. Kannatus teräsrakenteeseen. Vähemmän liittymiä rakennuksen rakenteisiin. <u>Etu:</u> Vähemmän virheitä	50	<u>Ominaisuus:</u> Paikalla rakentaessa kannatusratkaisu suunniteltava kohteeseen sopivaksi.	
Suunnittelun joustavuus (joustavampi ratkaisu parempi)	<u>Ominaisuus:</u> Kanavien lisääminen jälkikäteen ei ole mahdollista tai helppoa.		<u>Ominaisuus:</u> Suunnitteluratkaisua voidaan muuttaa, kunnes asennus on tehty <u>Etu:</u> Joustavampi ratkaisu	50
Logistiikka	<u>Ominaisuus:</u> Nostetaan kerralla oikealle paikalle. Esivalmisteen viemä tila vertautuu kanavien	20	<u>Ominaisuus:</u> Yksittäisten isojen kanavien	

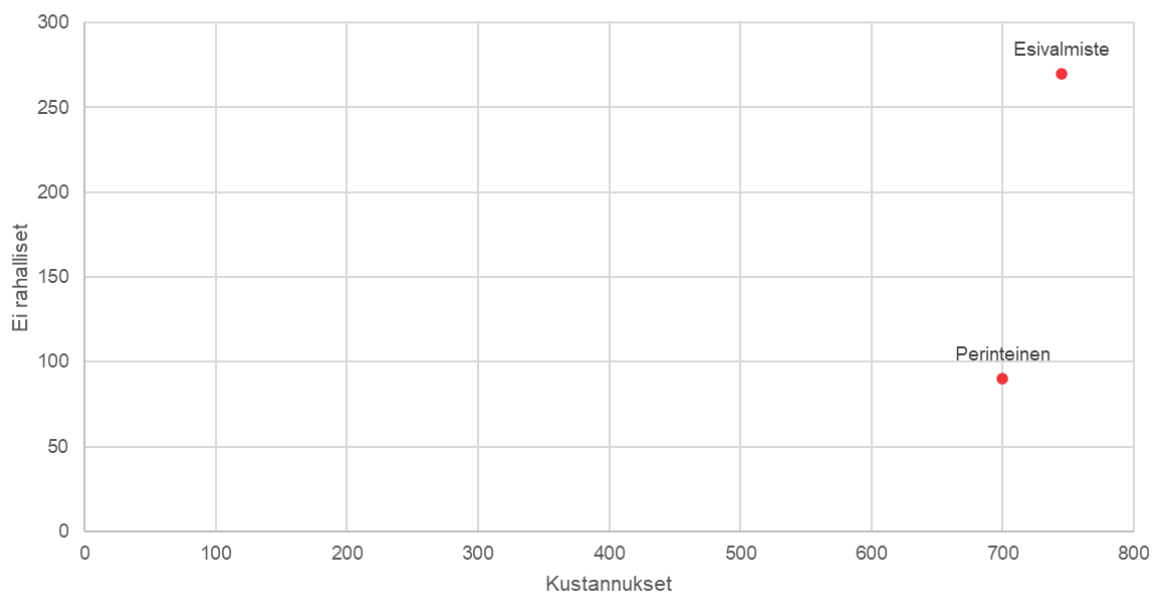
(vähemmän toimituksia on parempi)	kuljetukseen työmaalle <u>Etu:</u> kerralla valmis asennus oikealle paikalle		haalaaminen rakennuksessa hormiin.	
Suunnittelu-aikataulu	<u>Ominaisuus:</u> Suunnittelu etupainoitteisempi ja tarkempi, jopa kuukausia pidempi suunnittelu-aika.		<u>Etu:</u> Enemmän suunnittelu-aikaa ja lähtötietoja ei tarvitse lukita niin ajoissa	40
Yhteensä		270		90

Ovipieli



Kuva 1: Varustellun ovipielen kustannus vs. arvo

IV-pystyhormi



Hankkeessa oli käytössä tarjousten pisteytykseen järjestelmä, jossa arvioitiin myös laadullisia ja ympäristöllisiä tekijöitä. Kriteerit oli kuitenkin laadittu siten, että esivalmisteen käytöstä saatavat ilmeiset laatu- ja ympäristöhyödyt eivät olisi näkyneet pisteytyksessä millään tavalla. Paikalla rakentamista puolsivat myös aikataulutekijät. Esivalmistaminen olisi vaatinut normaalia tarkemmat suunnitelmat normaalia aikaisemmassa vaiheessa ja erityisesti ovipielien osalta tämä olisi johtanut suureen suunnittelun työmäärän kasvuun ovivarianttien suuren määrän takia. Tämän tarkan suunnittelun tekeminen aikataulun puitteissa olisi ollut mahdotonta, koska tilasuunnittelu oli vielä kesken.

Tuloksia arvioitaessa on huomattava lisäksi, että arviointiin osallistuneilla henkilöillä tai yrityksillä ei ollut aikaisempaa kokemusta esivalmisteen käytöstä. Tällöin kustannukset todennäköisesti arvioidaan todellista suuremmiksi ja hyödyt todellista pienemmiksi. Lisäksi ensimmäiseen kokeiluun uuden menetelmän soveltamisessa liittyy aina oppimista, jonka takia kaikki hyödyt saadaan ulosmitattua vasta, kun prosessi on viritetty muutamien käyttökertojen jälkeen.

Ensimmäisen esivalmistuskerran tyrmääminen prototyypin kalliin kustannuksen perusteella ei ole pitkällä aikavälillä kestävä ratkaisu. Kaikkiin arvioituihin ei-rahallisiin hyötyihin liittyy myös kustannuksia. Esimerkiksi materiaalihukan väheneminen, työturvallisuuden parantuminen ja logistiikan väheneminen johtavat myös kustannusten vähenemiseen. Näiden rahallisten säästöjen arvioiminen on kuitenkin hyvin vaikeaa, joten kustannuksia ei oteta huomioon arviointeja tehtäessä.

Jos esivalmistusta halutaan edistää, tarvitaan uusia menetelmiä ei-rahallisten tekijöiden rahallisen vaikutuksen arviointiin. Tutkitussa kahdessa esivalmistuksessa rahallinen ero paikalla rakennettuun oli pieni ja näiden kustannusten/säästöjen huomioiminen olisi saattanut kääntää tilanteen esivalmisteen hyödyksi. Näyttää epätodennäköiseltä, että toimijat, jotka tarkastelevat kannattavuutta projektikohtaisesti, olisivat valmiita panostamaan esivalmisteen käyttöön liittyvään kehitykseen. Toisaalta on huomattava, että kyseessä on koko alaa koskeva muutos, joka vaatii laajaa osallistumista.

Työpajoissa huomattiin lisäksi, että päätös esivalmisteen käytöstä tulee tehdä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jonka jälkeen se ohjaa myös tilasuunnittelua. Esimerkiksi kaikista rakennuksista on löydettävissä tilatyyppejä, jotka toistuvat (esim. WC), ja näiden tilojen vakiointi edesauttaa esivalmistamisen käyttämistä. Kaikkien wc-tilojen ei tarvitse olla eri näköisiä. Toisaalta keskenään erilaisissa luokahuoneissa on keskenään identtisiä elementtejä kuten vesipisteet ja lämmitys- ja jäähdytysratkaisut.

2.2 Valmistusta palveleva suunnittelu

Tällä hetkellä vallitseva käytäntö on, että suunnitelmien toteutumista arvioidaan toiminnallisten vaatimusten täyttymisellä, eli arvioidaan, toimivatko järjestelmät suunnitellulla tavalla. Tämä antaa paljon vapausasteita asennuksiin, jotka voivat poiketa merkittävästi suunnitelmista käytettyjen reittien tai osien osalta. Koska asentajat ovat perinteisesti tehneet asennussuunnittelun, taloteknisiltä suunnitelmilta ei ole edellytetty rakennettavuutta. Jos suunnittelijan tehtävänä olisi ratkaista kaikki rakennettavuusongelmat, vaikuttaisi se väistämättä suunnittelun laatuun. Esivalmistettaessa on selvää, että rakennettavuusongelmat on ratkaistava jo suunnitteluvaiheessa. Esivalmistussuunnittelua tutkittiin perehtymällä kahteen case-hankkeeseen haastatteluilla ja yhteen case-hankkeeseen havainnoimalla ja tekemällä esivalmistussuunnittelua.

2.2.1 Case-kohde: esivalmistus hotellisaneerauksessa

Case-kohteessa muutettiin 100-vuotiaan toimitilakiinteistön käyttötarkoitus hotelliksi. Hankkeessa käytettiin kylpyhuoneiden yhteyteen asennettavia taloteknisiä pystykuiluja, jotka sisälsivät käyttöveden, jäähdytyksen, viemäröinnin, keskuspyörimurin ja kytkennät vesikalusteille kylpyhuoneessa. Esivalmisteen käyttöön päädyttiin tiukan aikataulun takia. Tavoitteena oli saada aikatauluhyötyä, kun osa töistä siirrettiin pois työmaalta. Päätös tehtiin siirryttäessä toteutussuunnitteluvaiheeseen.

Esivalmisteen suunnitteli kohteen LVI-suunnittelija yhteistyössä esivalmistetoimittajan kanssa. Päävastuu suunnittelusta oli kuitenkin LVI-suunnittelijalla. Suunnittelu jakautui siten, että esivalmistetoimittaja laati yhden hormielementin mallipiirroksen, jonka perusteella LVI-suunnittelija suunnitteli kaikki hormit. LVI-suunnittelu oli viety pitkälle taloteknisten pääreittien osalta jo ennen päätöstä esivalmisteen käyttämisestä. Tämä johti merkittäviin suunnitelmamuutoksiin. Pystynousujen sijainteja muutettiin ja niihin liittyviä reikävarauksia siirrettiin. LVI-suunnittelija arvioi, että uudelleen suunnittelusta aiheutuneen lisätyön määrä oli noin 600 tuntia. Tämän lisäksi suunnittelun työmäärä kasvoi, koska suunnittelun tarkkuustaso oli perinteistä projektia korkeampi.

Jokainen kerros tarkemittattiin purkutöiden jälkeen, koska vanhassa rakennuksessa kerroskoroissa voi olla merkittäviä vaihteluita. Tarkemittausten perusteella LVI-suunnitelmat muutettiin vastaamaan mitattuja korkoja, erityisesti elementtien korkeuden osalta ja vaakaputkistojen liittymien korkojen osalta. Tämän jälkeen tiedot siirrettiin esivalmistetoimittajan tuotantojärjestelmään suunnittelijan ja toimittajan välisessä palaverissa, jossa tarvittavat mitat käytiin suullisesti läpi. Tiedot siirrettiin tuotantoon taulukkomuodossa.

LVI-urakoitsijan mukaan esivalmisteen käyttö sujui hyvin ja työvaiheita saatiin siirrettyä pois työmaalta. Esivalmistuksesta saatiin siis tavoiteltua aikatauluhyötyä mutta työmaa ei osannut arvioida todellisen hyödyn suuruutta.

Esivalmistukseen liittyi myös haasteita. Lisääntyneen suunnittelumäärän lisäksi esimerkiksi vastuukysymykset olivat haasteellisia. Viranomaisvastuu jäi LVI-urakoitsijalle, vaikka järjestelmällä oli useita toimittajia. Ongelmatapauksissa voi olla haastavaa löytää ja korjata järjestelmässä olevia vikoja.

2.2.2 Case-kohde – uusi sairaalarakennus

Toinen case-kohde oli uusi sairaalarakennus, jossa käytettiin esivalmistettuja ilmanvaihdon pystykuiluja yhdessä osassa rakennusta. Päätöstä tehtäessä esivalmistamisen hyötyjä oli arvioitu rahassa. Arviointia tehneet henkilöt totesivat, että rahallinen arviointi on haastavaa, koska esimerkiksi työturvallisuuteen liittyviä kustannuksia voi painottaa eri tavalla, joten tarkastelun lopputulokseen voi vaikuttaa.

Perustelu esivalmisteiden käytölle oli oletettu aikataulusäästö. Esivalmistusta tehtiin vaiheessa, joka on hankkeen pisin ja määrittää siten kokonaiskeston. Lyhentämällä vaiheen läpimenoaikaa voitiin lyhentää koko projektia. Esivalmistusta ei tehty toiseen rakennusvaiheeseen, koska se ei olisi vaikuttanut hankkeen kestoon. Lisäksi siihen oli saatu esivalmistajalta kalliimpi tarjous. Vaikka haastattelujen mukaan läpimenoaika oli tärkeä peruste esivalmistukselle, siitä aiheutuvaa rahallista säästöä ei ollut otettu huomioon kannattavuusarvioinnissa. Työmaan yleiskustannuksiksi arvioitiin pyydettyä n. 70 000 € / työpäivä, jolloin aikataulusäästöllä on myös merkittävä kustannusvaikutus.

Esivalmistehankintaan kuului suunnittelu valmistamista varten, kanavisto ja putkisto asennettuna paikalleen teräskehikkoon, ilmanvaihtokanavat, työmaa-aikaisen lämmityksen putkisto, kehikko, jossa mukana huoltotasot ja kaiteet kerroksittain, sääsuojaus, elementtien kuljetus työmaalle, elementtien asennus ja liittäminen toisiinsa ja painekokeet järjestelmille. Esivalmisteet asennettiin rungon pystytyksen yhteydessä. Tämän takia hankintapäätös piti tehdä aikaisessa vaiheessa ja haastateltavien mukaan liian aikaisin suhteessa taloteknisten suunnitelmien valmiustasoon.

Haastateltavat arvioivat jälkikäteen paikalla rakentamisen halvemmaksi esittämättä kuitenkaan tarkempia laskelmia. Arviossa ei otettu huomioon aikataulusäästöstä aiheutuvaa kustannussäästöä (n. 70 k€/työpäivä).

2.2.3 Case-kohde – viemärihajotukset asuinkerrostalossa

Tutkimuksessa tutustuttiin viemärihajotusten suunnitelmiin ja asennukseen asuinkerrostalotyömaalta. Kuvassa 3 on esitetty viemärihajotuksen suunnitelma tietomallissa (vasen), asentajan tekemä asennus yhdessä kerroksessa (keskellä) ja saman asentajan tekemä asennus seuraavassa kerroksessa (oikea). Kuvista on nähtävissä, että asennus ei kummassakaan tapauksessa vastaa täydellisesti suunnitelmaa, vaikka oikeanpuolisessa kuvassa käytetty reitti onkin suunnitelman mukainen.



Kuva 3. Vasemmalla viemärihajotuksen suunnitelma. Keskellä asennus yhdessä kerroksessa. Oikealla asennus seuraavassa kerroksessa.

Asentajan mukaan asennuksia ei voinut tehdä suunnitelman mukaan. Suunnitelmassa on käytetty geneerisiä osia, jotka eivät vastaa minkään valmistajan todellisia osia. Tämä johtaa siihen, että suunnitelmasta ei voi ottaa mittoja putkien katkaisua varten tai tarkkoja osalistoja tilauksia varten.

Materiaalitilausten osalta tehtiin lisäanalyysiä. Kuuden viemärihajotuksen osalta verrattiin materiaalienekkiä suunnitelman mukaiseen massalistaan. Menekit on esitetty taulukossa 3. Taulukosta nähdään että kulma- ja haaraosien osalta menekit vastaavat täysin suunnitelmaa. Eroa syntyy käytetyn suoran putken osalta sekä kokonaismäärän osalta. Putken menekistä on nähtävissä, että asentaja oli onnistunut säästämään yli kaksi metriä viemäriputkea suunnitelmasta poikkeavalla reitityksellä. Ero osien kokonaismäärässä puolestaan selittyy mallinnusteknisillä seikoilla. Käytetty suunnitteluohjelmisto ei salli kahden kulmaosan liittämistä toisiinsa ilman suoraa putkea niiden välissä. Todellisuudessa asentaja kuitenkin pyrkii tekemään suunnan muutokset aina ilman ylimääräisiä suoria osuuksia kulmien välissä. Kuvasta 4 nähdään osien tilaamiseen liittyvä ongelma, 45° kulma voi tarkoittaa kahta eri osatyyppiä, mutta suunnitelmassa osa on aina sama.

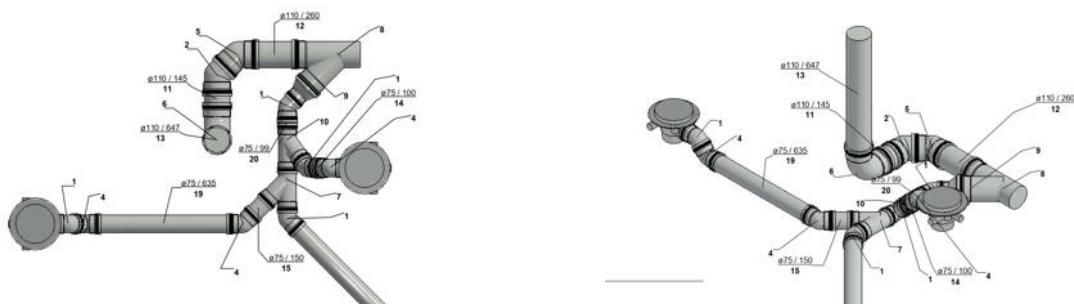
Taulukko 3: Suunnitelmasta laskettu vs. toteutunut materiaalienekki

Yhteensä 6 hajotusta	Suunnitelma	Toteuma		
Putki ø110	11760	12120	360	mm
Putki ø75	20584	17942	-2642	mm
Kulma ø75/45°	35	34	-1	kpl
Kulma ø110/45°	21	22	1	kpl
Kulma ø75/90°	4	4	0	kpl
Kulma ø110/90°	6	6	0	kpl
Haarayhde	15	15	0	kpl
Osia yhteensä	181	134	-47	kpl



Kuva 4: Useita mahdollisia osia suunnitelmassa esitettyä osaa kohden

Kuvassa 5 nähdään Revit ohjelmistolla ja laitevalmistajan lisäosalla tehty mallinnus viemärihajotuksesta. Tämä suunnitelma vastaa täydellisesti työmaalla tehtyä mittausta asennuksesta. Testin tuloksena voidaan todeta, että teknistä estettä tarkalle suunnittelulle ei ole. Esitetyn tasoinen suunnitelma mahdollistaa asennuksen suunnitelman mukaan ja siten myös esivalmistamisen.



Part List					
Ref	Item Description	Length	Catalogue Code	EAN Code	Count
1	Wafix HT/PP Kulmayhde 75x45°	0 mm	2487065	5708525151089	4
2	Wafix HT/PP Kulmayhde 110x45°	0 mm	2487066	5708525151096	1
3	Wafix HT/PP Kulmayhde pyör. 75x88.5°	0 mm	2487070	5708525322540	1
4	Wafix HT/PP Muhvikulma 75x45°	0 mm	2487077	5708525235383	4
5	Wafix HT/PP Muhvikulma 110x45°	0 mm	2487078	5708525168964	1
6	Wafix HT/PP Muhvikulma pyör. 110x88.5°	0 mm	2487082	5708525322373	1
7	Wafix HT/PP Haarayhde 75/75x45°	0 mm	2487090	5708525151232	1
8	Wafix HT/PP Haarayhde 110/110x45°	0 mm	2487093	5708525151263	1
9	Wafix HT/PP Supistusyhte 110/75	0 mm	2487107	5708525151744	1
10	Wafix HT/PP Muhvihaara 75/75x45°	0 mm	2487128	5708525410452	1
11	Wafix HT/PP Muhviton putki 110 x 6000	145 mm	2487057	5708525150204	1
12	Wafix HT/PP Muhviton putki 110 x 6000	260 mm	2487057	5708525150204	1
13	Wafix HT/PP Muhviton putki 110 x 6000	647 mm	2487057	5708525150204	1
14	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	100 mm	2487055	5708525150181	1
15	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	150 mm	2487055	5708525150181	1
16	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	1800 mm	2487055	5708525150181	1
17	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	2345 mm	2487055	5708525150181	1
18	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	500 mm	2487055	5708525150181	1
19	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	635 mm	2487055	5708525150181	1
20	Wafix HT/PP Muhviton putki 75 x 4000	99 mm	2487055	5708525150181	1

Kuva 5: Toteutus- ja esivalmistuskelpoinen suunnitelma viemärihajotuksista osaluetteloiin

Nykykäytännöstä, jossa suunnitelmien noudattamista ei valvota, aiheutuu ongelmia. Kuvassa 6 on esitetty viemäriasennus, joka on jouduttu piikkaamaan auki ja rakentamaan uudestaan. Viemäripisteiden virheellinen sijainti johtui virheellisesti mitatuista seinien paikoista holvilla. Tämä johti viemäripisteiden virheelliseen sijaantiin. Jos suunnitelman noudattamista olisi vaadittu, olisi ongelma noussut esille jo asennusvaiheessa, koska viemäripisteiden paikat eivät olisi täsmänneet suunniteltuihin sijainteihin käyttäen suunniteltuja osia.



Kuva 6: Viemäriasennuksen uudelleen tekemistä liian myöhään havaitun mittavirheen takia

Esivalmistettaessa suunnitelman noudattaminen on ehdottoman tärkeää ja siksi suunnitelmien rakennettavuus on esivalmistuksen edellytys. Esivalmistussuunnittelu toimii vain, jos sopimuksissa on vaatimus käyttää pelkästään suunniteltuja osia. Tällöin pitää suunnitella kaikki, mikä halutaan asennettavaksi. Suunnittelu ja asennus voidaan tehdä erittäin tarkasti olemassa olevilla menetelmillä. Millintarkan esivalmisteen asentamisesta rakennukseen koituu kuitenkin ongelmia, koska useimmiten runkomateriaalina on käytetty

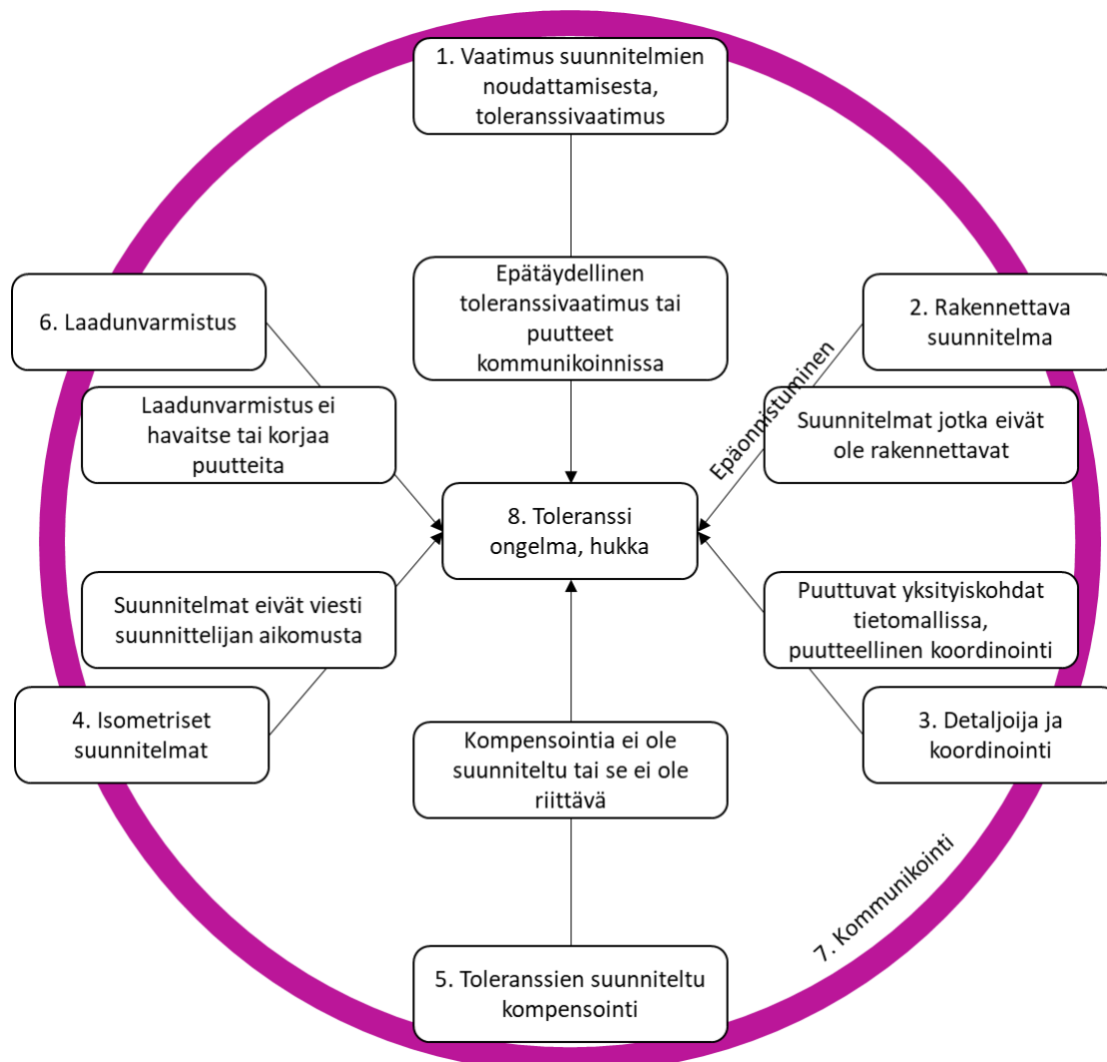
betonia ja betonirakentamisen toleranssit voivat olla kymmeniä millimetrejä. Toleranssien hallinta nousee tärkeään rooliin.

2.2.4 Toleranssien hallinta

Toleranssien hallinta nousi esille keskeisenä kehityskohteenä esivalmistukseen liittyvässä suunnittelussa ja asennuksessa. Tyypillisesti suunnitelmissa esitetään tarkkoja mitta-arvoja esimerkiksi laitteiden sijainnille tai koolle. Tosiasiassa asentaminen tarkasti suunniteltuun paikkaan ei ole mahdollista. Erityisesti ihmisten tekemään työhön liittyy vaihtelua.

Tälle vaihtelulle asetettu suurin sallittu arvo on toleranssivaatimus. Toleranssiongelmaalla tarkoitetaan toteutunutta vaihtelua, joka ylittää sallitun toleranssin. Esimerkiksi asennetun laitteen sijainti ei vastaa annettua asennuspaikkaa ylittäen suurimman sallitun poikkeaman. Toleranssinhallinnalla tarkoitetaan keinoja, joilla varmistetaan toleranssivaatimuksissa pysyminen ja siten pyritään estämään toleranssiongelmien synty.

Case-kohteista tehtyjen havaintojen perusteella hankkeessa tehtiin esitys toleranssinhallinnasta talotekniikan esivalmistuksessa. Nämä havainnot on esitetty kuvassa 7.



Ensimmäisenä tulee asettaa toleranssivaatimus eli miten tarkasti suunnitelmia tulee noudattaa. Toleranssivaatimus voi olla esimerkiksi, että tietomallia tulee noudattaa reittien ja komponenttien osalta. Myöhempien epäselvyyksien välttämiseksi on suositeltavaa tehdä yksiselitteiset määrätykset siitä, miten suuria toleransseja sallitaan ($\pm$ mm). Ajallisesti vaatimusten määrittely tulee tehdä ennen mallinnuksen aloittamista. Toleranssivaatimuksen asettamisesta seuraa vaatimus suunnitelmien rakennettavuudesta (2). Jos suunnitelma ei ole rakennettavissa, ei sen noudattamista voida vaatia.

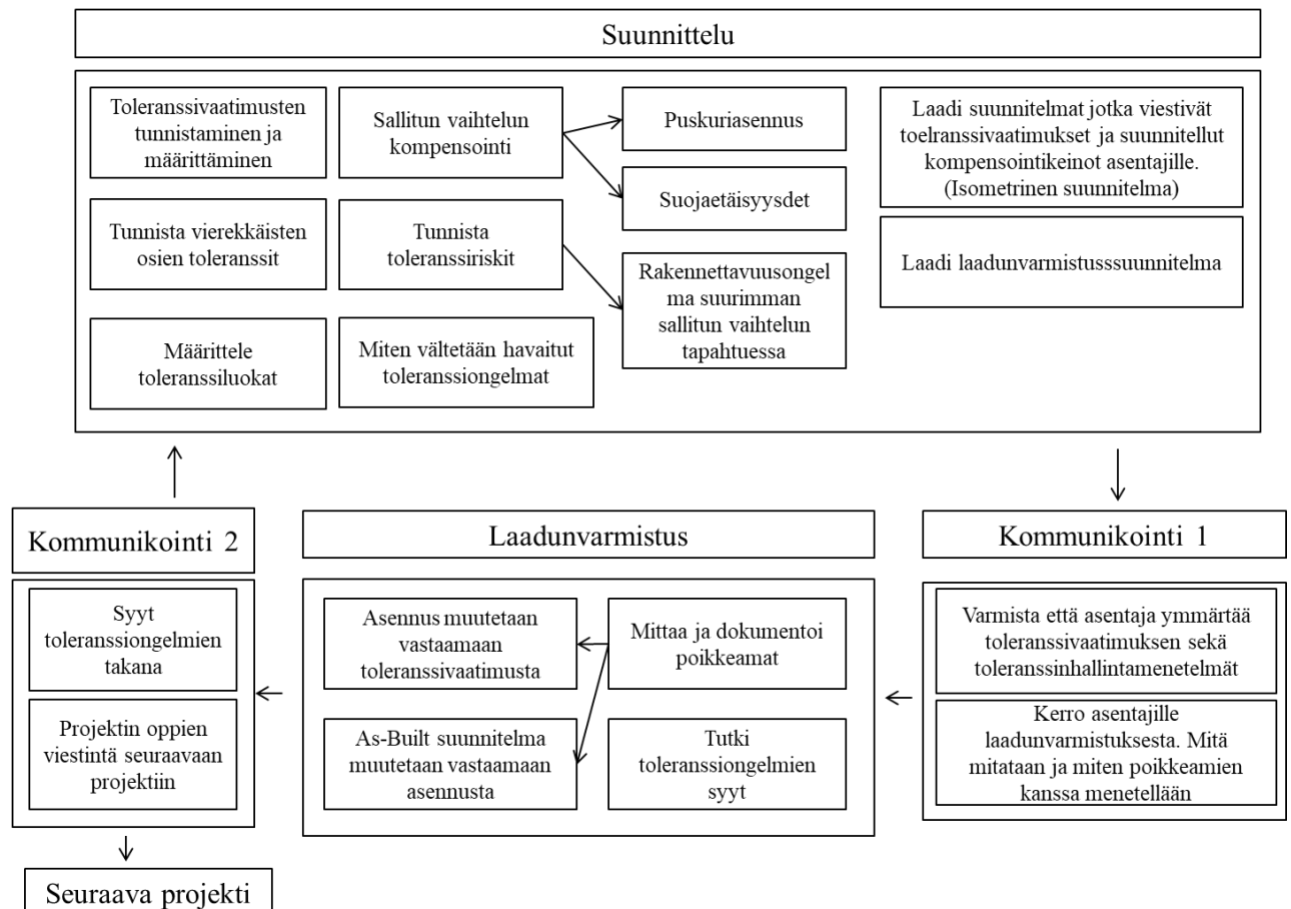
Rakennettavuuden vaatimuksesta seuraa tarve oikeiden valmistajakohteisten osien käyttämiselle, yksityiskohtaiselle mallintamiselle (esim. kannakkeet), ja tarkalle suunnitelmien yhteensovitukselle (3). Useissa tapauksissa suunnitelmien tarkkuustason kasvattaminen johtaa erillisen detaljoijan tarpeeseen. Detaljoija on henkilö, jolla on tietoa rakentamisesta ja siten kyky arvioida paremmin menetelmiä ja rakennettavuutta. Jos projekteihin liitetään detaljoija, tulee uudelleen arvioida LVI-suunnittelun toimitussisältö. Detaljoija voi tehdä mallinnuksen huomattavasti epätarkemmilla lähtötiedoilla kuin tällä hetkellä tuotetaan toteutus-suunnitteluvaiheessa. Tämän rajapinnan sopiminen poistaa hukkaa suunnittelusta, kun tuplatyötä jää pois.

Ehdotonta tarkkuutta ei voi edellyttää kaikkialla. Vaikka tate-esivalmisteet olisivat millintarkkoja, ei niiden asentaminen tarkasti rakennukseen onnistu betonirakentamisen huomattavasti suurempien toleranssien takia. Tämä aiheuttaa tarpeen kompensoida/absorboida toleranssieroja. Betonirakentamisessa esimerkki tällaisesta toleranssinhallintakeinosta on ontelolaatoista ladotussa välipohjassa. Ontelolaattoja ei mitoiteta täyttämään koko alaa, vaan johonkin kohtaan jää paikalla valettava kaistale, jolla toleranssit kompensoidaan. Talotekniikka-asennuksissa vaihtelua pitää kompensoida x, y, ja z -suunnissa. Kompensoinnin voi tehdä esimerkiksi puskurielementeillä, jotka valmistetaan vasta tarkemittauksen jälkeen. Toinen vaihtoehto kompensointiin ovat riittävät suojaetäisyydet.

Toleranssienhallinta vaatii jatkuvaa laadunvalvontaa. Tarkemmittauksia pitäisi tehdä huomattavasti nykyistä laajemmin esimerkiksi laserkeilausta hyödyntämällä. Koska ehdotonta tarkkuutta ei voi edellyttää, on valvottava toleranssivaatimuksien toteutumista. Jos toleranssivaatimus ei toteudu, on selvítettävä, onko edullisempaa päivittää suunnitelmia vai vaatia asennusta uudelleen tehtäväksi. Jatkuvasti on varmistettava, että suunniteltu toleranssien kompensointiratkaisu on riittävä.

Kuvassa 8 on esitetty kokonaisvaltainen ajattelumalli toleranssien hallintaan. Suunnitteluvaiheessa määritetään toleranssivaatimukset ja tunnistetaan toleranssiriskit sekä suunnitellaan sallitun vaihtelun kompensointi. Suunnitelmien pitäisi sisältää toleranssivaatimukset ja suunnitellut kompensointikeinot ja myös laadunvarmistussuunnitelma. Viestintä asentajille on tärkeää. On varmistettava, että jokainen

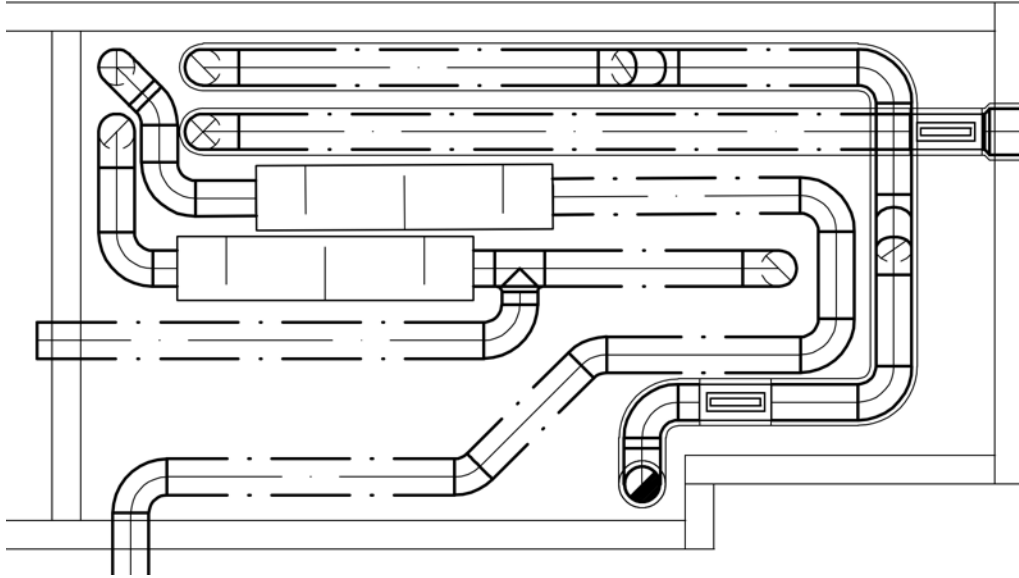
asentaja ymmärtää toleranssivaatimukset ja toleranssihallinnan menetelmät. Laadunvarmistusvaiheessa poikkeamat mitataan ja dokumentoidaan ja valitaan keinot poikkeamien hallintaan. Lopuksi pitäisi oppia jäljelle jääneiden toleranssiongelmien juurisista ja myös viestiä opit tukeviin hankkeisiin.



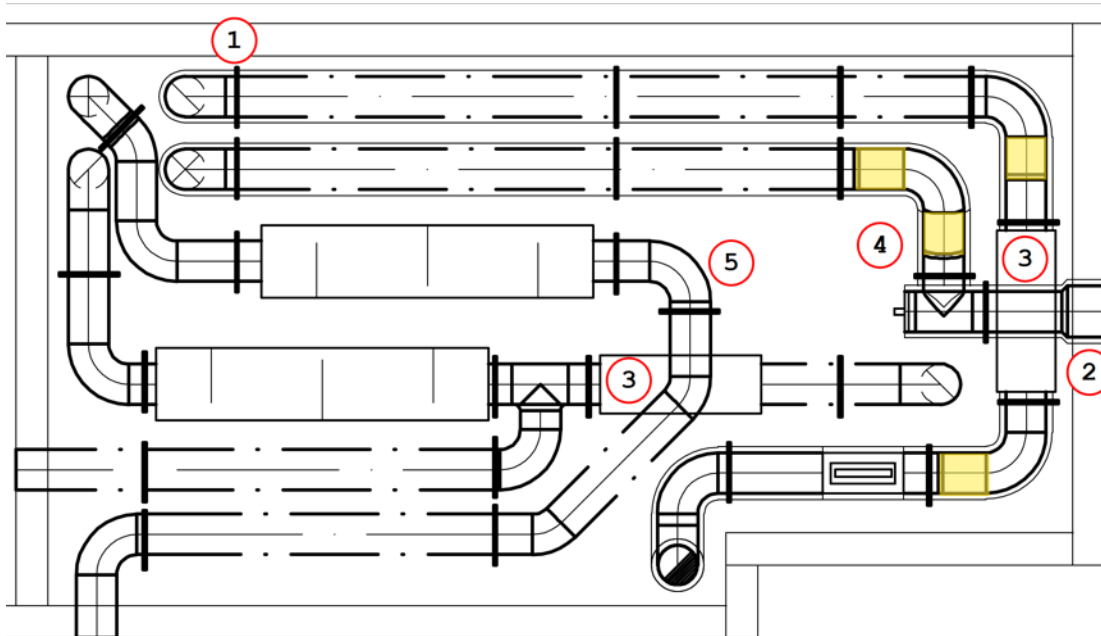
Kuva 8: Systemaattinen toleranssien hallinnan malli (perustuu Talebi ym. 2020).

2.2.5 Esimerkki toleranssien hallinnasta suunnittelussa

Toleranssien hallintaa suunnittelussa voidaan havainnollistaa esimerkin avulla. Kuvassa 9 on esitetty perinteinen IV-suunnitelma. Suunnitelmasta puuttuvat mm. kannakkeet ja toleranssien kompensointi. Kuvassa 10 on otettu huomioon nämä asiat. Kannakoinnit on lisätty (1), reititykset on muutettu asennuskelpoiseksi siirtämällä raitisilmasäleikköä (2) ja lisäämällä alitusosia, jotta asennukset mahtuvat alakattokorkoon (3). Keltaisilla kanavien sisällä olevilla liitososilla kompensoidaan vaihtelut, jotka voivat aiheutua esimerkiksi raitisilmasäleikön läpiviennin vaihtelusta.



Kuva 9: Perinteinen toteutussuunnitelma



Kuva 10: Toteutuskelpoinen toteutussuunnitelma, jossa on käytetty oikeita osia ja toleranssien kompensointi on näytetty.

2.3 Tarkemman suunnittelun työmäärä

Tarkemman suunnittelun työmäärää arvioitiin kuvitteellisella tarjouspyyntömateriaalilla, jolla pyydettiin konsortion suunnittelijoilta tarjouksia. Hankkeena oli kuvitteellinen 3-kerroksinen toimistorakennus ja kysyttiin tunti-arvioita tarkemman suunnittelun osalta. Tarkemmassa suunnittelussa työsisältö oli kannakointiratkaisun suunnittelu ja mallintaminen ja kannakoinnin aiheuttamien törmäysten ratkaisu. Taulukon 4 ykkösvaihtoehdossa

mallinnettiin tietomalliin tietyn toimittajan kannakkeet mutta ei tehty varsinaista kannakointisuunnittelua, jossa arvioidaan myös kantavuutta. Kakkosvaihtoehdossa myös kannakointisuunnittelu oli mukana. Pelkkä yleistason tilavarausobjektien käyttö olisi vielä ykkösvalintoetta huomattavasti nopeampaa. Taulukon tiedot perustuvat rajalliseen määrään vastauksia, joten yleistettäviä johtopäätöksiä ei hankkeessa saatu. Työmääräarviot ovat kuitenkin varsin kohtuullisia.

Taulukko 4: Aika-arviot kolmikerroksiseen toimistorakennukseen. Vaihtoehto 1) sisältää valitun toimittajan kannakkeiden mallintamisen ja vaihtoehto 2) myös varsinaisen kannakointisuunnittelun.

	1	2
LVI-järjestelmien kannakointisuunnittelu	55 h	175 h
LVI-järjestelmien lisäyhteensovittaminen	40 h	30 h
Sähköjärjestelmien kannakointisuunnittelu	7 h	20 h
Sähköjärjestelmien lisäyhteensovittaminen	7 h	10 h

Esivalmistuspäätöksen tekeminen sen jälkeen, kun suunnittelu on jo pitkällä paljastui suunnittelun osalta kalliiksi ratkaisuksi. Hormiesivalmisteen lisääminen case-kohteeseen, jonka LVIA-suunnittelu oli alun perin 270 000 EUR, johti 20 000 EUR lisäkustannukseen (7% alkuperäisestä), kun kannakointi lisättiin hankkeeseen jälkikäteen ja tehtiin uusi yhteensovitus. ”Turhia” tunteja tuli 400-600 suunnittelijan arvion mukaan.

3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa tutustuttiin case-hankkeisiin, joissa esivalmistussuunnittelua oli tehty ja lisäksi tehtiin esivalmistustason suunnittelua yhdessä hankkeessa. Esivalmistussuunnitelmat oli tehty markkinoilta hankittavissa olevilla yleisessä käytössä olevilla ohjelmistoilla. Toisin sanoen johtopäätöksenä voidaan todeta, että esivalmistussuunnittelussa ei ole teknisiä ongelmia, vaan nykytyökaluilla voidaan tuottaa toteutuskelpoiset ja esivalmistuskelpoiset suunnitelmat. Haasteet ovat enemmän lisäsuunnittelun kustannuksissa, joita esimerkiksi suunnitteluautomaatio voi jatkossa huomattavasti alentaa. On selvitettävä, kenen olisi järkevintä tehdä esivalmistussuunnittelua ja miten sille löydetään maksaja.

Tietomallien yhteensovitus nykyisellä tarkkuustasolla ei riitä toteutettavuuteen, vaan tarkkuustasoa on lisättävä. Hankkeen löydöksiä perusteella erityisesti kannakointisuunnittelu ainakin tilavarauksien osalta ja suunnittelu oikeilla osilla pitäisi lisätä suunnittelulaajuuteen. Kaikki tilaa vievät elementit pitäisi mallintaa vähintään tilavarauksena. Kuten aiemmissa tutkimuksissa on todettu, tarkkuustason kasvattaminen ja tarkempi yhteensovitus voisi johtaa merkittävään tuottavuusloikkaan jopa ilman esivalmistusta. Tarvittaviin lisätuntimääriin emme saaneet tässä hankkeessa riittävän kattavia tuloksia mutta puhutaan ainakin 10 % lisäsatsauksesta suunnitteluun jo pelkästään kannakoinnin osalta.

Hankkeessa nostettiin esille toleranssien hallinnan merkitys. Toistaiseksi toleranssien hallinta on jäänyt vähälle huomiolle talotekniikan osalta. Suunnitteluvaiheessa pitäisi asettaa toleranssivaatimukset ja myös suunnitella toleranssien kompensointi esimerkiksi puskurielementeillä tai suojaetäisyyksillä. Puskurielementtinä voi toimia esimerkiksi tarkemittauksen jälkeen tehtävä esivalmiste tai sisäliittimellä jatkettavat osat. Suojaetäisyyksillä voidaan varautua esimerkiksi betonirungon epätarkkuuteen. Suunnittelun lisäksi tarvitaan tarkempaa valvontaa. Toleranssivaatimuksen ylittävät poikkeamat pitäisi joko korjata työmaalla tai päivittää suunnitelmiin tapauskohtaisen harkinnan perusteella. Tarkempi toleranssien hallinta ja toleranssien huomioon ottaminen myös suunnittelussa on edellytys esivalmistusasteen lisäämiselle. Toleranssien hallintaan liittyvää tutkimusta jatketaan Building 2030 -konsortion seuraavan vuoden teollisen rakentamisen tutkimushankkeessa.

Lähdeluettelo

Arroyo, P. (2020). Choosing by advantages and collaborative decision-making. In: Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M. & Koskela, L (eds.). *Lean Construction. Core Concepts and New Frontiers*. Routledge: Oxon, UK and New York.

Peltokorpi A., Lavikka, R., Kokko, L. & Seppänen, O. (2018). *Talotekniikan esivalmistus: esteet, mahdollistajat ja prosessi. Visio 2030 Teollinen rakentaminen -osahankkeen loppuraportti 9/2017-8/2018*. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennustekniikan laitos.

Peltokorpi, A., Lavikka, R. & Chauhan, K. (2019). *Esivalmistuksen vaikutusten arviointi. Building 2030 Esivalmistuksen pilotointi -osahankkeen loppuraportti 9/2018-8/2019*. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennustekniikan laitos.

Seppänen, O., Valkonen, T., Abou-Ibrahim, F. & Lindberg, A. (2022). *Building 2030: Esivalmistusta tukeva suunnitteluautomaatio. Loppuraportti*. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennustekniikan laitos.

Seppänen, O., & Görsch, C. (2022). Decreasing Waste in Mechanical, Electrical and Plumbing work. *Proceedings of the 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 84-94. doi.org/10.24928/2022/0111

Talebi, S., Koskela, L., Tzortzopoulos, P., & Kagioglou, M. (2020). Tolerance management in construction: A conceptual framework. *Sustainability*, 12(3), 1039.