



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Behre Aslan

Talotekniikan esivalmisteiden tarkas- telu rakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

20.4.2020

Tekijä Otsikko	Behre Aslan Talotekniikan esivalmisteiden tarkastelu rakentamisessa
Sivumäärä Aika	36 sivua 20.04.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-urakointi
Ohjaajat	ohjaava opettaja Aamos Lemström talotekniikka-asiantuntija Reima Vainio talotekniikkapäällikkö Petri Konttila
<p>Rakentamisen tuotantoa on pyritty pitkään parantamaan eri keinoilla. Betoni- ja telakkateollisuudesta tuttua esivalmistuotantomallia pidetään alalla korvaavana ratkaisuna paikalla rakentamisen sijaan. Suomessa nykyään iso osa rakennusten betonia osista tuotetaan kyseisellä tuotantomallilla. Talotekniikan osalta tilanne on kuitenkin toisin, kun muualla maailmassa jopa merkittävä osa LVIS-järjestelmistä tuotetaan esivalmiina.</p> <p>Talotekniikan rakentaminen rakennushankkeessa on pitkään tehty perinteisellä tavalla, eli kokonaisuutta on rakennettu yleensä pienillä osilla samoja menetelmiä käyttäen. Lisäksi tutkimusten mukaan LVI-asentajan työstä vain pieni osa on arvoa tuottavaa työtä, kun suurempi osa työajasta häviää taustatekemisten parissa. Nämä syyt yhdessä vielä kiristynyt markkina kilpailu ja lyhentyneet projektien läpimenoajat pakottavat etsimään uusia kustannustehokkaita menetelmiä talotekniikan rakentamiseen.</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli edistää toimeksiantajan talotekniikan tuotantoa tutkimalla esivalmistava tuotantomallia käytännön pilottikohteen tarkastelulla, jossa hyödynnettiin korkean tason tate-esivalmisteita. Tutkimustyö koostui pääosin kyseisten esivalmisteiden työmaan aikaisen toteutuksen seurannalla ja sitä kautta saatujen tulosten analyysillä.</p> <p>Tate-esivalmisteiden hankinta pidettiin hankkeessa onnistuneena siitä huolimatta, ettei kaikkia hyötyjä saavutettu täysin. Tämän työn tavoitetuloksiin päästiin, kun jo yhden rakennuskohteen tarkastelussa todettiin esivalmisteiden usea haaste, joihin saatiin paljon kehitysideoita. Työn tuloksilta syntyneet kehitysosat ovat tärkeitä ja helpottavat tulevaisuudessa muiden rakennushankkeiden vastaavissa hankinnoissa.</p>	
Avainsanat	esivalmistus, teollinen rakentaminen, modulaarisuus

Author Title	Behre Aslan Prefabrication in Building Services Engineering
Number of Pages Date	36 pages 20 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Contracting
Instructors	Aamos Lemström, Senior Lecturer Reima Vainio, Building Services Specialist Petri Konttila, MEP Manager
<p>The aim of this bachelor's thesis was to advance the commissioning company's building services production by studying a prefabricated production model., a method not commonly used in building services projects. This was done by reviewing a pilot project that used a high-level prefabrication in the building services engineering. The study consisted of monitoring the prefabrication and the execution on particular worksites. Finally, the results were analysed</p> <p>The building services prefabrication procurement were considered to be successful, even though all the expected benefits were not accomplished. The objective of this thesis was achieved as the study of one construction project helped to discover the challenges of the prefabrication method and yielded several ideas for improvement. The improvement ideas that came from the results are vital for the future development in the company, as well as the procurement of other building projects.</p>	
Keywords	prefabrication, modular construction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet	1
1.3	Työn rajaus	2
1.4	Toimeksiantajan esittely	2
2	Esivalmistus	3
2.1	Esivalmistuksen historia	3
2.2	Modulaarisuus	4
2.2.1	Moduuli	4
2.2.2	Standardointi	4
3	Talotekniikan esivalmisteet	5
3.1	Tuoteluokittelu	7
3.2	Hyödyt	8
3.3	Haasteet	12
4	Tutkimusmenetelmä	14
5	TATE-esivalmisteet pilottikohteessa	15
5.1	Suunnittelu	16
5.2	Urakkaraja	17
5.3	Tate-käytäväelementti	19
5.3.1	Toimitus ja asennus	21
5.3.2	Tate-käytäväelementin arviointi	24
5.4	Energiamoduuli	26
5.4.1	Toimitus ja asennus	28
5.4.2	Energiamoduulin arviointi	30
5.5	Tuotantomallien vertailu	31
6	Päätelmät ja toimenpide-ehdotukset	32

7 Yhteenveto

34

Lähteet

35

Lyhenteet

Cu	kupari
DN-koko	nimellinen halkaisija millimetreissä
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
IU	ilmanvaihtourakoitsija
LJK	lämmönjakokeskus
LVISSPR	lämpö, vesi, ilma, sähkö, sprinkleri
PU	putkiurakoitsija
RAU	rakennusautomaatiourakoitsija
TATE	talotekniikka

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Rakennusliikkeet pyrkivät jatkuvasti parantamaan tuotantonsa pysyäkseen kilpailukykyisinä. Suomessa asian merkitys on korostunut entiseltään, kun on eletty viime vuosina rakentamisen volyymin huippuja. Korkean volyymin taustasyitä on monta, kuten talouden kasvu, muuttoliikkeet kantakaupunkeihin harva alueilta, suuret kaupunkikehityshankkeet, kestävä kehitystoimenpiteet sekä ikääntyneen rakennuskannan saneeraamisen tarve. Alalta on todettu myös muita haasteita, kuten kovan kilpailun myötä entisestään kiristyneet projektiakataulut sekä tekijäpulaa.

Esivalmistus on rakentamisen tuotantoa parantava teollinen ratkaisu. Suomessa esivalmiit betoniosat ovat pitkään olleet vakioituja ratkaisuja rakentamisessa. Nykyään suuri osa betonirakenteista tuotetaan esivalmistettuna perinteisen paikalla rakentamisen sijaan. Talotekniikan tilanne on kuitenkin toisin siitä huolimatta, että tuoteratkaisut ovat olleet kasvussa. Markkinoille on ilmestynyt paljon erilaisia potentiaalisia talotekniikan esivalmiita ratkaisuja. Näiden osuus talotekniikan rakentamisessa on ollut kuitenkin hyvin vähäistä jopa marginaalista verrattuna muihin maihin, joissa esivalmiiden ratkaisujen käyttö talotekniikan rakentamisessa on ollut pitkään hyvin yleistä.

Insinööriyön tarve on syntynyt talotekniikkaosaston ja sen esimiehen talotekniikkapäällikkö Petri Konttilan toimesta sekä henkilökohtaisesta kiinnostuksesta aiheeseen. Työssä tutkin insinööriyön aiheen puitteissa toimeksiantajan omaperusteiseen pilottihankkeen, jossa hyödynnetään talotekniikan korkealuokan esivalmiita ratkaisuja.

1.2 Työn tavoitteet

Insinööriyön tavoitteena on syventää omaa osaamista aiheesta työ pois työmaalta tuotantomallin talotekniikan rakentamisen näkökulmasta. Lisäksi tavoitteena on kartoittaa pilottihankkeen tuotannossa käytettyjen esivalmiiden tuotteiden onnistumisia ja kehitettäviä kohtia.

Tarkoitus on saada mahdollisimman paljon hyviä tuloksia pilotoinneilla. Tärkeimpänä tavoitteena on edistää insinööriyön tuloksilla rakentamisen tuotantoa erittäin potentiaalliseksi todetun tuotantomallin jalkauttamisella osaksi toimeksiantajan talotekniikan tuotannon prosessia.

1.3 Työn rajaus

Työssä tarkastelu tehdään pääosin talotekniikan esivalmistuotteiden näkökulmasta. Työssä käytännön kohteen tarkastelu aiheen puitteissa koskee vain yhtä hanketta. Vantaalla sijaitseva varasto- ja toimistokohde on toimeksiantajan pilottihanke, jossa hyödynnetään talotekniikan esivalmisteita. Kohteen esivalmisteet ovat osana talotekniikan LVIAS ja sprinklerijärjestelmiä. Näiden järjestelmien tarkastelu tehdään pääosin esivalmisteiden sisällön puitteissa. Näiden esivalmistettujen tuotteiden seuranta ja tutkimus koskee työmaa-aikaista tapahtunutta tuotantoa eikä tuotevalmistajan omaa tehdastuotantoa. Talotekniikan esivalmisteita pyritään käsittelemään kokonaisuutena ja yleisellä tasolla insinööriyön laajuuden luonteen takia.

1.4 Toimeksiantajan esittely

Insinööriyön toimeksiantajana on YIT Suomi Oy, pääkaupunkiseudun toimitilarakentamisen yksikön talotekniikkaosasto. Vuonna 2018 fuusioitumisen myötä toisen entisen suuren rakennusalan yritykseen Lemminkäinen Oy:n kanssa YIT:stä tuli Suomen suurin rakennusalan yritys. [20.]

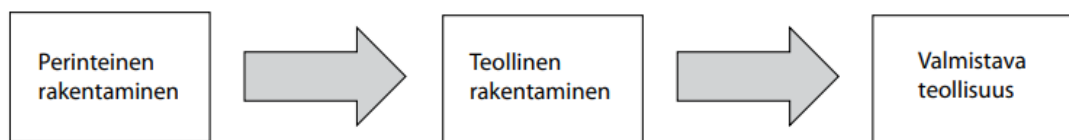
Yli 100 vuotta vanha yritys on perustettu vuonna 1912. Yritys toimii myös kansainvälisesti mm. Pohjoismaissa, Baltian maissa, Venäjällä ja CEE-maissa (Slovakia, Tšekki ja Puola). YIT:n liiketoiminnat koostuvat asunto, toimitila, päällystys- ja infra rakentamisesta sekä kiinteistöt toimialasta. Vuonna 2020 YIT:n päällystysliiketoiminta kaikissa toimintamaissa Venäjällä lukuun ottamatta myytiin rakennusalan yritykselle Peab Oy:lle. [20.]

YIT:llä on työntekijöitä n.10 000 yhteensä kaikissa toimimaissa. YIT:n liikevaihto vuonna 2019 oli n.3,4 miljardia euroa, josta liikevoittoa oli 165 miljoona euroa. Yrityksellä on

useita merkittäviä hankkeita lähivuosilta kuten Suomen 100-vuotisitsenäisyyden juhla-hankkeeksi valittu Helsingin Keskustakirjasto Oodi sekä Helsingin Pasilaan rakennettu pohjoismaiden suurin kauppakeskus Mall of Tripla. YIT on lyhenne sanoista Yleinen insinööritoimisto. [20.]

2 Esivalmistus

Esivalmistuksella tarkoitetaan rakennushankkeen ulkopuolella tehdasolosuhteissa valmistettuja rakenneosia. Tehdasolosuhteissa valmistetut rakenneosat siirretään työmaalle lopullista käyttöä varten. Teollisella rakentamisen mallilla pyritään tehostamaan sekä parantamaan rakennushankkeen tuotantoa [1, s. 2]. Tätä tuotantomallia pidetään parhaimpina keinoina parantaa rakentamisen tuotantoa [2, s. 1]. Tämän rakentamisenmallin ihanteellinen ääripää on tuottaa rakennukset vakioiduin menetelmiin perustuvaan valmistavan teollisuuden avulla (kuva 1). Tuotantomalli perustuu sen ennalta arvattujen systemaattisilla tuotantoprosesseilla saavutettaviin potentiaalisin hyötyihin. Perinteisen rakentamisen mallin luonteesta johtuvien hajanaisten työvaiheiden keskittäminen hallinnallisiin vakioituihin menetelmiin sekä tuotantoympäristöön tekee valmistavasta teollisuudesta potentiaalisen korvaajan. Esivalmistuksen liittyvä tärkeä aihe on modulaarisuus. [2]



Kuva 1. Rakentamisen tuotantomallin muutoksen suunta [2].

2.1 Esivalmistuksen historia

Esivalmistettujen osien käyttö ulottuu noin vuoteen 1600, jolloin kolonialismin takia siirtomaihin tarvittiin nopeasti rakennuksia [3, s. 12]. Maailmalla teollinen rakentaminen on hyvin edennyt, kuten esim. Singaporessa valtion vaatimuksena on asuntotuotannosta 70 % tuotettava moduuleina. Australiassa, Iso-Britanniassa ja Yhdysvalloissa merkittävä

osuus LVIS- järjestelmien rakentamisessa tuotetaan teollisella ratkaisulla [4, s. 22]. Suomessa teollinen rakentaminen alkoi vuonna 1929 betonituoteteollisuuden myötä, jolloin valmistettiin esim. kaivonrenkaita, putkia sekä muita kevytbetonituotteita. Betonielementtien käyttö rakennuksissa alkoi vasta vuoden 1940 jälkeen [5, s. 8]. Telakkateollisuudessa esivalmistusten käyttö alkoi 1970-luvulla laivanrakennuksessa, ja myöhemmin käyttö yleistyi 1980-luvulla. Nykypäivänä esivalmistus koskee koko tuotantoprosessia laivarakentamisessa [6, s. 4]. Nykyisin rakennuksissa esivalmisteiden käyttö Suomessa on hyvin yleistä runko- ja julkisivuvaiheissa, kun taas talotekniikan rakentamisen osalta käyttö on alkumetreillään [4, s. 22].

2.2 Modulaarisuus

Rakentamisessa modulaarisuudella tarkoitetaan joukko-osista koottua itsenäistä kokonaisuutta. Näitä yhdistämällä voidaan päästä haluttuun lopputulokseen. Näiden osien liittämisen keskeinen tekijä on standardoidut ja yksinkertaistetut rajapinnat moduulien välillä. Modulaarisuus antaa mahdollisuuden suunnitella ja tuottaa kokonaisuuksia massatuotteina mikä sitten taas voi nopeuttaa sekä parantaa tuotteen suunnittelua ja tuotantoa. Modulaarisuuden toista ääripäätä kuvaa paikalla rakentaminen. Modulaarisuudella voidaan nostaa rakentamisen esivalmistusasteisuutta. [7.]

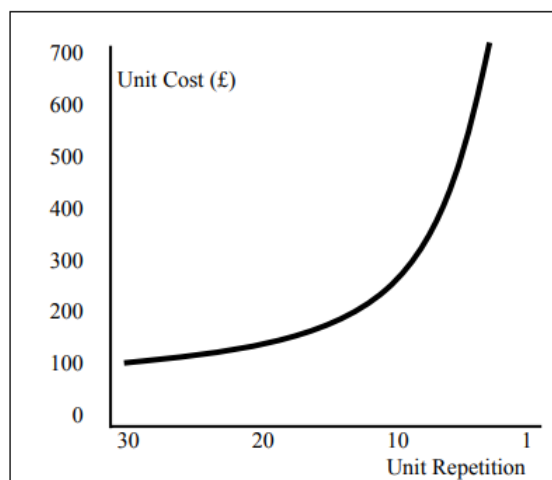
2.2.1 Moduuli

Moduuli on korkealuokkinen esivalmistettu yksittäistä tilaa muodostava elementti, joka liitetään osaksi rakennusta. Moduuli on modulaarisuusjärjestelmän keskiössä. Yleensä moduulit valmistetaan tehdasolosuhteissa rakennustyömaan ulkopuolella. Tilamoduuleita on eri käyttötarkoituksiin, esim. leikkaussaliin, kylpyhuoneisiin, konehuoneisiin, ja ne voivat sisältää kaikki kalusteet sekä tekniikan. Moduulit liitetään toisiinsa ennalta määritetyillä rajapinnoilla yhteen muodostamaan osaksi kokonaisuutta. [7].

2.2.2 Standardointi

Standardointi voidaan määritellä toistuvien tapauksien vakioiduksi yhdenmukaiseksi ratkaisuksi [9]. Standardoinnilla määritellään jonkin tahon tai laitoksen toimesta, miten asiat

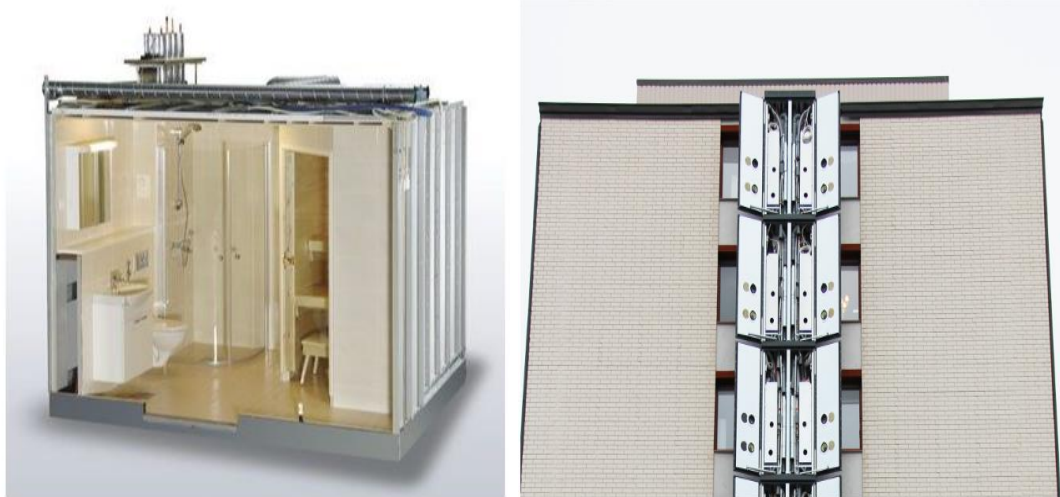
tulisi tehdä. Toimintojen vakiointi on suuressa roolissa valmistavan teollisuuden filosofiassa, eikä esivalmistuksen tuomia hyötyjä huippuja ole mahdollista saavuttaa ilman tätä. Standardoinnilla on siis mahdollisuus saavuttaa esivalmistusmallin huippusorituskykyä. Tuotteen tai prosessin standardointi keskittää näille vakioituja lakeja, toistuvuutta ja sääntöä mikä tuo mukanaan selkeätä hallinnollisuutta sekä ennustavuutta. Standardoinnin vastakkaisella puolella on tuotteen tai prosessin joustavuuden heikentyminen. Rakennusprojektien uniikki luonteisuus sisältää kuitenkin paljon toistuvuutta, joita voidaan tehokkaasti tuottaa vakoiduilla esivalmistus menetelmillä. [2.] Kuvassa 2 on havainnollistettu esivalmistetun betonielementtituotteen kustannukset, kun sitä tuotetaan toistuvien määriin.



Kuva 2. Esivalmistetun betonielementin kustannusvaihtelu toistuvalla tuotannolla [14].

3 Talotekniikan esivalmisteet

Talotekniikan esivalmisteet ovat tehdasolosuhteissa valmistettuja tuoteratkaisuja. Rakennushankkeen ulkopuolella luotettavat tuotanto-olosuhteet mahdollistavat testatun ja laadukkaamman lopputuloksen tuotteille. Tuotteita on nykyään markkinoilta monitarkoituksiin. Ratkaisuja on saatavilla pienistä läpivientikappeleista suuriin tilamoduuleihin (kuva 3), joissa tilan kaikki talotekniset osat voivat olla valmiiksi integroituna.



Kuva 3. Vasemmalla tuoteluokan 1 kylpyhuonemoduuli Parmerine Oy:ltä. Oikealla Pilaster Oy:n pystykuluelementti rakennuksen ulkopuolelle asennettuna.

Talotekniikan esivalmistetuotteiden toimittajat ovat olleet menestyksellisiä viime vuosina. Tuotekuvastot ovat entistä laajemmat näiden toimittajien myötä. Laajentunut toimittajaverkosto ja entistä monipuolisemmat tuoteratkaisut vastaavat paremmin tuotannon tarpeisiin. Kuvassa 4 on tuoteluokitteluna joukko Suomen markkinoilta saatavia talotekniikan esivalmistettuja tuoteratkaisuja sekä näiden toimittajia. Samassa kuvassa on myös esitetty näiden tuotteiden saatavuus talotekniikan LVI-S-SPR-järjestelmäajitasoilla. [15.]

Esivalmiste	LVI	S	SPR	Valmistaja
1. Tilamoduulit				
Kerrososaelementti/suurelementti	x	x	x	Lehto, Lapwall, Lipsanen
Kylpyhuonemoduulit	x	x		Fira Modules, Parmarine
Konehuoneet	x	x		Fläkt, Moduls, Lehto
Leikkaussalit	x	x		Inoroom
2. Tekniset tilaosat				
Alakattolevyjen tate (esim. valaisin ja savuilmaisin asennettuna)	x	x	x	
Tekniikkaseinäelementit (mm. keittiö, potilashuone)	X	x	x	Parma, Metos
Lattiaelementit ja asennuslattiat	X	x	X	Parma, kv. toimijoita
Käytäväelementti (+ katot + otsat)	X	x	x	Moduls, Silotek, Caverion
Pystykuiluelementit (mm. Elpo)	X	x	x	Rudus
Kantavat kattoelementit	X		x	Lapwall, Lehto
3. Talotekniikan keskus-, siirto-, ja pääteosat			x	
LVI-pystykuiluelementit	X		x	Silotek
VJK/LJK konehuoneosat	X			Danfoss
Yhteiskannakointijärjestelmät	X	x	x	Hilti, Wurth
Toimistokattoelementit + jäähdytys	x	x	x	Caverion, ARE, Itula
IV-koneet pumpuryhmillä	X			Koja, Recair
Johtosarjat		x		Octopus
Jakotukikaappi	X			Itula, Uponor, Nereus
Putkistot (esim. BIM-mallista, yksilöidyt numerot)	X		x	SIHY, Gebwell
Moduulikohtaiset toimituserät (esim. pesuallaspaketti, johtosarjat, jakotukit)	x	x		
Esiasennettavat tarvikkeet (vesimittarit, jakotukit)	x			
4. Tate-yhteensovittaminen muihin osiin				
Vesikaton läpiviennit	x			SK-tuote (Vilpe)
Väliseinä/välipohja rei'itys	x		x	Sewatek
Käytäväläpiviennit	x		x	

Kuva 4. Talotekniikan esivalmisteet ja toimittajat [15].

3.1 Tuoteluokittelu

Talotekniikan esivalmistetuille tuoteratkaisuille ei ole määrättyä yhtenäistä vakituista luokittelua. Tuoteluokka kuvaa esivalmisteen laajuutta. Tuotteiden toteutus- ja suunnitteluprosessit riippuvat niiden laajuudesta. Esivalmistettu pieni läpivientituote on selvästi helpompi ottaa mukaan hankkeeseen kuin tilamoduuli, jossa prosessit ovat hankalammat ja monimutkaisemmat. [1, s. 4.]

Taulukko 1. Talotekniikan esivalmisteiden tuoteluokittelu [muokattu 1].

Luokka 1	Tilamoduulit	Eri käyttötarkoituksin valmistetut tilaelementtikokonaisuudet. Valmiit tilaelementit liitetään osaksi rakennusta esim. kylpyhuonemoduulit, konehuoneet.
Luokka 2	Tekniset tilaosat	Valmiiksi talotekniikkaan integroidut rakenneosat esim. käytäväelementit, pystykuiluelementit.
Luokka 3	Keskus-, siirto- ja pääteosat	Rakennuksen tai toisiinsa liitettävät tuotteena vakioidut ratkaisut. Ryhmään kuuluvat esim. yhteiskannakointijärjestelmät, LVI-pystykuiluelementit, jakotukikaapit ja sähköjakelun jakokeskukset.
Luokka 4	Yhteensovittaminen muihin rakennusosiin	Tekniikan läpivientikappaleet esim. vesikatkon läpivientikappaleet.

Taulukossa 1 on esitetty Visio 2030 -tutkimuksen mukainen luokitus taloteknisille esivalmistetuotteille. Luokituksen kategoriointi on tehty tuoteryhmittäin. Lisäksi taulukossa on nämä tuoteluokat selostettu käyttötarkoituksiltaan. Tuoteluokka vaikuttaa tuotteen suunnittelun ja toteutuksen. Tuoteluokka kuvaa myös tuotteen modulaarisuusastetta. Karkeasti ajateltuna tuoteluokan laskiessa pienemmäksi kasvaa modulaarisuuden taso ja sen myötä rakennuksen esivalmistusaste.

3.2 Hyödyt

Esivalmistetuotantomallilla rakentamista voidaan nopeuttaa ja rakennushankkeen läpivientiä on mahdollista lyhentää huomattavasti. Perinteisen paikalla rakentamisen sijaan tehdasolosuhteissa korkeammalle tasolle esivalmistetut rakennusosat ja tätä myötä vähenevät työmaan työvaiheet nopeuttavat rakentamisen aikataulua (kuva 5). Esivalmistetuotteilla saavutettava tärkein tuotannollinen hyöty on lyhyempi rakentamisen aikataulu. [12.] Aikataulun merkitys on suuri nykypäivänä rakennushankkeessa. Viivästykset voivat tuoda merkittäviä haittoja, kun rakentamisen tiivisaikataulu sallii hyvin vähän virheitä ja viivästyksiä. [10.] Ennakointi ja riskienhallinta rakennuksen tuotannosta sen koko elinkaaren aikana voivat parantua huomattavasti tätä menetelmää käyttäen [8]. Teollisella

tuotannolla on mahdollista saavuttaa aikataulusäästöjen lisäksi muita merkittäviä hyötyjä rakennushakkeessa, kuten

- tuotannon tehokkuus ja hukkatyön minimointi
- laatu ja laadunhallinta
- paikallisen työvoima tarpeen vähentyminen
- työturvallisuus
- materiaali- ja ympäristötehokkuus [7, s. 18].



Kuva 5. Esivalmistetuotanto mallin myötä saavutettava aikataulusäästö hankkeen läpimenoaikaan [19].

Rakennustyömaalla tuottavuuden yhtenä suurena ongelmana on hukkatyön määrä. Esivalmistamalla voidaan työtä tehostaa huomattavasti. Tutkimusten mukaan ammattimiehen vain 30 % työajasta on arvoa tuottavaa työtä. Suomessa esim. putkimiehen työaika muodostuu seuraavasti:

- varsinainen putkityö 30 %
- tauot sekä odotus tai häiriöt 30 %
- materiaalin haalaus työpisteelle 35 %

- muut työt esim. siivous yms. 5 %. [13, s. 9].

Systemaattiset toimintatavat sekä vakioidut ja helpotetut olosuhteet suovat jatkuvan häiriöttömän tehokkaan tuotantoon tehdasolosuhteissa. Näissä olosuhteissa tuotanto on huomattavasti vähemmän häiriöille altis, kuin työmaalla minimoidaan hukkatyön määrä. Lisäksi näin voidaan merkittävästi vaikuttaa rakennushankkeessa syntyvään materiaalihukkaan, jolla on myös suoraan vaikutus tuotettuun jätteeseen. Työmaalla jätettä voi syntyä monestakin syystä, kuten hukan varalle tilattu isompi määrä tai asennusvirheistä johtuva materiaalihukka. Saavutetuilla materiaali- ja jättesäästöillä on suoraan vaikutusta parempaan ympäristötehokkuuteen. [12.]

”Standardisoimattomat prosessit ja tuotteet aiheuttavat suuren määrän erilaista hukkaa ja jätettä – ei pelkästään pitkiä läpimenoaikoja, turhia varastoja, huonoa laatua, vaan myös lopputuloksen ”ennustamattomuutta” (16, s. 114.)

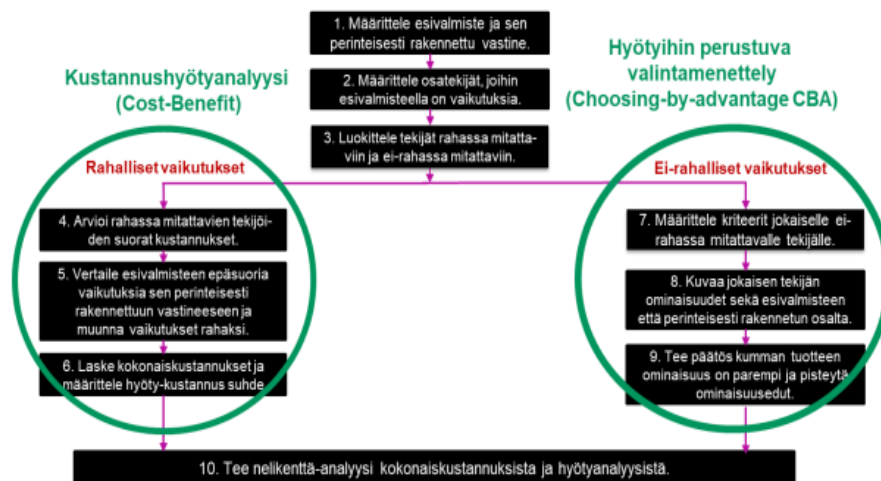
Useiden lähteiden mukaan rakentamisen laatua ja sen hallintaa voidaan parantaa teollisella tuotannolla. Työmaalla rakennusolosuhteet ovat haasteellisia ja säästä riippuvaisia. Suomessa nopeasti muuttuvat sääolosuhteet ja kylmät ja pitkät talvet sekä pitkäkestoinen hämäräisyys korostavat tehdastuotannon merkitystä. Ulkoisista sääolosuhteista riippumatta tuotantolaitoksissa vakioidut sisäolosuhteet sallivat jatkuvaa tasaista laadukasta tuotantoa ympäri vuoden. [10; 11.]

Työturvallisuus on työnantajalle moraalinen ja lakisäättäinen velvoite. Rakennusalan yhteinen nolla-tapaturmataajuustavoite on haastava ottaen rakentamisen kompleksisuuden huomioon. [16.] Useiden lähteiden mukaan esivalmistaminen on merkittävästi työturvallisuutta parantava tekijä. Syynä ovat teollisen mallin vähäisimmät riskitekijät, kun esim. telineissä tai ahtaissa paikoissa työskentelyn tarve vähenee huomattavasti. Tehdasolosuhteissa riskienhallinta on todennäköisempi ja esivalmisteiden myötä saavutettu lyhyempi rakennusaika tarkoittaa vähemmän työvoimaa ja näin työtapaturmien määrä mahdollisesti vähenee. Onnistuneen työturvallisuuden kautta vältetyt tapaturmat ja sairauspoissaolot tuovat myös työnantajalle rahallisia hyötyjä. Lisäksi vähentyneen työvoiman myötä tarve paikalliseen työvoimaan vähenee [1; 12.]

Hyötyjen määrittely

Mitatessa esivalmisteiden hyötyvaikutusta on rakenneosien kustannusten vertailun sijasta huomioitava kaikki yleis- ja aikakustannukset sekä muut ns. piilevät hyödyt. Esituotanto ei ole välttämättä hankintakustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto kuin paikalla rakennettuna. [11.] Kustannustarkastelu on tehtävä laajasti ja monesta mittarista, mm. rakennusajan lyhenemisellä on mahdollisuutta säästää esim. mahdollisissa korkokuluissa (12). Esivalmistuksen Building 2030 -pilotointitutkimuksen mukaan ei ole vielä kehitetty menetelmää, jolla on mahdollisuutta mitata esituotannon vaikutuksia useaan rakennusprojektiin. Eikä esituotannolle ole alalla yhtenäistä sovittua menetelmä, jolla voi saavutettavia hyötyjä mitata tai määrittellä. Tutkimuksessa kuitenkin kehitettiin esituotannon eri tekijöiden vaikutusten mittaamismenetelmä (kuva 6). Mittaamismenetelmä koostui kahdesta aikaisemmasta menetelmästä [11]:

- Kustannushyötyanalyysi (Cost- Benefit): Suoraan rahalla mitattavat tekijät. Sellaiset rahamääräksi muutettavat vaikutukset, kuin aika ja materiaalihävikki.
- Hyötyihin perustuva valintamenettely (Choosing-by-Advantage CBA): Muut ei-rahalla mitattavat hyötytekijät. Menetelmän tulostekijät ovat apuna esivalmisteiden käyttöön päätöksentekoon.



Kuva 6. Building 2030 -tutkimuksessa kehitetty mittaamismenetelmä [11].

Osapuolilla ei ole riittävä tietoa tai vakituista menetelmää mitata esivalmistuotannon todellisia hyötyjä. Esituotannolla kustannussäästöjä tulee suoraan rahassa mitattavista vaikutuksista, mutta myös suuria säästöjä tulee rahalla mittaamattomilla tekijöillä. Piilevistä hyödyistä aiheutuu vääränlainen analyysi kustannustarkastelussa, jonka seurauksena usein pidetään esituotettuja osia kalliimpana kuin perinteisesti paikalla tuotettuna. [1; 11.]

3.3 Haasteet

Esivalmistetuotannon haasteita on useita. Suomessa on rakentaminen hyvin perinteistä ja muutokset ovat hitaita mm. LVI-asennus on pitkään toteutettu pääosin pienistä osa komponenteista ja tähän tapaan on totuttu. Osapuolilta ja varsinkin hankintaa päätöstä päättäviltä tilaaja tai pääurakoitsijalta puuttuu kokemusta sekä referenssejä. Esituotannon ajallinen hyöty ei riitä tilaajalle tai pääurakoitsijalle yksinään eivätkä esituotannon kaikki hyödyt ole suoranaisesti todettavissa mikä vaikuttaa näin heidän päätöksenteoonsa. [17.] Pääurakoitsijan on vaikea reagoida esituotantoon, kun heitä yleensä valitaan liian myöhään hankkeeseen vasta, kun suunnittelu on vietyä jo pitkälle tilaajan toimesta. Lisäksi haastetta tuo yleensä pääurakoitsijalle aliurakoitsijoiden projektikeskeinen toimintamalli. Huomion otettavana haasteena on myös vastuujako niissä rakennusprojekteissa, joissa esivalmisteita hyödynnetään. Tuotannonaikaiset sekä käytönotonjälkeiset vastuut on määriteltävä hyvin tarkasti. [1.]

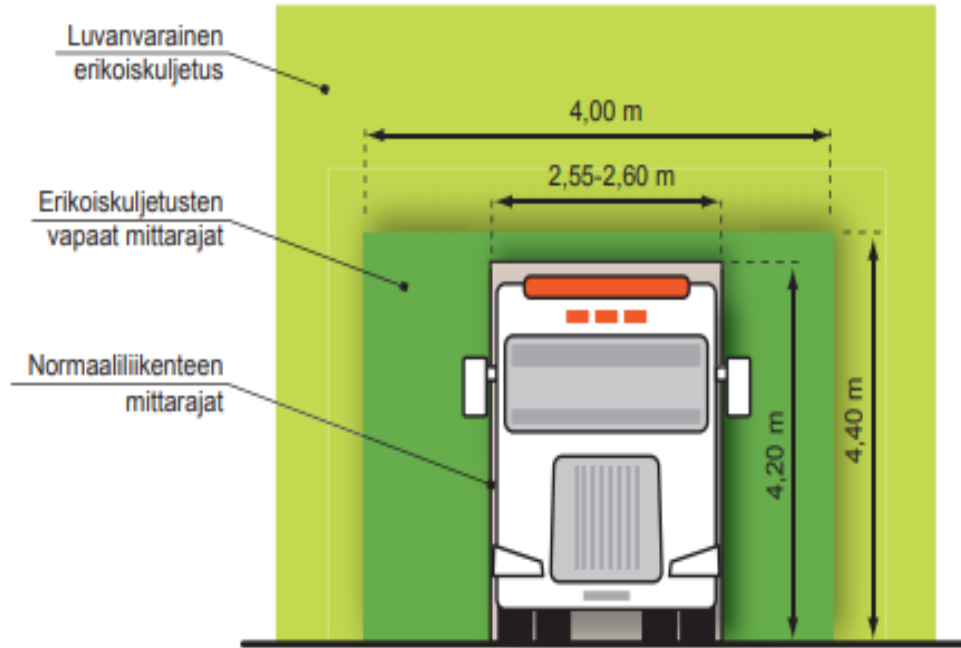
Talotekniikan urakoitsijalla toistuvat samat esteet kuin pääurakoitsijalla, kun tulevat valituksi liian myöhäisessä vaiheessa. Esituotantomalli on heille vierasta ja sisältää näin heidän näkökulmastaan riskiä. Myöskään työehtosopimukset eivät joustava tarpeeksi esivalmiiden asennusten puolesta. Täte-urakoitsijan perinteinen liiketoimintamalli pohjautuu minimaalisiin hankintakustannuksiin sekä toimii materiaaleihin ja työsuoritukseen perustuen. Esivalmistajien puolesta markkinakysynät ovat matalat. Vaikka on monia esivalmistajia, niin esituotantomallin yleistymisen tarvitse tiivistä tilaajan sekä pääurakoitsijan saamista mukaan. [1.]

Osapuolille yhteinen haaste on esivalmisteita varten aikaisin lukittavat suunnitelmat. Esivalmisteiden tehokkaan käytön kannalta on suunnitelmat vietävä aikaisessa vaiheessa pitkälle ja lukittava ne. Esivalmisteiden muuntojoustavuusalttius on hyvin heikkoa sen

jälkeen, kun tuotteiden tuotantoa on viety eteenpäin. Muutokset tässä vaiheessa ovat yleensä hankalia ja ne voivat vaikuttaa kustannuksiin sekä aikatauluun merkittävästi. Kohteen suunnittelu on aloitettava esivalmisteita huomioiden heti hankesuunnittelun alettua ja esivalmisteet tarvitsevat yksityiskohtaista-suunnittelua yleensä hankkeen kailta suunnittelijoilta tiiviissä yhteistyössä. Suunnitelmat on tehtävä detalji tasolla monia rajapintoja huomioiden. Suomessa tähän suunnittelukulttuurin ei ole totuttu, eikä tämän tason osaamista ole. Lisäksi suunnittelijoiden ajallinen panostus hankkeessa on rajallista nykysuunnittelusopimuksilla, eivätkä ne riitä esivalmistustason suunnittelutarpeisiin. [1.]

Kuljetus

Esivalmisteiden logistiikka on huomioon otettava haaste esivalmisteiden käytössä. Suurempien esivalmisteiden, kuten tuoteluokkien 1 ja 2.kanssa logistiikka voi olla rajoittava tekijänä fyysisten mittojen määrittelyssä. Suuremmat tuotteet on suunniteltava kuljetusten mittarajoja huomioiden [7.] Suomessa kuljetusta rajoittaa tieliikennelaki. Tieliikenne-laissa sallittuja mitta- tai massarajoja (kuva 7) ylittävä kuorma on erikoiskuljetus. Luvanvaraisten erikoiskuljetusten järjestely on hankalampaa ja vaatii ennakointia. Suomessa Ahvenanmaata lukuun ottamatta luvan myöntää Pirkanmaan ELY-keskus. [18.] Erikoiskuljetukset nostavat kustannuksia, jotka voivat olla paikoin hyvin merkittäviä. Esivalmisteiden, varsinkin suurempien tilamoduulien logistiikka, tehtaalta sen lopullisen asennuspaikkaan on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa eikä toisin. [1, s. 6.]



Kuva 7. Erikoiskuljetusten mitat [18].

4 Tutkimusmenetelmä

Kyseessä on toimeksiantajan pilottikohde, jossa olen ollut mukana tutkimustyötä tekevässä insinööriyön aiheen puitteissa. Tehtäväni hankkeessa oli talotekniikan esivalmisteen tuotantoa seuraten kartoittaa niissä onnistumisia ja kehitettäviä kohtia.

Tutkimuksessa esittelen kohteen tuotteiden rakennetta sekä sisältöä ja käsittelen näiden talotekniikan esivalmisteen toteutuksen eri vaiheita. Tutkimustyö alkaa kohde-esityksellä, minkä jälkeen käsittelen tuotteiden suunnitteluvaihetta tuoden niistä oleellisia puolia esille. Tämän jälkeen käsittelen tuotteiden hankintojen osalta tärkeänä kohtana hankintojen urakkarajoja sekä myös osittain sopimusteknisiä puolia. Viimeinen käsittelyvaihe sisältää tuotteiden logistiikka- ja asennustyön seuranta kohti lopullista paikkaansa osaksi rakennusta.

Tutkimustyö suoritetaan monin tavoin. Tutkimustyötä varten tarkastellaan kohteen asiakirjoja kuten toteutussuunnitelmia sekä hankintasopimuksia. Tuotannon seuranta

toteutuu kohdekäynneillä. Käyntejä pyrittiin tekemään esivalmisteita liittyvien työvaiheiden aikana. Kohdekäyntien lisäksi osallistuin kohteen esivalmisteisiin liittyviin tilaisuuksiin. Työn kannalta yksi tärkeä tilaisuus oli talotekniikan esivalmisteille pidetty kohteen työmaaorganisaation sisäinen arviointipalaveri. Tutkimusta varten haastateltiin yhtä henkilöä. Vapaamuotoinen haastattelu toteutettiin etänä puhelimitse, ja tästä otettiin muistutpanoja talteen. Haastattelusta saatiin paljon näkökulmia tutkimusta varten. Tavoiteltu haastattelumäärä ei kuitenkaan tutkimuksessa päästy. Suuri haastattelumäärä olisi vahvistanut tutkimustyön laatua.

5 TATE-esivalmisteet pilottikohteessa

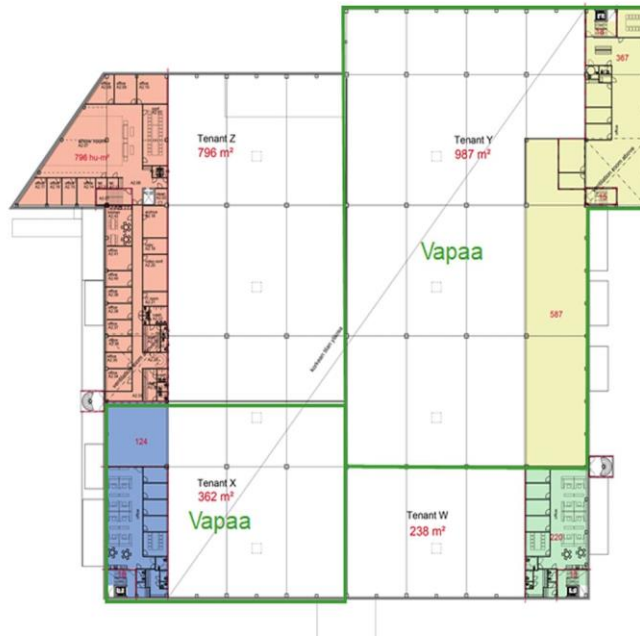
Kohde

Vantaalla sijaitseva varasto- ja toimistorakennus on toimeksiantajan omaperusteinen hanke. Hankeen nimi on K3 Logistics West (kuva 8). Toimeksiantajalla on ollut samalla alueella useampia vastaavia hankkeita. Hanke koostuu yhdestä rakennuksesta, ja siinä on kaksi kerrosta. 1. kerroksessa on toimisto, myymälä ja suureksi osaksi varastotiloja. 2. kerroksessa on toimistotiloja parveilla. Kohteen laajuus on n. 11 300 m², ja se valmistuu kesäkuussa vuonna 2020.



Kuva 8. Havainnekuva valmiista kohteesta

Kohteessa käytetyt talotekniset esivalmisteet on sijoitettu vastakkaisille puolille 2. kerroksessa. Kuvan 9 oikealla puolella ovat tilamoduulit lämmönjakokeskus sekä sähkönousukeskus vierekkäin, ja vastakkaisen puolen Z-alueen parvella on tate-käytäväelementit.



Kuva 9. Pohjakuva kohteen 2. kerroksesta

5.1 Suunnittelu

Kohteen esivalmisteet otettiin suunnittelun alusta jo huomioon kaikilta suunnittelijoilta. Suunnittelu eteni esivalmisteiden kohdalla suunnittelijoiden, tuotetoimittajan sekä rakennuttajan yhteistyöllä. Esim. elementtien tukirakenteiden suunnittelu tehtiin rakennesuunnittelijan toimesta. Toimittaja toteutti esivalmisteiden kokonpanon kohteen valmiiden suunnitelmien ja leikkauksien pohjalta. Toimittajan suunnitteluun kuului vain käytäväelementtien tekniikan kannakointi teräs-runkoristikoon. Lisäksi esivalmisteiden toimittaja laatii omat työsuunnitelmat asennusta varten.

Kohteen talotekniikan suunnitteluohjauksesta vastannut talotekniikkapäällikkö Petri Konttilan mukaan suunnittelijat ottivat esivalmisteet mukaan kohteen suunnittelussa

huolestunein tuntein vastaan. Konttilan mukaan vaikeinta oli selkeyttää suunnittelijoille mitä ollaan tekemässä, kun detaljitason suunnittelua tarvittiin aikaisessa vaiheessa jo ennen kohteen toteutusvaihetta. Perinteisessä suunnittelussa tämä tehdään toteutuksen edistymisen mukana ja siihen on totuttu, eikä aikaisessa detaljitason suunnittelusta suunnittelijoilla kokemusta, millä on taas iso merkitys esivalmisteiden käytössä. Konttilan mukaan esivalmisteiden mukaanoton vaikutukset suunnittelukustannuksiin eivät olleet merkittävät.

Tate-käytäväelementtien viimehetkiset suunnittelumuutokset aiheuttivat huomattavia viiveitä toimituksessa. Tästä syystä elementtien toteutustapaa jouduttiin muuttamaan, mistä aiheutui haasteita työmaalla. Alun perin avonaiselta vesikatolta paikalle asennettavaksi suunniteltua elementti toteutusta jouduttiin muuttamaan. Suunnittelumuutos koski elementtien runkorakennetta. Runkorakennetta jouduttiin vahvistamaan kantavaksi rakenteeksi, jonka varalle tuettiin välikattoa. Tämän suunnitelmamuutoksen tultua esille elementtien tuotanto oli jo pitkällä. Muutosten vaikutus käytäväelementtien toimituksen aikatauluun sekä kustannuksiin olivat merkittäviä. Energiamoduulin suunnittelun osalta alun perin oli ajatus toteuttaa lämmönjakokeskus sekä sähköpääkeskus samassa moduulissa. Paikallinen energialaitos ei hyväksynyt, että sähköpääkeskus sijoitettaisiin moduulin nykyiselle paikalle 2. kerrokseen näin ollen sähköpääkeskuksen tilalle suunniteltiin nousukeskus ja sähköpääkeskus siirrettiin 1.kerrokseen. Moduulin nousukeskus yhdistettiin sähköpääkeskukseen kiskosillalla.

5.2 Urakkaraja

Esivalmisteet hankittiin eri sopimuksilla. Käytäväelementtien hankinta tehtiin aliurakka-sopimuksella, kun elementtitoimitus sisälsi myös asennustyön tuotetoimittajalta. Energiamoduulihankinta tehtiin hankintasopimuksella. Energiamoduulin toimitukseen kuului sen kuljetus työmaalle ja nostotyöt paikalle, kuitenkin nostoa varten kalusto ja nostokehikko tuotiin tilaajan toimesta. Petri Konttilan mukaan urakka- ja toimitusrajojen tarkka määrittely on avaintekijöitä, kun esivalmisteita halutaan hyödyntää hankkeessa. On myös pohdittava urakka- ja toimitusten jälkeinen vastuu näiden osalta. Kohteen tate-esivalmisteiden urakkarajat on määriteltyä seuraavasti:

Tate-käytäväelementit

- Lämmitys ja jäähdytyksessä urakkarajana ovat säteilijöiden venttiilit ja elementistä ulos tulevat putket. Kohteen putkiurakoitsija toimittaa venttiilit ja tekee liitoksen käytäväelementistä ulos tuleviin putkiin. Liitoskohdan eristys kuuluu PU:lle. PU vastaa elementissä olevista lämmitys ja jäähdytysputkista. PU:lle kuuluu myös näiden täyttö, ilmaus, koeponnistus sekä verkoston säätötyön tasapainotus.
- Ilmanvaihtokanavissa urakkarajana on käytäväelementistä ulos tulevat kanavat. Elementtien otsien päätelaitteet kuuluvat kohteen ilmavaihtourakoitsijalle. IU vastaa myös elementissä olevista kanavista, ja ne koeponnistetaan tarvittaessa. Elementtien sisäisten kanavien säädöt kuuluvat IU:lle.
- Rakennusautomaatiolaitteet ja niiden asennus kuuluvat RAU:lle.

Energiamoduuli

- Lämmityksessä urakkarajana ovat moduulista ulos tulevat putket. PU tekee liitoksen moduulista ulos tuleviin putkiin sekä eristää liitoskohdan. PU:lle kuuluu myös näiden täyttö, ilmaus, koeponnistus sekä verkoston säätötyön tasapainotus.
- Vesi- ja viemäriputkien urakkarajana ovat moduulista ulos tulevat putket. PU tekee liitoksen moduulista ulos tuleviin putkiin sekä eristää liitoskohdan, ja ne koeponnistetaan tarvittaessa. PU liittää käyttövesisyöttöjohdon moduulin sisällä vesimittariin.
- Moduuli ei sisällä ilmanvaihtokanavia tai päätelaitteita. Kaikki kanavat ja päätelaitteet kuuluvat IU:lle, joka vastaa moduulin IV asennuksista normaalisti.
- Rakennusautomaatiolaitteet ja niiden asennus kuuluvat RAU:lle.

Energiamoduulin sekä käytäväelementtien toimintakokeet tehtiin toimittajan toimesta jo tehtaalla. Kuitenkin laadunvarmistuksena nämä tehtiin vielä kertaalleen kohteen LVI-urakoitsijoiden vastuulla. LVIS-urakoitsijoille jäi myöskin näiden käyttöönotto osaksi

järjestelmien kokonaisuutta. Lisäksi niiden vastuulle jäivät myös tarvittavat viranomais-tarkastukset. Esivalmisteiden toimittaja teki kuitenkin omasta urakasta tarvittavat itsel-luovutukset dokumentointineen. Esivalmistetoimittaja vastaa myös oman urakka- ja toimitusten takuuasioista.

5.3 Tate-käytäväelementti

Tuoteluokassa 2 on tekniikan tilaosan modulaarinen käytäväelementti. Elementti (kuva 10) sisältää ilmanvaihto, lämmitys- ja jäähdytys sekä sprinklerijärjestelmien siirto-osat ja näiden lisäksi elementit sisälsivät sähkön kaapelihyllyt. Käytäväelementtikokonaisuus muodostui neljästä yhteen liitettävästä osasta. Osat ovat eripituisia 14 175 mm, 11 470 mm, 10 670 mm, 2 120 mm, ja yhteispituutta näillä on 38 435 mm. Kaikilla osilla on vakio leveys 1 995 mm otsien uloimmista pinnoista mitattuna. Korkeutta otsarakenteen alapin-nasta yläpintaan mitattuna on 1 170 mm. Elementtien paino on noin 230 kg/jm.



Kuva 10. Tate-käytäväelementti

Rakenneosat:

- Teräsrunkarunko

- Otsarakenteet tuplakipsilevytetyjä sisä- ja ulkopuoliin. Lämpöeristeenä mineraalivilla.
- Yläpohja ns. huoltokaista profiilipeltiä.
- Tekniikan otsarakenteen läpimenojen tiivistys akustisella elastisella kitillä.

Tekniikkaosat:

- Kannakointi on toteutettu yhteiskannakointikiskolla lukuun ottamatta sähköhyllyjä.
- Ilmanvaihtokanavina on kierresaumattua sinkittyä kanavaa. Runko- ja haarakanavisto on vaihtelevasti kokoa 100–500 mm. Tuloilmakanava valmiiksi eristettynä L20-mattoeristeellä. Ilmanvaihtokanavat valmiiksi varustettuna kanavakokojen mukaisesti säätöpelti, äänenvaimennin ja puhdistusluukuilla.
- Jäähdytysputket Cu-putkea eristettynä 13 mm:n solukumilla. Elementissä runkoputket ovat kokoa DN25- 50 ja kytkentäputket DN12. Elementin sisäiset linjasäätöventtiilit tulevat toimituksessa.
- Lämmitysputket teräsputkea kokoa DN 20–50 valmiiksi eristettynä eristyssarja 23:lla. Kytkentäputket ovat Cu DN12 eristettynä solukumilla 13 mm. Elementin sisäiset linjasäätöventtiilit toimituksessa.
- Sprinklerin runkoputki terästä DN50. Elementissä ovat kytkentäputket DN15–20 ja suuttimet alaspäin valmiiksi asennettuna.
- Sähkön kaapelihyllyt ovat kuumasinkittyä teräsohutlevyä, ja leveyttä niillä on 300 mm. Kaapelihyllyt kiinnitettynä elementin teräs palkkeihin.

5.3.1 Toimitus ja asennus

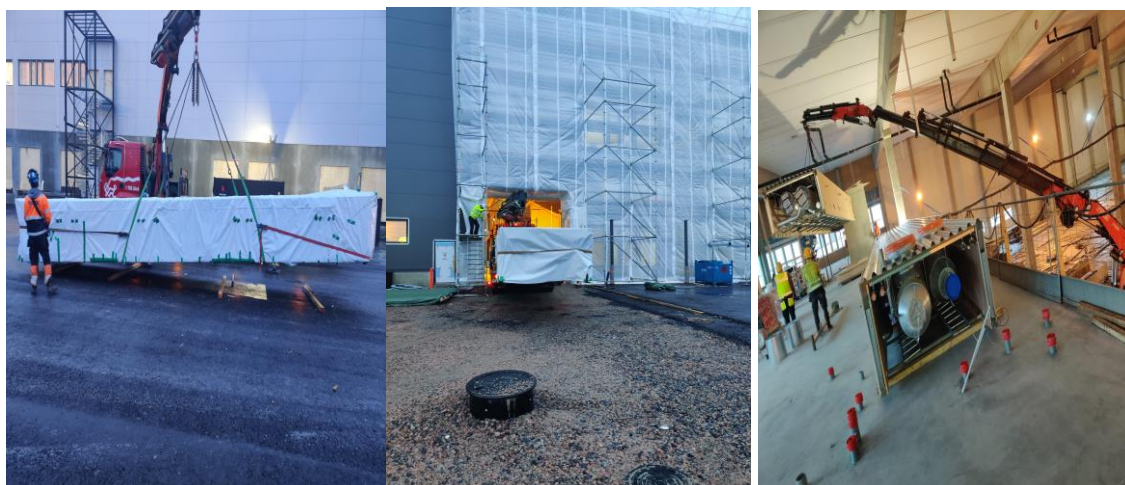
Käytäväelementtien toimitus oli suunniteltu viikolle 46/2019. Ne oli tarkoitus nostaa avonaisesta vesikatosta sisään asennuspaikoilleen. Myöhäiset suunnitelmamuutokset aiheuttivat viivästystä toimitukselle. Alun perin oli tarkoitus tuoda elementit avonaiselta vesikatolta paikalleen, mutta suunnitelmamuutosten takia elementtien toimitus siirtyi viikolle 51/2019, ja siinä siirtymäaikana vesikatto oli saatu umpeen, joten elementit piti nostaa sisäkautta paikalleen. Toimitus sekä asennus tulivat elementtitoimittajan toimesta, elementtien koot täyttivät normaaliliikenteen rajat. En ollut paikalla viikolla 51 elementtien toimituspäivänä. Toimituksessa oli tullut ongelmia kuljetuskaluston kanssa. Kuljetuskaluston piti myös nostaa elementit rakennuksen sisällä paikalleen 2. kerroksen parvelle. Vasta elementtien saavuttua työmaalle oli todettu, että kyseinen kalusto ei mahtunut rakennuksen oviaukosta sisään. Sillä aikaa, kun uutta nostokalustoa selvitettiin, piti elementit välivarastoida rakennuksen ulkopihalla. Elementit tuotiin alun perin sääsuojattuna työmaalle (kuva 11). Myös putket ja kanavat elementtien sisällä sekä otsarakennetta lävistävien osalta olivat valmiiksi suojatulpattuna (kuva 10). Uuden kaluston selvittelyssä todettiin, että kalustoa olisi mahdollista saada vasta vuodenvaihteessa 7.1.2020 johtuen joulun sekä uuden vuoden pyhäpäivistä.



Kuva 11. Sääsuojatut tate-käytäväelementit ulkopihalla

Oikea kuljetuskalusto saatiin paikalle sovittuna päivänä 7.1.2020. Kuljetuskaluston kuljettajat toimivat myös elementtien asentajina, joiden tehtävänä oli vain elementtien

asennus tukirakenteille, kun elementtien tekniikan yhteen-asennus kuului LVI-asentajalle. Asennushenkilöstö koostui kahdesta kuljettajasta, elementtitoimittajan työnjohdosta sekä LVI-asentajasta. Siirto- ja asennustyöt alkoivat heti kuljetuskaluston saavuttuaan työmaalle klo 8:00. Elementit piti siirtää työmaan ulkopihalta ja asentaa tukirakenteille 2. kerrokseen parvelle. Elementit käsiteltiin yksi kerrallaan asennusjärjestyksessä. Koska elementeissä ei ollut valmiita nostokorvakkeita niin nämä tehtiin nostoliinoilla (kuva 12). Rakennuksen oviaukko oli ahdas, tämä ei kuitenkaan tuonut isoja haasteita uudelle kuljetuskaluston kanssa. Enemmän haastetta toi vesikaton kantopalkiston ja parven välisen aukon ahtaus, johon elementit nostettiin. Elementit tuotiin parvelle yksi kerrallaan ennen asennusta.



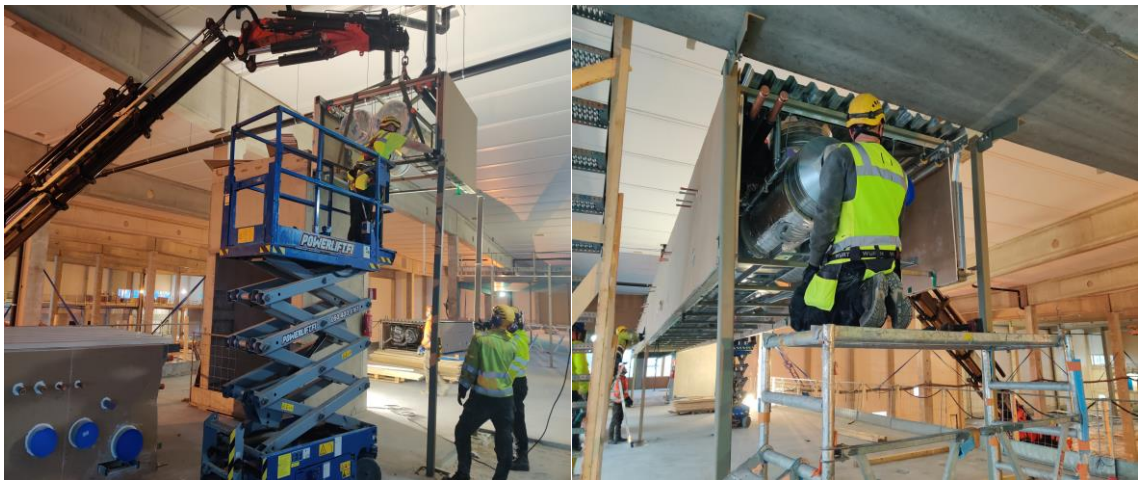
Kuva 12. Tate-käytäväelementti kuljetuskaluston kyydissä menossa asennettavaksi.

Parvellenoston jälkeen oli vuorossa seuraavaksi asentaa elementit tukirakenteille. Tukirakenteet olivat rakennuttajan toimesta ennalta paikoille asennettuja teräspilareita. Teräspilarit olivat kiinnitettynä alapohjaan neljällä kiila-ankkuripisteellä, jotka vielä myöhemmin valettiin betonilla osaksi alapohjarakennetta rakennuttajan toimesta (kuva 13).



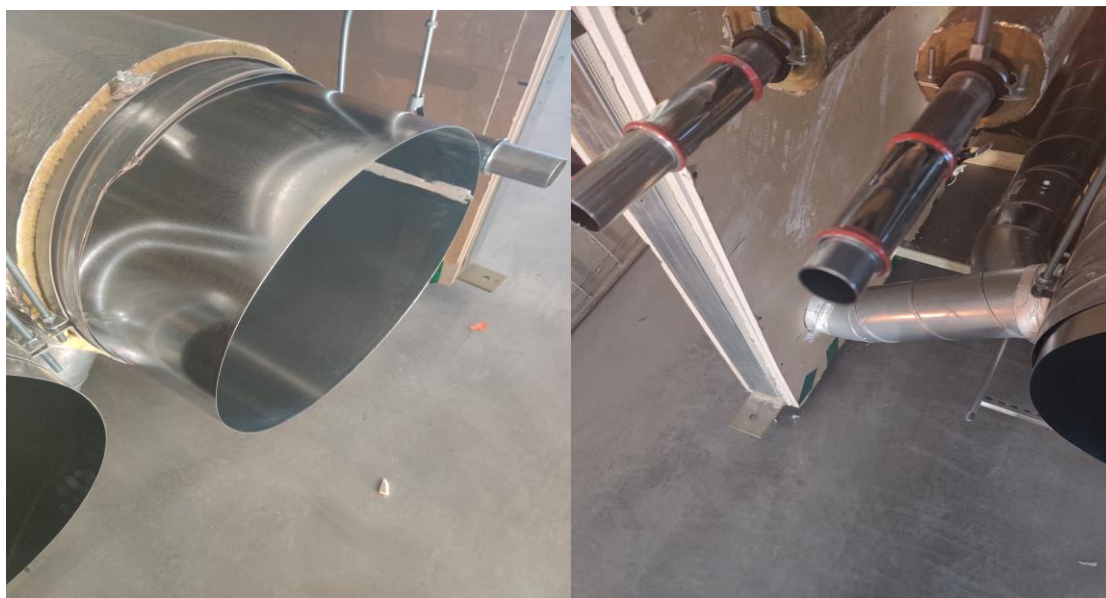
Kuva 13. Elementtien tukirakenne

Elementit liitettiin rajapinnoiltaan tukirakenteille kiinnitysleuoilla, jotka vielä kiinnitettiin pulteilla toisiinsa. Osa elementeistä kiinnitettiin myös rakenteisiin, kuten hissikuiluun sekä varastoparveen alapohjaan. Lyhyin välielementti asennettiin ensimmäisenä paikalleen. Tämä välielementti vei eniten asennusaikaa kaikista neljästä sen koosta huolimatta johtuen, kun tämä asennettiin hissikuilun ja terästukipilarin väliin. Haastetta toi myös viimeisenä asennettu elementti, kun se kiinnitettiin varastoparven alapohjaan (kuva 14). Kaiken kaikkiaan elementtien nosto- ja asennusoperaatio kesti n. 8 tuntia. Tähän tunti määrään eivät sisälly tekniikan liitostyöt rajapinnoilla.



Kuva 14. Rakenteisiin kiinnitetyt käytäväelementit

Käytäväelementit liitettiin toisiinsa ja osaksi lopullisia järjestelmiä ennalta määritetyillä rajapinnoilta. Toimitukseen kuului vain elementtien liittäminen toisiinsa, kun taas näiden liittäminen järjestelmien runko-osiin kuului kohteen LVI-urakoitsijalle. Toimittajan LVI-asentaja aloitti liitostyöt vasta, kun elementit olivat asennettuna rakenteisiin lopullisesti. Kaikki lämmitys-, jäähdytys- ja sprinkleriputket liitettiin rajapinnoilta liukumuhvillisilla puristusosilla ja IV-kanavien liitokset tehtiin sisäisellä peltiosalla sekä pantaliittimillä (kuva 15). Kaapelihyllyjen liitokset tehtiin liitoskappeleilla.



Kuva 15. Tekniikan rajapintojen liitokset

5.3.2 Tate-käytäväelementin arviointi

Esivalmisteiden havainnot ja kokemukset kerättiin yhteen, aiheesta pidetyssä rakennuttajan sisäisessä arviointi palaverissa 11.2.2020. Paikalla oli minun lisäksi kohteen työmaaorganisaation henkilöstöä sekä talotekniikkapäällikkö Petri Konttila. Arviointipalaverissa kukin henkilö nosti omia havaintoja ja kokemuksia esille. Todettiin, että esivalmisteiden laatu oli kunnossa, tekniikan yhteensovitus helpottui sekä esivalmisteratkaisuja pidettiin tuotannolta nopeuttavana ratkaisuna käytäväelementtien suunnitelmamuu-
toksista johtuvista viiveistä huolimatta. Käytäväelementtien toimituksen viivästyminen aiheutti työmaalla haasteita, kun jouduttiin elementtien nostoille sekä asennuksille tekemään uusia erityis- järjestelyjä. Esivalmistelle yhteisenä haasteena todettiin suunnitteluryhmän mukauttaminen suunnitelmien tarkkuustasolle. Tämän tason suunnittelu

tarvitsee myös entistä enemmän suunnittelu-aikaa, joten suunnittelunohjauksen olisi oltava aikaisemmin liikkeellä.

Tate-käytäväelementtien kohdalla puutteita todettiin hiukan enemmän kuin energiamoduulissa, osittain niiden monimutkaisemman rakenteen ja suurempi määrä huomion otettavien rajanpintojen takia. Muutama mittavirhettä todettiin asennustöiden aikana, mm. yhtä tuentaleukaa jouduttiin lyhentämään. Lisäksi elementin peltinen kattoprofiili otti kiinni varastoparven rakenteisin aiheuttaen hieman hankaluutta asennukseen. Otsapintojen kipsilevytyksissä kiinnitettävä enemmän huomioita tehtaalla. Lisäksi otsarakenteesta tulevien tekniikan läpivientien tiivistyskittaukset ovat hajonneet ilmeisesti nosto- ja asennustöiden aikana ja otsarakenteen sisäpuolelta puuttui osittain tiivistyskittauksia.



Kuva 16. Vahingoittunut otsarakenne

Yhden elementin otsarakenne oli vahingoittunut (kuva 16). Lisäksi yhdestä elementistä löytyi kastunutta otsarakennetta puutteellisten sääsuojauksien takia. Elementtien joukossa oli myös puutteita putkien suojatulppauksissa. Muutamat kytkentäputket olivat huonosti viimeistelyä, kun katkaisupurut olivat puhdistamatta. Yhden jäähdytysryhmän kytkentäputket tulivat väärästä kohdasta läpi elementistä. Välitilan sprinklerisuuttimet olivat osittain väärässä korkeudessa. Näiden puutteiden lisäksi todettiin, että asennusajan työturvallisuudessa on parannettava. Käytäväelementtien kehityskohtia havaittiin seuraavasti:

- Suunnitteluohjauksessa on kiinnitettävä enemmän huomiota ilmanvaihdon päätelaitteisiin.
- Huonesäätimen sijoitusta on hyvä pohtia ennakkoon ja määrittää sille tarvittaessa asennuspaikka elementissä.
- Jäähdytyspäätelaitteen säätöryhmän esivalmistusta voidaan kehittää edelleen
- Nostosuunnitelman kehittäminen elementeille. Koska elementeissä ei ollut valmiina nostokorvakkeita niin nostot suoritettiin nostoliinoilla sekä kiinnittämällä nostoketjut runkorakenteeseen kattoprofiilin alle. Nostoliinat vahingoittivat kipsilevyt, kun taas nostoketjut väänsivät kattoprofiilin paikaltaan (kuva 17).



Kuva 17. Nostojen aikana vahingoittunut kipsilevy vasemmalla ja oikealla vääntynyt kattoprofiili

5.4 Energiamoduuli

Kohteen sähkönousukeskus sekä kaukolämmönjakokeskus toteutettiin tuoteluokan 1 tilamoduulina. Käytäväelementtiin verrattuna tässä ratkaisussa vakiointiaoste on ollut pidemmällä tuotetoimittajalla. Moduuli toimitetaan seinä-, katto- ja lattiarakenteineen ns. tila tilan sisässä-ratkaisulla (kuva 19). Muiden hyötyjen lisäksi energiamoduuli mahdollisti

työmaa-aikaisen lämmityksen. Energiamoduulin mitat ovat 5 000 mm pituus, 4 200 mm leveys ja 2 800 mm korkeus. Painoa yhteensä on noin 22 400 kg.



Kuva 18. Energiamoduuli nostettuna lopulliselle paikalleen.

Energiamoduuli kokonaisuus koostuu yhdestä osasta, jossa keskuksat ovat osastoituna väliseinärakenteella. Seinä ja yläpohja ovat kevytelementtirakennetta, alapohja on levytetty teräsrunkoa. Moduulien sisäpuolen varustus eli valaistus, lämmitys sekä vesi- ja viemärointi (vain LJK-osa) kuuluivat toimitukseen, mutta muut sisävarustelujärjestelmät kuten SPR tai paloilmoinit eivät kuuluneet. Molemmille tiloille on oma 160 mm ulkoilmäsäleikkö oven nurkalla. Moduuli sisälsi valaistuksen ja lämmityksen sähköpattereilla. Moduulin sisäiset johtotiet kaapelihyllyt sekä tekniikan läpiviennit olivat valmiiksi tehtynä, kuitenkin työmaa-aikaiselle lämmitysputkistolle läpiviennit toteutettiin työmaalla. Energiamoduulien tekniikkaosat (kuva 18) ovat seuraavat:

- 4-piirinen lämmönjakokeskus yhteisteholtaan 1610 kW sisältäen kaiken sillä kuuluvan laitteiston kuten lämmönsiirtimet, kiertopumput, paisunta astiat, venttiilit, moduulin sisäiset putkitukset eristettynä sekä sähkölaitteiston tarkoittaen toisiopiirin kokonaistoimitusta moduuli toimituksen kanssa. Toimituksen mukaan kuulu myös vesimittari.

- 800 A:n sähkönousukeskuskojeisto sisältää käyttäjän sähkökulutusmittarin sekä moduulin sisäiset 3-vaiherasioinnit.



Kuva 19. Energiamoduulit sisältä kuvattuna. Vasemmalla lämmönjakokeskus ja oikealla sähkönousukeskus

5.4.1 Toimitus ja asennus

Energiamoduulin toimituksen ajoitus oli hyvin ennen käytäväelementtejä kohteen perustusvaiheen aikana ja se kuljetettiin yhtenä osana paikalle. Moduulin koot täyttivät erikoiskuljetuksen vapaat mittarajat (kuva 20). Moduulin kuljetus tuli toimittajan toimesta. Rakennuttajalta tuli nosto kalusto asennusta varten. Asennus ja sen valvonta kuului moduulin toimitukseen. Rakennuttajan nosto kalusto saatiin sovitusti kohteen runkourakoitsijalta. Nostokalustona toimii tela-alustainen mobiilinosturi. Lisäksi tarvittiin moduulin nostoa varten nostokehikkoa, jonka toimitus kuului rakennuttajalle (kuva 20).



Kuva 20. Energiamoduulin nosto paikalleen

Moduuli toimitettiin, kun kohteen rakennustyöt olivat hyvin varhaisessa vaiheessa, kuten kuvasta 20 näkyy niin kohteen perustus- ja runkoasennukset ovat käynnissä, ja vaippa sekä vesikatto ovat vielä auki. Taso, johon moduuli asennettiin, oli valmiina ja yläpohjaltaan avoin. Moduuli asennettiin samana päivänä kuljetuskaluston kyydistä suoraan paikalleen. Nosto suoritettiin nostokehikosta neljällä nostoliinalla pisteellä. Nämä nostoliinat kiinnitettiin moduulin neljään nostokorvaan ja nosto tehtiin suoraan kuljetuskaluston kyydistä paikalleen.

Moduulia ei kiinnitetty alapohjarakenteeseen, vaan se tukeutuu omalla vapaalla painollaan. Myöhemmin moduulin ympäröivät runko-osat toteutettiin sen ollessa lopullisella paikallaan. Lämmönjakokeskuksen kaukolämmön ensiöpiirin putket tuotiin 1. kerroksesta moduulin tasolle lattianrajasta sen takana sijaitsevien valmiiden läpivientien kautta. (kuva 21)



Kuva 21. Kaukolämmön ensiöpiirin syöttöputkiston reitti kohti moduulia

Lämmityspiiri, käyttövesiverkosto sekä viemäriputket tuotiin valmiita läpivientejä pitkin. Ainostaan työmaa-aikaiselle lämmitysputkistolle tehtiin paikan päällä uudet läpiviennit. Myös sähkökeskustilassa oli valmiiksi tehtyjä läpivientejä sähkökaapeleita varten.

5.4.2 Energiamoduulin arviointi

Toimeksiantajan 11.2.2020 pidetyssä sisäisessä arviointipalaverissa energiamoduulin kohdalla otettiin esille myös toteutuksessa havaittuja puutteita sekä kehityskohtia. Lämmönjakokeskuksien putkistojen merkinnät ja osa putkistojen liitosten suojamaalauksista olivat puutteellisia. Toimittajan olisi ollut hyvä vielä varmistaa lämmönjakokeskuksessa putkien liitokset mm. lämmönsiirtimien liitoksia kiristämällä uudelleen moduulin paikalle asennuksen jälkeen. Moduulin sääsuojuukset olivat myös osin heikot. Sääsuojuuksiin olisi kiinnitettävä enemmän huomiota. Energiamoduulin kehityskohtia ehdotettiin seuraavasti:

- Kaukolämpöenergiamittauksen sijainti on määriteltävä tarkemmin moduulin sisällä. Energialaitoksen liittymän ja toisiopiirin rajapinta aiheutti hankaluuksia tässä tapauksessa. Tätä varten voidaan esim. jatkossa käyttää toimituksen mukana putkimallia tätä tarkentamaan.
- Lämmönjakokeskuksen viranomaistarkastuksen sisällyttäminen osaksi toimistusta.

- Lämmönjakokeskuksen RAU-laitteistoa on pohdittava edelleen. Keskuksen säädön toteutus esim. väyläliitännäisellä yksikkösäätimellä on tutkittava jatkokehityksessä.
- Moduulin käyttövesisyöttöjohto viedään liityntäpisteelle valmiiksi lämmönjakokeskuksen toisiopiirin täyttöä varten.
- Työmaa-aikaista lämmitystä varten valmiit putkihaaroitukset moduulista ulos sekä näille suojapeitelaihat seinän pinnalla. Lämmityksen putkien liitännöjen varustus esim. camlock-liittimillä.
- Moduulin ovien heloitus on sisällytettävä toimitukseen yhteistyössä tilaajan kanssa.
- Nostojen toteutuksen apuvälineet, esim. moduulin tarvitsema nostokehikko tulevat valmiiksi toimituksen mukana.

5.5 Tuotantomallien vertailu

Tuotantomallien vertailu ja näin esivalmisteiden käytön myötä saavutettavien hyötyjen määrittelyt ovat hankalia vaiheita. Kustannus- ja hyötyanalyysi sekä mahdollinen laskeinta on tehtävä laajasta näkökulmasta tarkasti pohdittuna. Luvussa 3.2 mainitulla menetelmällä olisi mahdollisuus päästä relevantteihin määrittelyihin, mutta insinööriyön laajuuden takia mittausmenetelmää ei sovelleta tässä työssä. Kyseistä menetelmää on kuitenkin parasta soveltaa ennen hankintapäätöstä toimiakseen hankinnan päätöksenteon mittarina. Tässä työssä sitä mahdollisuutta ei ollut, kun menetelmä kävi tutuksi vasta esivalmisteiden tultua hankituksi.

Esivalmisteiden työvaiheiden kesto paikalla rakennettuna olisi arvioltaan energiamoduulin kohdalla kaksi viikkoa ja käytäväelementit neljä viikkoa. Mikäli elementit olisi saatu alun perin suunnitellussa aikataulussa eikä viivästyksiä olisi tullut, aikatauluvaikutukset olisivat voineet olla edellä mainitusti. Kyseiset aikataulusäästöt eivät kuitenkaan tarkoita projektin läpimenoajan lyhentymistä saman määrin. Ennen hankintapäätöstä tuotantomalleilla tehdyt hankintahintavertailut toteutettiin massa- ja tunnuslukulaskennalla, jotka

perustuivat aikaisempiin toteutumiin. Tehdyt vertailut osoittivat noin 20–30 % suurempaa hankintakustannusta esivalmisteille. Erittäin tärkeätä on muista, että hankintakustannusten vertailut eivät osoita realistisia kustannus analyysiä esivalmisteiden kohdalla. Kustannusanalyysissä on huomioitava lisäksi työmaan vähentyneet yleiskulut, aikataulukustannukset, työtehokkuus sekä muut suoraan rahalla mitattomat hyödyt.

6 Päätelmät ja toimenpide-ehdotukset

Työn tulosten perusteella kävi ilmi, että kirjallisuusselvityksessä mainitut yleiset haasteet toistuivat tässäkin kohteessa tate-esivalmisteiden käytössä. Teollisen tuotantomallin kehitys onnistuu parhaiten soveltamalla se rakennushankkeissa toistuviin määriin. Näin on mahdollisuutta saavuttaa suuria kehitysaskelia käyttöaikoina ilmenneiden kokemusten myötä. Hyvä esimerkki tässä on betonielementit, jotka ovat mullistaneet rakentamisen tuotantoa. Niissä toistuvat kokemukset ovat saaneet ne nykypäivän käyttöasteelle.

Toteutuksessa haasteita todettiin useammassa asiassa. Esivalmisteiden heikko muuntojoustavuus suunnitelmamuutoksille todettiin selkeästi tässäkin kohteessa. Nämä suunnitelmamuutokset aiheuttivat merkittäviä ajallisia ja kustannuksellisia haittoja käytäväelementeille. Lisäksi muutosten seurauksena toteutusta jouduttiin muuttamaan aiheuttaen elementtien kuljetuksellekin sekaannusta. Jälkeenpäin tehdyt suunnitelmamuutokset aiheuttivat siis reaktioketjun vaikuttaen moneen seikkaan. Suunnitelmien tärkeys esivalmisteiden kannalta korostuivat avaintekijäksi yhdessä täsmällisen logistiikan kanssa. Suunnitelmamuutoksista voidaan välttyä, kun tiiviissä yhteistyössä kaikkien osapuolten kanssa ennakkoidusti tuotetaan tarkasti pohdittuna detaljitason suunnitelmia. Logistiikan kannalta myös tarkasti ennakkoon suunniteltu kuljetusreitti tuotteiden lopullisen paikkaan asti olisi ollut ratkaisu. Vaikka viittaus tässä asiassa osuu suunnitelmamuutoksiin, niin olisi osapuolten pitänyt kuitenkin reagoida muutoksiin ja valita oikea kuljetuskalusto ennakkoon.

Haasteista ja esteistä huolimatta esivalmisteille todetut hyödyt ovat rakentamisen kannalta huomionotettavia. Vaikka eivät tuotteille ennalta määrätty hyödyt kuitenkaan ole itsestään selviä, eivätkä ne ole suoranaisesti taattuina. Tässä kohteessa ennalta suunniteltuja hyötyjä ei saavutettu täysin. Kuitenkin voidaan todeta tuotantomalli hyvin potentiaaliseksi tuotannonseurannan tuloksen kannalta. Esivalmisteiden työmaa-aikainen

toteutus nosti kieltämättä esille ajatuksia, että kuinka prosesseja on mahdollistaa helpottaa ja nopeuttaa. Muutaman henkilön toimesta saatiin sellaiset työvaiheet valmiiksi päivässä, jonka valmiiksi saaminen perinteisellä tavalla olisi kulunut useammalta eri toimialan tekijältä viikkoja. Toteutuksen asennustyö oli tehokasta, eikä katkoja tullut. Esivalmisteista jätettä ja hukkamateriaalia syntynyt melkein lainkaan työmaalla. Asennusajan työturvallisuudessa oli selkeästi paranneltavaa, kuitenkin hyvänä puolena työturvallisuudessa on otettava huomioon vähentyneet työmäärät työmaalla. Asennusajan työturvallisuutta olisi ollut mahdollista parantaa ennalta laaditulla työkohdekohtaisella työturvallisuussuunnitelmalla.

Tate-esivalmisteiden hyötyjen saavuttaminen tarvitsee vahvaa kehitystyötä alalta kaikkien rakentamisen osapuolien yhteistyönä mukaan lukien viranomaiset. Viranomaisten on otettava teollinen rakentaminen huomioon ja työsopimukset on päivitettävä esivalmisteita huomioiden. Urakkarajojen ja vastuunjakojen on täsmennyttävä kokemusten perusteella ja parhaat niiden joukosta on saatava kiteytettyä kaikille toimijoille. Esivalmisteiden hyötyjen tulokset eivät ole vain yksittäisiin henkilöihin sidottuna vaan ne ovat alan tekijöiden yhteistyön tuloksella saavutettavia. Lisäksi erittäin tärkeänä asiana esivalmisteiden jalkauttamisella osaksi talotekniikan rakentamista varten on osattava tuoda esivalmisteista saavuttavat hyödyt mahdollisimman monesta mittarista esille. Tate-esivalmisteiden käytön päätöksenteko usein riippuu tästä asiasta, joten on etsittävä menetelmiä tai parannettava olemassa olevia. Suuri osa hyödyistä on piileviä rahaksi muutettavia hyötyjä, joita ei osata tuoda esille. Realistisen hyötyanalyysin tuottaminen ei onnistu, jos ne perustuvat vain suoraan rahalla mitattaviin tekijöihin.

Monet asiat viittaavat rakentamisen teollistumisen entistä enemmän tulevaisuudessa. Talotekniikan tuotanto tulee myös mahdollisesti ottamaan osuutensa muutoksesta, vaikka muutokset rakentamisen alalla ovat yleensä olleet hitaita. Hyvänä esimerkkinä ovat maat, jossa rakentaminen mukaan lukien LVIS-järjestelmät tuotetaan esivalmiste mallilla. Laajemmat toimittajaverkostot ja monipuolistuneet tuotevalikoimat yhdessä digitalisaatio muutoksen kanssa nopeuttavat talotekniikan esivalmistusta tulevaisuudessa. Digitalisaation myötä esimerkkinä tietomallinnuksen ansiosta tate-esivalmisteiden suunnittelu tulee helpottumaan varsinkin hankalien rajapintojen määrittelyssä. Tulevaisuudessa esivalmiste toteutusten kustannustehokkuuden parantuminen on odotettavissa, kun ne tuotetaan toistuvina määrinä. Maksimaalisen käyttöhyödyn mahdollistaa näiden tuotteiden- ja toteutustapojen vakiointi. Kustannustehokas vakiointi kaikin puolin tuotteen

tehdastuotannosta suunnitteluun ja urakointiin on kuitenkin riippuvainen toistuvien tapauksien määrästä.

7 Yhteenveto

Tate-esivalmisteet tässä hankkeessa pidettiin onnistuneena lopputuloksen kannalta. Tämän työn tulosten perusteella voidaan todeta, että on suuria etuja rakennusprojektille, että monet hajautetut työvaiheet ovat pois työmaalta. Useita haasteita ja esteitä tuli esille. Kaikkia tavoitteita ei saavutettu, mutta se olikin osittain tiedossa, kun kyseessä oli pilottihanke näiden ratkaisujen osalta. Näitä esivalmisteita on vaikea arvioida lopullisesti yhden rakennushankkeen tarkastelulla. Siitä huolimatta näiden ratkaisujen tarkastelu vain yhdestäkin rakennushankkeesta tuotti paljon kehityskohtia esille. Tate-esivalmisteiden kannalta kehitettäviä puolia on paljon, ja ne vaativat lisää investointeja. Kuitenkin näistä investoinneista saavutettavat tulokset voivat olla merkittäviä. Investointinäkyvät suhteessa mahdollisen tuottoon tekevät esivalmistuksesta tutkimisen arvoisen.

Tämän insinööriyön tavoitteisiin päästiin. Työstä saaduista tuloksista tulee olemaan selkeätä hyötyä tulevissa hankkeissa, joissa tate-esivalmisteita tullaan hyödyntämään. Työn tulokset mahdollisesti auttavat kehittämään toimeksiantajan talotekniikan tuotantoa jatkossa. Työn aiheeseen riitti mielenkiintoa. Vastaavia insinööritöitä ei ole kovinkaan monta talotekniikasta tehty, joten pidän työn tuloksia siltäkin kannalta onnistuneina. Insinööriyötä varten olemassa olevaa aineistoa oli saatavilla vähän, mikä hankailutti osittain työn edistymistä kirjallisuusselvityksessä. Haluttua haastattelumäärää ei saavutettu johtuen aikataulusta sekä osittain tällä hetkellä vallitsevasta Covid 19-viruspandemiasta. Suurempi haastattelumäärä olisi voinut vahvistaa työn tuloksia.

Insinööriyön aihe vaatii vielä selkeästi lisää jatkotutkimuksia. Talotekniikan suunta perinteisestä rakentamisesta kohti teollista tuotantomallia varten ovat jatkotutkimukset tarpeen. Tässä työssä mainittua ”tekijöiden vaikutusten mittaamisen menetelmän” soveltamista tate-esivalmisteiden käytössä suosittelen erillisen aiheen pohdinnaksi.

Lähteet

- 1 Peltokorpi, Antti; Lavikka, Rita; Kokko, Laura; Seppänen, Olli. 2018. Talotekniikan esivalmistus: esteet, mahdollistajat ja prosessi. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <[https://research.aalto.fi/en/publications/talotekniikan-esivalmistus-esteet-mahdollistajat-ja-prosessi\(79b6b4e3-44c4-4ade-869b-005e357f431a\).html](https://research.aalto.fi/en/publications/talotekniikan-esivalmistus-esteet-mahdollistajat-ja-prosessi(79b6b4e3-44c4-4ade-869b-005e357f431a).html)>. Luettu 2.2.2020.
- 2 Aapoja, Aki; Haapasalo, Harri. Standardointi ja esivalmistus teollisessa rakentamisessa. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150302.pdf>>. Luettu 14.2.2020.
- 3 Korhonen, Pekka. 2016. Tilantekniikkamoduulin kehittäminen. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 4 Seppänen, Olli. 2019. Rakentamisprosessi muuttuu. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/153697183-Rakentamisprosessi-muuttuu-sahkoisen-talotekniikan-rakennuttajaseminaari-olli-seppanen.html>> Luettu 14.2.2020.
- 5 Mylly, Iiro. 2018. Betonikerrostalon elementtisuunnittelu ja elementtirakentamisen kehittäminen. Insinööritö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Shipyard engineering. Lecture 6-2: Outfitting disciplines. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/126146/mod_folder/content/0/L6_2%20-%20Outfitting%20disciplines.pdf?forcedownload=1>. Luettu 15.2.2020.
- 7 Teollinen rakentaminen & esivalmistus; Työryhmän 1.kokous. 2017. Kokousaineisto. Aalto-yliopisto.
- 8 Talotekniikkaelementti ratkaisee useita perinteisen LVIS-asennuksen ongelmia. Verkkoaineisto. Rakentaminen ja infrastruktuuri. <<https://rakentaminenjainfrastruktuuri.calcus.tech/uponor>>. Luettu 21.2.2020.
- 9 Avain standardien maailmaan; SFS- käsikirja 1. Verkkoaineisto. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. <https://www.sfs.fi/files/83/avain_2019_web.pdf>. Luettu 21.2.2020.
- 10 Suominen, Tommi. 2018. Esivalmistus selittää sääriskit. Verkkoaineisto. Parma Oy. <<https://parma.fi/parmablogi-artikkeli/esivalmistus-selattaa-saariskit/>>. Luettu 16.2.2020

- 11 Peltokorpi, Antti; Lavikka, Rita; Kokko, Laura; Chauhan, Krishna. 2019. Esivalmistuksen vaikutusten arviointi. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-10/loppuraportti_esivalmistuksen_vaikutusten_arviointi_23.10.2019.pdf>. Luettu 25.2.2020.
- 12 Teollinen valmisosarakentaminen. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus Ry. <<https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen>> Luettu 28.2.2020.
- 13 Seppänen, Olli. 2018. Rakennusalan tuottavuusongelma. Verkkoaineisto. Rakennuskonepäälliköt ry. <<http://www.rakennuskonepaallikot.fi/sites/default/files/tiedostot/Rakennuskonep%C3%A4%C3%A4llik%C3%B6iden%20seminari%20Olli%20Sepp%C3%A4nen.pdf>>. Luettu 14.2.2020.
- 14 Gibb, Alistair. 2001. Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. Verkkoaineisto. <<https://www.semanticscholar.org/paper/Standardization-and-pre-assembly-distinguishing-Gibb/f9a95c3bc71fd495b2fb036d9fa2d06be0829751>>. Luettu 21.2.2020
- 15 Peltokorpi, Antti. 2018. Talotekniikan esivalmistus. Luentomateriaali. Aalto-yliopisto.
- 16 Tavoitteena nolla tapaturmaa rakennusteollisuudessa. 2015. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT ry. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/tyoturvallisuus/2015/turvallisuuskannaotto_syksy_2015.pdf>. Luettu 29.2.2020.
- 17 Talotekniikan esivalmistuksen hyödyt ja vaatimukset puntarissa. 2019. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/talotekniikan-esivalmistuksen-hyodyt-ja-vaatimukset-puntarissa>>. Luettu 29.2.2020.
- 18 Erikoiskuljetukset. 2010. Verkkoaineisto. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. <http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf/cbcf0229-5b1f-4e7e-8d9b-9bad0a271b51>. Luettu 4.3.2020.
- 19 Why modular? Verkkoaineisto. Modular Building Institute. <https://www.modular.org/HTMLPage.aspx?name=why_modular>. Luettu 24.2.2020.
- 20 Tietoa YIT:stä. Verkkoaineisto. 2019. YIT Oyj. <<https://www.yitgroup.com/fi/tietoa-yitsta>>. Luettu 24.2.2020.