

Jere Pohjonen

# TILAAJAN OHJE TILAELEMENTEILLÄ TOTEUTETTAVAAN ASUNTOTUOTAN- TOON

Diplomityö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastajat:

Professori Arto Saari  
Projektipäällikkö Juha-Matti Junnonen  
05/2023

# TIIVISTELMÄ

Pohjonen, Jere: Tilaaajan ohje tilaelementeillä toteutettavaan asuntotuotantoon  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Toukokuu 2023

Puukerrostaloarakentaminen on Suomessa nostanut suosiotaan ja jatkuvasti kasvava osuus näistä puukerrostaloista toteutetaan tilaelementtirakenteisena. Suomessa menetelmä on kuitenkin suhteellisen uusi ja olemassa olevaa tietoutta ja osaamista on rajallisesti. Tutkimuksessa selvitettiin hankkeen eri osapuolten, kuten tilaajien, rakennuttajakonsultin, tilaelementtitehtaan edustajien sekä vastaavan työnjohtajan kokemuksia tilaelementtihankkeista sekä näissä ilmenneistä haasteista. Näiden haasteiden osalta esitettiin joko ratkaisuehdotuksia tai tarpeen vaatiessa jatkotutkimus tai -kehityksiä. Tutkimuksessa pyritään antamaan yleispätevä tietopaketti tilaelementtirakentamiseen liittyvistä säädöksistä sekä tilaaajan vaihtoehdoista paitsi hankkeen toteutusmuotoihin, myös suunnittelun ohjaukseen.

Tulosten yhteenvedona voidaan todeta, että teollinen esivalmistaminen rakentamisessa on murrosvaiheessa ja lähitulevaisuudessa on odotettavissa kasvua ja kehitystä alalle. Kohteiden määrän lisääntyessä myös kokemuseräistä sekä tilastopohjaista tietoa saadaan koko ajan enemmän. Merkittävänä jatkokehityksiä tulisi kuitenkin luoda tilaelementeille yhtenäinen kustannusten nimikkeistö, jotta saadaan vertailukelpoista dataa eri kohteista ja tulevaisuudessa helpotetaan kustannusten arviointia ja laskentaa. Nykyisin käytössä olevat Talo 80 ja Talo 2000 nimikkeistöt eivät joko kata tilaelementtejä ollenkaan tai eivät riittävällä tarkkuudella. Kustannuksiin liittyvien seikkojen lisäksi kehittämistä on muun muassa sopimusmalleissa sekä tilaelementtirakentamisen vakioimisessa.

Tulevaisuus näyttää kuitenkin valoisalta tilaelementtirakentamisen osalta. Tilaelementtien käytön arvioidaan lisääntyvän lähitulevaisuudessa ja tutkimus sekä kehitys aiheesta lisääntyy myös menetelmän yleistymisen rinnalla.

Avainsanat: tilaelementti, tilaelementtirakentaminen, esivalmistus, teollinen rakentaminen, puukerrostalo, tilaelementtikerrostalo, puurakentaminen

# ABSTRACT

Pohjonen, Jere: Developer's guide on multi-storey modular housing project  
Master of Science Thesis  
Tampere University  
Master's Degree Programme in Civil Engineering  
May 2023

Wooden Multi-Storey construction has become increasingly popular in Finland, and a growing portion of these wooden apartment buildings are implemented using prefabricated modules. In Finland, the method is still relatively new and there is only a limited amount of existing knowledge and expertise available. Aim of this study was to find out what kind of experiences different parties of modular housing project has and also what kind of challenges they have had in them and how to avoid them in the future. For these challenges, either solution proposals were presented or further research or development topics were identified as necessary. The study aims to provide a comprehensive information package on regulations related to prefabricated modular construction and to the client's options, not only in terms of model agreements but also in terms of design guidance.

Keywords: modular element, modular construction, prefabrication, industrial construction, wooden multi-storey apartment building, multi -storey modular element building, wooden construction

# SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Työn tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset .....	2
1.3 Tutkimusmenetelmät .....	4
1.4 Työn rakenne .....	5
2 TILAELEMENTTIRAKENTAMINEN SUOMESSA .....	6
2.1 Tilaelementtirakentamisen historia .....	6
2.2 Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka .....	7
3 TILAELEMENTTIIEN RAKENNE .....	9
3.1 Alapohja .....	10
3.2 Vaakarakenteet .....	10
3.3 Seinärakenteet .....	11
3.4 Tilaelementtien liitokset .....	14
3.5 Talotekniikka tilaelementeissä .....	15
3.6 Tilaelementtikerrostalon jäykistys .....	15
4 PALOTURVALLISUUS .....	17
4.1 Rakennuksen paloluokitus ja sammutusjärjestelmä .....	17
4.2 Rakennusosien paloluokitus .....	18
4.3 Rakennustarvikkeiden ja pintojen paloluokitus .....	19
4.4 Puujulkisivu .....	20
4.5 Suojaverhous .....	23
4.6 Toiminnallinen palomitoitus .....	26
5 TILAELEMENTTIHANKKEEN TOTEUTUS .....	28
5.1 Toteutusmuodot .....	28
5.2 Riskejä ja ilmenneitä ongelmia .....	35
6 ULKOMAANKAUPAN RISKIT JA RATKAISUT .....	37
6.1 Maksuerät ja -takaukset .....	37
6.2 Toimituslausekkeet .....	42
7 HANKKEEN VALINTA, OHJAUS JA TOTEUTUS .....	46
7.1 Soveltuvuus tilaelementtirakentamiseen .....	46
7.2 Suunnittelun ohjaus .....	49
7.2.1 Pää- ja arkkitehtisuunnittelu .....	49
7.2.2 Rakennesuunnittelu .....	50
7.2.3 LVIS-suunnittelu .....	51
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	52

8.1	Hankkeen valmistelu .....	52
8.2	Hankemuodon valinta .....	53
8.3	Hankkeen suunnittelu.....	54
8.4	Hankkeen toteutus .....	54
8.5	Pohdinta ja jatkotutkimusaiheet.....	55
	LÄHTEET .....	57

## ALKUSANAT

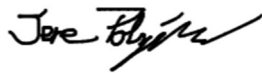
Via Dolorosa, mutta kaunis sellainen.

Näin voisi kuvailla tätä opiskelutaivalta; etenkin sen alkua ja loppuunsaattamista. Ensimmäiset vuodet motivaatio painottui järjestöhommiin ja muuhun toimintaa opintojen sijaan, kunnes koronapandemia pakotti toden teolla keskittymään opiskeluun. Sen jälkeen työt veivätkin jo mennessään muutamaksi vuodeksi, kunnes päästiin tähän pisteeseen.

Kaikista ylä- ja alamäistä sekä onnistumisista ja virheistä johtuen nämä kuusi vuotta ovat olleet elämäni tähän asti antoisimpia, opettavaisimpia ja ennen kaikkea ikimuistoisimpia. Kiitos siitä kuuluu ennen kaikkea teille rakkaat ystävät, jotka olette tämän matkan rinnalla kulkeneet, sekä kaikille niille upeille tyypeille, joiden kanssa on järjestöhommia paaskittu, harjoitustöihin hajoiltu ja keskusteltu syvällisiä aamuviideltä grillijonossa tai maatessa jonkun asunnon pehmeällä karvamatolla.

Eriytynen kiitos myös perheelle, joka on pienestä pitäen kannustanut opiskelemaan pitkälle ja tsempannut matkan varrella.

Espoossa 10.5.2023



Jere Pohjonen

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Pientalorakentamisessa on jo pitkään suosittu puuta pääasiallisena rakennusmateriaalina, mutta viime vuosina puurakentamisen suosio on noussut pientalorakentamisen lisäksi ennen kaikkea julkisissa palvelurakennuksissa (Ympäristöministeriö 2020). Myös puisten asuinkerrostalojen rakentaminen on kiihtynyt huomattavaa vauhtia. Puuinfon julkaisusta Puuinfo 2022a ja professori Markku Karjalaisen aloittamasta toteutettujen puukerrostalojen seurannasta nähdään, että puukerrostalojen rakentaminen on selkeässä nousussa. Ylöjärven asuntomessuille vuonna 1996 valmistuneita kolmea puukerrostaloa voidaan pitää lähtölaukauksena uuden ajan puukerrostalorakentamiselle (Kaijalainen 1996, Puuinfo 2022a). Ympäristöministeriön vuonna 2016 julkaistun Puurakentamisen ohjelman keskeisinä tavoitteina onkin ollut kasvattaa ja monipuolistaa puun käyttöä rakentamisessa, sekä kehittää osaamista ja teollista valmistusta Suomessa (Ympäristöministeriö 2020). Yksi Suomessa yleistynyt merkittävä ilmiö on puisten moduulirakentamisen suosion kasvaminen. Osana tätä ilmiötä on lisääntynyt myös puinen tilaelementtirakentaminen asuinkerrostaloissa. Jo vuonna 2019 60 % kunnista on maininnut puurakentamisen edistämisen kuntastrategiassa (Puuteollisuus Ry, 2022), mitä voidaan pitää merkittävänä tekijänä puurakentamisen lisääntymisessä myös lähitulevaisuudessa.

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2020 julkaistussa katsauksessa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020) todettiin suomalaisen puuelementtiteollisuuden henkilöstömäärän sekä liikevaihdon kaksinkertaistuneen viiden vuoden tarkastelujaksolla. Samaisella tarkastelujaksolla myös puurakenteisten kerrostalojen määrä Suomessa yli kaksinkertaistui. Rakentamisen kokonaisvolyymi on myös samaan aikaan kasvanut merkittävästi ja puisten kerrostalojen osuus kokonaisvolyymista onkin pysynyt alle 5 prosentin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020:26 s. 16. ja 22., 19.).

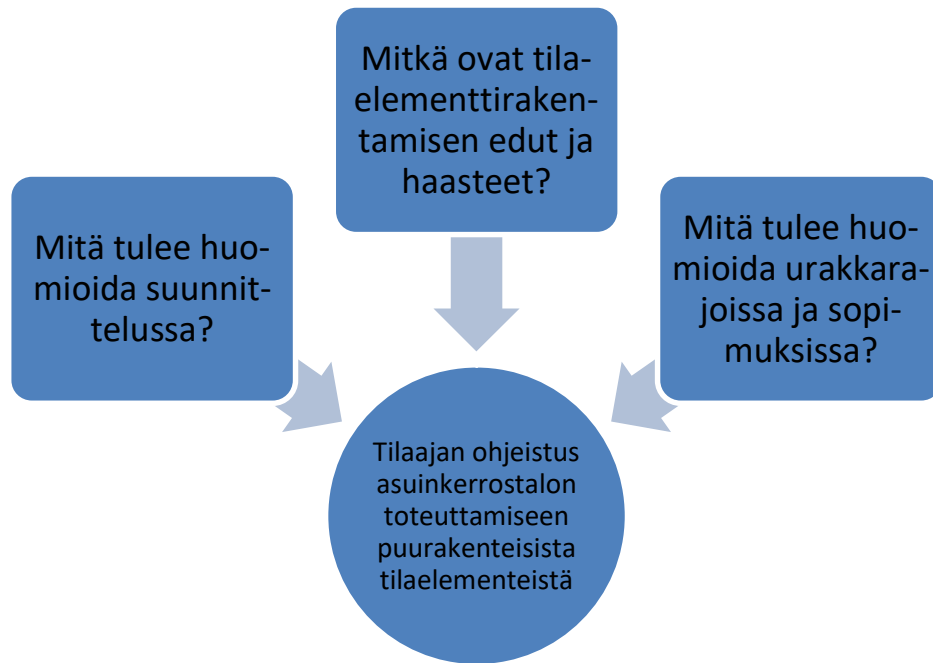
Suomessa puuelementtiteollisuus on kuitenkin edelleen hyvinkin pientä ja toimijat pääasiassa pk-yrityksiä. Viennin osuus puuelementeissä on suomalaisilla puuelementtiteollisuuden yrityksillä todella vähäistä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020:16, s. 26). Sitä vastoin Virossa puuelementtiteollisuuden yritykset ovat pääasiassa keskittyneet vien-

tiin. Viro onkin noussut Euroopan suurimmaksi puutalojen viejämaaksi huolimatta siitä, että kotimaan markkinat puutaloille ovat pienet (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020:16 liite 1). Viron puutalojen valmistuksen volyymi onkin jo yli 500 milj.€, josta viennin osuus on noin 90 % (Trade with Estonia 2022). Erityisen hyvin Viro on kunnostautunut nimenomaan puurakenteisten suur- sekä tilaelementtien valmistuksessa. Pohjoismaat, etenkin Ruotsi ja Norja, ovat virolaisille tilaelementtitehtaille tärkeintä markkina-aluetta. Suomessa tilaelementtirakentaminen on vielä vähäistä ja etenkin puukerrostaloja on tilaelementeistä rakennettu vähän.

Diplomityö tehdään Kreivilä Asunnot Oy:lle. Kreivilä Asunnot on vuonna 2015 perustettu yritys, joka toteuttaa RS-kohteina puisista tilaelementeistä valmistettuja asuntoja. RS-järjestelmä on Asuntokauppalain mukainen turvajärjestelmä asunnon ostajille tilanteessa, jossa sitova kauppa tehdään asunnosta jo asunnon rakennusvaiheessa. Yhtiön toiminta keskittyy nykyisellään pientalotuotantoon ja kohteina onkin ollut niin rivi- pari-, luhti- kuin erillistalojakin pääkaupunkiseudulla. Keskeisenä osana yrityksen kasvutavoitetta on toteuttaa lähitulevaisuudessa myös yrityksen ensimmäinen puukerrostalo tilaelementeistä. Kreivilä Asunnot on aiemmissa kohteissaan käyttänyt virolaisia tilaelementtitehtaita materiaalityöntehtävissä aiemman kokemuksen ja toimittajariskin minimoimisen takia.

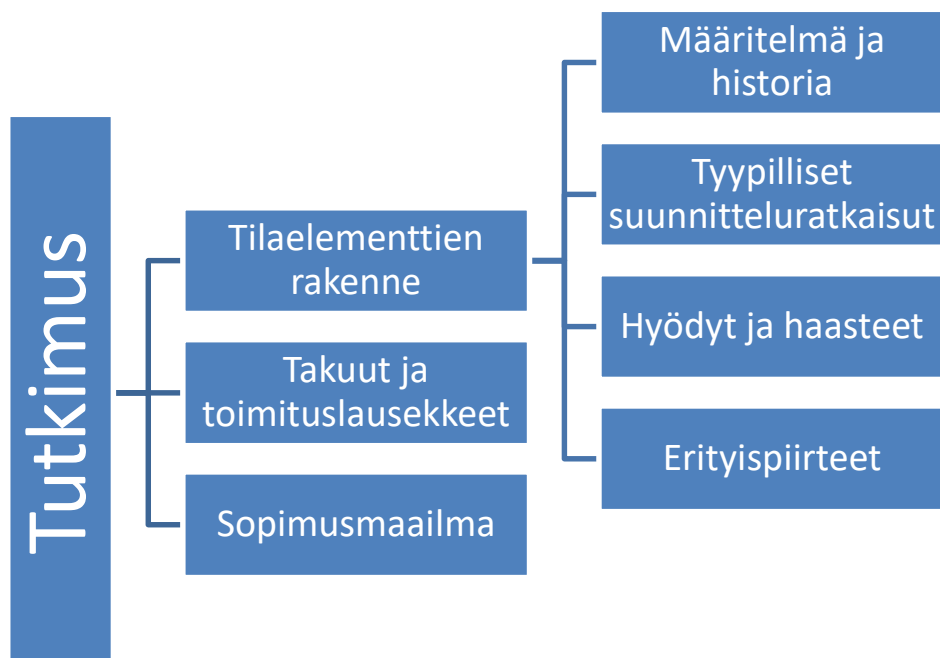
## **1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset**

Tutkimuksessa tarkastellaan puurakenteisilla tilaelementeillä toteutettavan asuntotuotannon nykytilaa ja käytänteitä Suomessa. Tutkimuksen tavoitteena on kirjallisuuden ja tausta-aineiston pohjalta luoda selkeä infopaketti tilaajille asuinkerrostalojen tilaelementtirakentamisesta sekä haastattelujen avulla löytää haasteita ja ongelmakohtia, joita tutkimuksen avulla voidaan ennaltaehkäistä. Painoarvo tutkimuksessa on nimenomaan tilaelementtien tuomilla poikkeamilla perinteisempiin rakentamistapoihin. Lisäksi työssä sivutaan kansainvälisen kaupan piirteitä pankkitakausjärjestelmän osalta, koska suurimmat Pohjoismaihin puisia tilaelementtejä toimittavat yritykset sijaitsevat pääasiassa Virossa ja Ruotsissa. Kuvassa 1 on esitetty keskeiset tutkimuskysymykset.



**Kuva 1: Tutkimuksen pää- ja alakysymykset**

Yllä on esitetty tilaelementtirakentamiseen liittyvät työn keskeiset kysymykset. Kysymykset on rajattu niin, että ne palvelevat tilaajan tarvitsemaa tietoa tilaelementtihankkeissa pitäen tutkimuksen samalla järkevässä laajuudessa. Kuvaan 2 on hahmoteltu tiiviisti tutkimuksessa käsiteltävät asiat.



**Kuva 2: Tutkimuksen teemat**



Työ keskittyy nimenomaan puurakenteisten tilaelementtien käyttöön rakentamisessa, mutta etenkin historiakatsauksessa sivutaan elementtirakentamista yleisesti. Lisäraamit tutkimukselle asettaa kohdeyritys, joka toteuttaa puurakenteisia tilaelementtikohteita perustajaurakointina. Kohdeyritys on tähänastisessa toiminnassaan hankkinut tilaelementit ulkomailta, mutta kotimaisten toimijoiden käyttö ei ole poissuljettua. Tutkimuksen tavoitteeseen pääsy vaatii tiettyjen kansainväliseen kauppaan liittyvien maksu- ja ta-kausjärjestelmien sivuamista, joita esimerkiksi virolaisilla tilaelementtitehtailla on yleisesti käytössä. Tutkimusta ei kuitenkaan haluta rajata nimenomaan perustajaurakointiin, sillä valtaosa Suomeen toteutetuista tilaelementtirakenteisista puukerrostaloista on toteutettu tilaajatahoille omaan taseeseen jätettäväksi.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Työ suoritetaan laadullisena tutkimuksena, jossa kirjallisuuskatsaus luo raamit tutkimukselle. Kirjallisuuden kautta perehdytään tilaelementti-, eli moduulirakentamiseen yleisesti sekä puukerrostaloihin liittyviin vaatimuksiin. Työssä pyritään kartoittamaan aiemmin tehtyjen tutkimusten pohjalta tilaelementtirakentamisen hyötyjä ja haasteita sekä tarkastelemaan tilaelementtirakentamisen historiaa ja nykytilaa Suomessa.

Lisäksi tutkimuksessa haastatellaan tilaelementtejä hyödyntävien rakennushankkeiden eri osapuolia, erityisesti rakennuttajan ja tilaelementtitehtaan edustajia. Haastattelujen tarkoituksena on kartoittaa tilaelementtirakentamisen haasteita ja hyötyjä eri näkökulmista, jonka jälkeen esille tulleet asiat pyritään ottamaan huomioon myös käsittelemällä näitä työssä ratkaisujen tai jatkotutkimusaiheiden muodossa. Olennaisena osana tutkimusta on nykyisten toteutusmallien kartoittamisen lisäksi pyrkiä löytämään kehityskohteita.

Tutkimuksen haastattelut toteutetaan avoimina haastatteluina. Avoin haastattelu on laadullinen tutkimusmenetelmä, jossa haastateltavan kanssa käydään sovittuja aihealueita läpi vapaamuotoisen keskustelun muodossa (Eskola & Suoranta 1998). Kaikkien haastateltavien kanssa ei välttämättä käydä kaikkia tutkimuksen teemoja läpi, vaan läpikäytäväksi valitut teemat on kohdennettu haastateltavan taustan mukaan. Haastattelukielinä toimivat sekä suomi että englanti haastateltavasta riippuen, mutta aineiston käsittely toteutetaan suomeksi.

Tutkimuksen haastateltavat edustavat hankkeen eri osapuolia, joiden näkemyksiä pyritään kartoittamaan. Jokaiselle haastattelulle määritellään etukäteen teemoja ja apuky-

symyksiä ohjaamaan haastattelua, mutta painoarvo on kuitenkin saada haastateltavien omat näkemykset ja kokemukset tutkimukseen liittyviin aiheisiin.

## 1.4 Työn rakenne

Työn teoriaosuus käsitellään luvuissa 2-6. Haastatteluista saatuja tietoja hyödynnetään teoriaosuudessa täydentämään kirjallisuutta tai avaamaan aihepiirejä, joista ei löydy tutkimusta palvelevaa kirjallisuutta.

Luvussa 2 tarkastellaan tilaelementtirakentamisen historiaa ja kehitystä, sekä nykytilaa ja ennusteita Suomessa. Tilaelementtien rakennetta, liitoksia ja talotekniikkaa käsitellään puolestaan luvussa 3. Luvussa neljä käsitellään ajantasaisen lainsäädännön mukaisia erityisesti puukerrostaloihin kohdistuvia paloturvallisuusvaatimuksia. Maankäyttö- ja rakennuslailla sekä tämän nojalla annetuilla asetuksilla määritellään muun muassa puukerrostalojen sammutusjärjestelmiä ja annetaan teknisiä rakenteisiin sekä rakennukseen kohdistuvia rajoituksia, joilla on vaikutusta rakennustyön suunnitteluun, toteutukseen ja käyttöön. Luvussa 5 käydään läpi tilaelementtirakentamisen sopimusmalleja ja hankkeissa ilmenneitä haasteita. Ulkomaankaupan toimituslausekkeitä sekä pankkitakauksia käydään läpi luvussa 6. Teoriakatsausta toimituslausekkeiden sekä pankkitakausten osalta on rajattu kohdeyrityksellä tilaelementtitehtaiden kanssa vastaan tulleisiin lausekkeisiin ja takausjärjestelmiin. Luvussa 7 käsitellään suunnittelun ohjaukseen liittyviä teemoja.

## 2 TILAELEMENTTIRAKENTAMINEN SUOMESSA

### 2.1 Tilaelementtirakentamisen historia

Tilaelementtirakentamisessa rakennus kootaan erillisistä tehtaalla pitkälle esivalmistetuista tilaelementeistä eli moduuleista (Puuinfo 2020). Tilaelementtien valmius työmaalle saapuessa on parhaimmillaan jopa 90 % (Tolppanen et al. 2013 s. 49), jolloin työmaalle tehtäväksi jää asentamisen lisäksi lähinnä viimeisteleviä töitä sekä talotekniikan liitokset tilaelementteihin. Puurakenteisissa tilaelementtiratkaisuissa käytetään lähtökohtaisesti kahta eri rakennejärjestelmää; massiivipuutilaelementtejä sekä rankarunkoisia tilaelementtejä. (Puuinfo 2020).

Modernin tilaelementtirakentamisen konseptin voidaan katsoa syntyneen jo 1920-luvulla Bauhausin taide- ja arkkitehtikoulun perustajan Walter Gropiuksen kynästä. Gropius pyrki yhdistämään ajatukset standardisoinnista ja toiminnallisuuden rakennusten teolliseen tuotantoon ja loi useita ideoita moduulirakentamisesta. (Elgård & Miller 1998). Gropiuksen ideat toivat esituotantoasteen kasvattamisen mahdollisuudet esille, mutta varsinaiseen tilaelementtituotantoon hänen suunnitelmistaan on vielä matkaa.

Suomessa ensimmäisinä tilaelementteinä markkinoille ilmestyivät kylpyhuoneelementit. Ensimmäisenä kylpyhuone-elementit markkinoille toi A-Elementti Skånska Cementgjuteriet AB jo vuonna 1963 (Hytönen & Seppänen 2009, s. 77). Seuraava askel tilaelementtien yleistymisessä Suomessa oli väistötilojen ja työmaatoimistojen kehitys ja näiden yleistyminen. Väistötilojen kysyntä lähti nousuun vuosituhannen taitteessa (Konttinen 2014) ja vuonna 2020 pelkästään Suomen kymmenessä suurimmassa kaupungissa oli väistötiloissa yhteensä yli 17 000 koululaista (Toivonen 2020).

Viimeisen kymmenen vuoden aikana puurakenteiset kerrostalot ovat yleistyneet ja sen mukana myös tilaelementtien käyttö näiden toteuttamisessa. Puuinfon tilastojen mukaan (Puuinfo 2022) Suomeen valmistui vuoden 2022 kesällä 130. asuinpuukerrostalo. Näistä 40 % eli 52 kpl on toteutettu joko massiivipuisilla tai rankarunkoisilla tilaelementeillä. Puukerrostalojen rakentamisen trendi on selkeästi nouseva. Näistä 130 valmistuneesta puukerrostaloista 90 kappaletta on valmistunut vuosien 2015–2022 aikana. Myös tulevaisuuden trendi näyttää kasvavalta, selviää Ympäristöministeriön kesäkuus-

sa 2022 julkaistusta Suomalainen puukerrostalohankekanta -selvityksestä. Selvityksen mukaan varmasti toteutuvien asuinpuukerrostalohankkeiden laajuus on yhteensä lähes 400 000 kerrosneliömetriä, mikä arviolta yli kaksinkertaistaa nykyisten puukerrostaloasuntojen määrän (Ympäristöministeriö 2022).

Ympäristövaikutusten huomioiminen sekä teollisen rakentamisen megatrendi voidaan nähdä merkittävänä ajureina puisen tilaelementtirakentamisen kasvun ja kehittymisen kannalta. Markkinavetoiset instrumentit kuten EU:n taksonomia voivat kannustaa puurakentamisen pariin ja samalla rakennusalan paikallaan seissyttä tuottavuutta on mahdollista parantaa huomattavasti teollisen esivalmistusasteen nostamisen myötä. Kehitystyötä tilaelementtirakentamisen osalta on kuitenkin vielä paljon. (H6, haastattelu 31.3.2023)

## **2.2 Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka**

Puuteollisuus Ry julkaisi syksyllä 2022 Ympäristöministeriön rahoittaman kaksivuotisen tutkimuksen tulokset Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka -lehtenä (Puuteollisuus Ry, 2022). Tutkimusprojektin tarkoituksena oli teollisen puurakentamisen kokonaisvaltainen tehostaminen osaoptimoinnin sijaan, sekä kilpailukyvyn merkittävä parantaminen. Tutkimus keskittyi nimenomaan puukerrostaloihin. Tavoitteeksi projektissa otettiin 20 %:n tuottavuusloikka vuoden 2020 vertailutasoon nähden. Hankkeessa tarkasteltiin koko rakentamisen prosessia tilaajan päätöksistä, kaavoituksesta ja suunnittelusta lähtien. (Puuteollisuus Ry 2022)

Hankkeessa kartoitettiin puukerrostalon nykytila hankkeen alkuhetkellä, minkä kautta arvioitiin kehityskohteita ja -potentiaalia sekä luotiin vertailutaso. Hankkeiden keskeisinä tuloksina luotiin toimenpidesuosituksia hankkeen eri osapuolille tuottavuuden parantamiseksi, määriteltiin uusia sopimusmalleja ja juridiikkaa sekä koottiin vakiokirjasto hankkeen aikana syntyneistä vakioiduista detaljeista ja suunnitteluratkaisuista avoimeen käyttöön. (Puuteollisuus Ry, 2022)

Projektin alussa tavoitteeksi asetettuun 20 %:n tuottavuusloikkaan päästiin. Keskeisenä tekijänä tavoitteeseen pääsystä on hankkeen tehdastuotannon osuuden kasvattaminen mahdollisimman suureksi. Merkittävimmät edistysaskeleet tuottavuudessa saadaan sillä, että kaikki yhteiset tilat pois lukien väestönsuojat, toteutetaan tehtaalla val-

miiksi asti. Tämä vaatii oikeanlaisia ratkaisuja etenkin talotekniikan, parvekkeiden sekä julkisivun suunnittelun osalta. Vakioidulla ja paremmin toteutetulla suunnittelulla parannetaan myös asennusnopeutta työmaalla, kun vältetään ylimääräisiltä häiriöiltä ja laatupoikkeamilta. Nämä seikat yhdessä myös lyhentävät hankkeen läpimenoaika ja pienentävät rakentamisen aikaisia käyttö- ja yhteiskustannuksia. (Puuteollisuus Ry, 2022) Kyseisessä tutkimuksessa esille tuotuja kehitysehdotuksia tuodaan esille ja sovelletaan osana tätä tutkimusta.

### 3 TILAELEMENTTIEN RAKENNE

Kohdeyrityksen kohteet ovat tähän mennessä toteutettu rankarunkorakenteisilla tilaelementeillä. Lisäksi virolainen puuelementtiteollisuus koostuu suurimmaksi osaksi rankarakenteisista elementeistä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, liite 1). Toinen yleisesti käytetty valmistustapa tilaelementeille on massiivipuuelementeistä koottu tilaelementti. Ymmärtääksemme rakennuskohteen suunnittelua ja tilaelementtivalmistuksen sekä työmaatekniikan vaatimuksia, tulee olla vähintäänkin yleiskäsitys puisista rakenteista ja niiden toimivuudesta. Rakenteiden tarkastelussa käydään yleisellä tasolla läpi sekä rankarunko-, että massiivipuurakenteisen tilaelementin rakenneratkaisuja sekä tilaelementtien toimintaa rakentamisen ja käytön aikana.

Rankarunkoinen rakenne perustuu kantaville seinille, joissa vaakarakenteet yleensä asennetaan seinien ala- ja yläpintaan. Lisäksi rankarunkorakenteessa kantavat seinät toimivat usein jäykistävinä rakenteina. Rankarungossa seinien mitoituksen määrää yleensä tukipainekestävyys ala- ja yläohjauspuussa sekä pystyrakenteen eli tolpan nurjahduskestävyys (Puuinfo 2020b). Rakenteiden pystykuormien tulisikin näin ollen siirtyä mahdollisimman suoraan perustuksille, jotta vältetään ylimääräiseltä epäkeskeiseltä kuormalta kantaville rakenteille. Kantavien seinien tulisikin sijaita samoissa kohdissa kerrosten välillä (Puuinfo 2020b), jotta rakentaminen on suunnittelun sekä toteutuksen kannalta tehokasta ja toiminnallista. Tämä toisaalta rajoittaa rakennuksen asuntopohjien suunnittelua, mutta toisaalta myös tukee tilaelementtien keskeistä etua, eli toistuvaa tehdasmaista tuotantoa eli prosessointia. Mainio esimerkki tästä Suomeenkin toimintansa laajentanut BoKlop, joka on Skanskan ja Ikean yhdessä perustama yritys. BoKlop rakentaa tilaelementtirakenteisia kerros- ja luhtitaloja, joissa samat kolme asuntopohjaa toistuvat joka kohteessa (BoKlop). Tällä esimäärittelyllä yksinkertaistetaan suunnittelua ja tehostetaan rakentamista etenkin tilanteessa, jossa rakentaja suosii tiettyjä tilaelementtitoimittajia tuotannossaan.

Tällä hetkellä vakioituja esimerkkipuurakenteita on saatavilla Finnish Wood Researchin teollisen puuelementtirakentamisen tutkimusohjelman pohjalta on laaditussa RunkoPES 2.0:ssa, joka on aavoin puuelementtistandardi. RunkoPES pyrkii vakioimaan ja helpottamaan puuelementtirakenteista asuntotuotantoa tarjoamalla vakioituja rakenne-

ja liitosratkaisuja. RunkoPES on kohdennettu suurelementtituotantoon, mutta standardi on paremman puutteessa sovellettavissa myös tilaelementteihin ja sisältää myös tilaelementtien tuotantoon soveltuvia rakennetyyppejä. (Puuinfo 2020c)

### 3.1 Alapohja

Mikäli rakennuksen alapohja tullaan toteuttamaan puurakenteisen, voidaan tämä toteuttaa tuulettavana alapohjarakenteena osana tilaelementtiä, mikä on yleisin rakenneratkaisu tilaelementeistä valmistetuissa kohteissa, joissa myös alin kerros on puurakenteinen. Usein puukerrostaloissa alin kerros toteutetaan myös betonirakenteisena. Tuulettuvalla alapohjalla saavutetaan muun muassa puisten seinärakenteiden alapään riittävä etäisyys maanpinnasta sekä vältetään maanvaraisissa rakennuksissa välttämättömiä työvaiheita ja järjestelmiä, kuten radontuletus tai kapillaarisepelitäyttö. (Tolppanen 2013, s. 53) Mikäli rakennuksen alapohja on betonirakenteinen, voidaan tilaelementit asentaa joko suoraan perusmuurien päälle tai tehdä ensimmäinen rakennuksen ensimmäinen kerros betonirakenteisena, jolloin tilaelementtejä hyödynnetään vain ylemmissä kerroksissa. Erilaiset liittorakenteet tarjoavat myös vaihtoehtoisia toteutustapoja.

Tehdasvalmisteisen tilaelementin toteutettavissa olevaa kokoa rajoittaa pääasiassa elementtien kuljettaminen ja siirrot tehtaan ovista työmaalle sekä tilaelementin painon myötä nostoetäisyyksien järkevänä pitäminen (Puuinfo 2020a, H5, haastattelu 24.5.2023). Tästä johtuen vaakarakenteiden jännevälit jäävät maltillisiksi, minkä vuoksi rakenteet voivat rakennemitoituksen puolesta olla kevyitä.

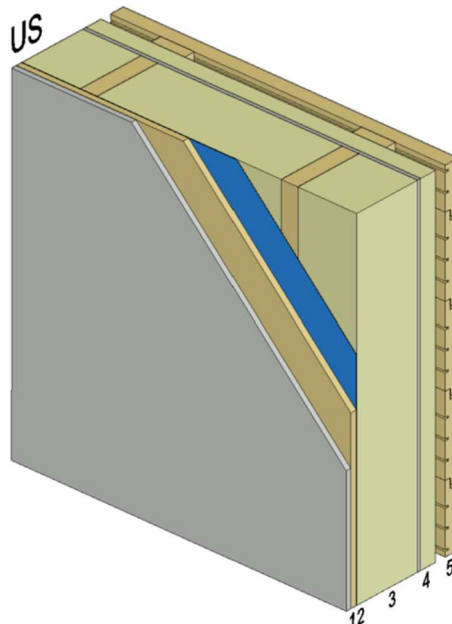
### 3.2 Vaakarakenteet

Tilaelementtien vaakarakenteet eivät periaatteiltaan poikkea muistakaan puurakenteisista ala-, väli- ja yläpohjista. Rakenteena voidaan käyttää esimerkiksi palkkivälipohjaa, kotelolaattaa tai ripalaattaa, joista jälkimmäistä käytetään etenkin CLT-välipohjissa. Hybriditaloissa voidaan käyttää CLT:tä myös liittorakenteena betonin kanssa. (Tolppanen 2013, s. 42–45). Lisäksi ohuita betonivaluja voidaan käyttää myös tavanomaisen tilaelementin sisällä parantamaan askeläänieristystä (H3, haastattelu 15.3.2023). Yläpohjan kantava rakenne voidaan edellä mainittujen lisäksi toteuttaa myös naulalevyristikoilla (Tolppanen 2013, s. 66).

Tilaelementtirakentamisen keskeisenä teemana on esivalmistusasteen nostaminen ja tämän myötä rakennustyömaan nopeampi läpimenoaika, joten lähtökohtaisesti on järkevää toteuttaa myös vesikatto elementteinä, jolloin rakennus saadaan nopeasti säältä suojaan jo rakennusvaiheessa. Vesikattoelementit voidaan toimittaa joko kylminä elementteinä tai vaihtoehtoisesti valmiina pakettina, joka sisältää aluskerman, lämmöneristeet, ilman- ja höyrynsulut sekä mahdollisesti jo sisäpuolen pintaverhoilutkin. (Tolppanen 2013, s.69). Kylmillä elementeillä tarkoitetaan esimerkiksi pukkirakenteista tuuletuvaa yläpohjaa, jossa lämmöneristäminen toteutetaan elementtiasennuksen jälkeen esimerkiksi puuvillalla. Puuelementtirakenteisella vesikatolla saavutetaan merkittäviä aikatauluhyötyjä, mutta myös kustannussäästöjä voidaan tavoitella, kun rakennustyön aikainen sääsuojaus ei ole välttämätöntä, sillä vesikattoelementit ovat myös pääasiallinen keino puisen tilaelementtikerrostalon työmaa-aikaiseen sääsuojaukseen.

### 3.3 Seinärakenteet

Rankaruonkoinen seinä toimii tilaelementissä sekä kantavana, että jäykistävänä seinänä. Kuvassa 3 on esitetty tyypik kuva rankarunkorakenteisesta ulkoseinästä.



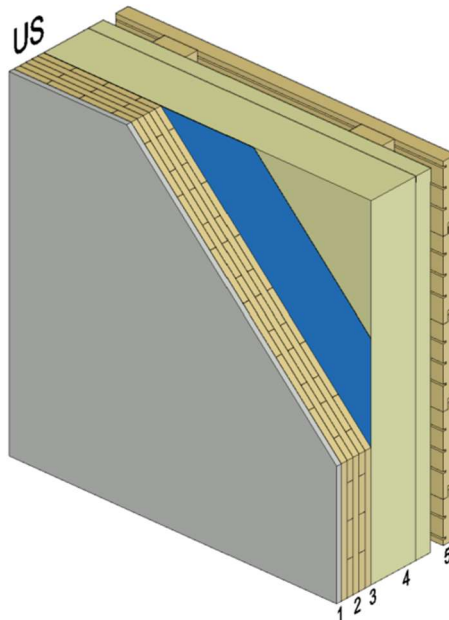
**Kuva 3: Rankarunkoinen ulkoseinärakenne (ePuu järjestelmät)**

Yllä olevassa kuvassa rakenne on esitetty sisältä ulospäin. Alla on rakenteet kuvattuna.



1. Sisäpuolen levytys, joka toimii myös seinän jäykistävänä levytyksenä. Koostuu yleensä kahdesta levykerroksesta, joista alempi on jäykistävä puulevy (Epuu järjestelmät) ja pinnalla käytetään yleensä kipsilevyä, jonka päälle tehdään pintakäsittely. Molempia näistä levykerroksista voidaan hyödyntää myös ääni- ja paloteknisenä levytyksenä.
2. Levytysten takana sijaitsee höyrysulkukalvo (ePuu). Tilaelementtirakentamisessa erityistä huomiota tulee kiinnittää niin suunnittelu- kuin asennusvaiheessakin siihen, että höyrynsulku saadaan myös moduulien liitosten yli jatkumaan yhtenäisenä.
3. Ranka- ja eristekerros.
4. Tuulensuojalevytys
5. Ulkoverhous

Tilaelementeissä kaikkia seinät ovat aina kantavia. Kantavan rankarunkoisen seinän paksuus on tyypillisestä A-energialuokassa toteutettavassa rakennuksessa 350–500 mm sisältäen ulko- ja sisäverhouksen (RunkoPES 2.0 osa 11). Alla on esitetty vastaava massiivipuurakenteinen kantava ulkoseinä.

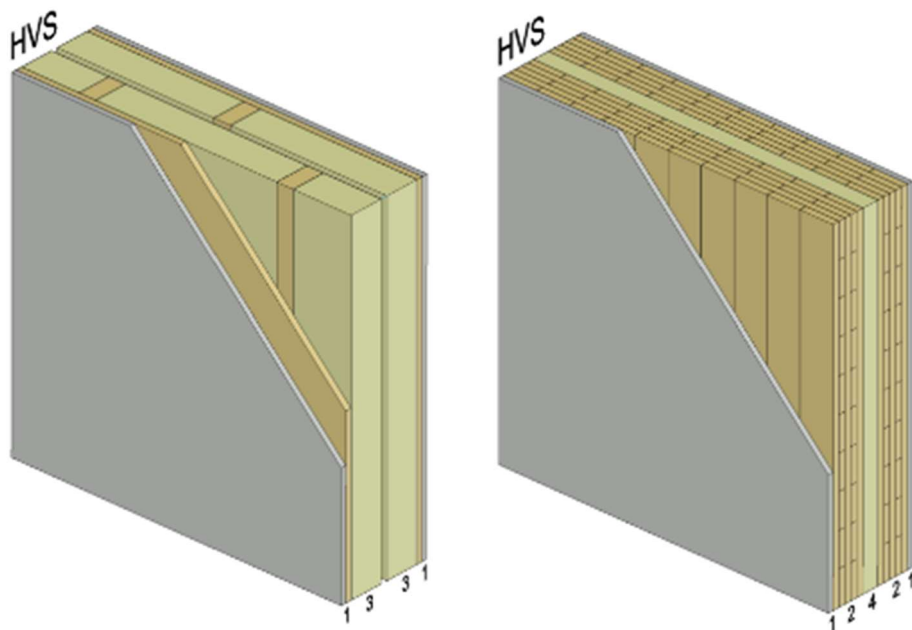


**Kuva 4: Massiivipuinen ulkoseinärakenne (ePuu järjestelmät)**

Massiivipuurenkaisen ulkoseinän toimintaperiaate rakennuksessa on samanlainen kuin rankarunkoisessa, mutta rakenne eroaa hieman.

1. Sisäpuolen levytys, jonka pääasiallinen tarkoitus on edistää ilmaaneneristävyyttä. Tämä on mahdollista sijoittaa myös sisäkuoren massiivipuun sisäpuolelle, mikäli halutaan jättää massiivipuinen levytys näkyviin. (ePuu järjestelmät)
2. Massiivipuulevytys, joka kantavissa seinissä on yleensä vähintään 5-kerroksinen, eli ainakin viisi ristiin laminoitua puukerrosta (ePuu järjestelmät).
3. Höyrynsulkukerros, joka voidaan toteuttaa myös ilman erillistä kalvoa, mikäli massiivipuulevy paksuuden ja rakenteen puolesta täyttää tämän vaatimukset (ePuu järjestelmät)
4. Massiivipuuelementeissä käytetään yleensä jäykkää tuulensuojakerroksen omaavaa lämmöneristettä.
5. Tuuletusrako ja ulkoerous

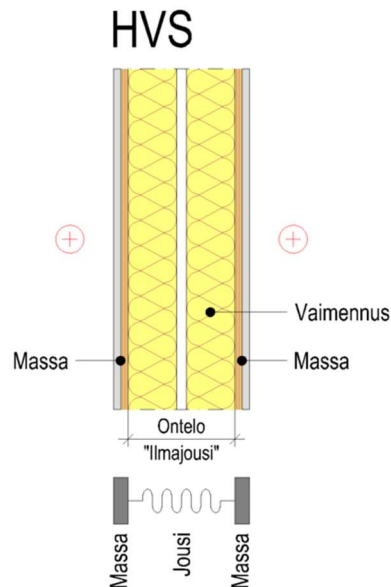
Tilaelementeissä moduulien väliset seinät toimivat samalla huoneistojen välisinä seininä. Myös silloin, kun seinä on samaa asuntoa jakava. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että molemmissa tilaelementeissä väliseinän tulee olla kantava seinä ja yhteen asennettuna seinät muodostavat alla esitetyn HVS-rakenteen.



**Kuva 5: Rankarunkoinen ja massiivipuinen HVS-rakenne(ePuu järjestelmät)**

Rakenne koostuu tuplaseinästä, joiden välissä on ilmarako, jota kutsutaan ilmajouseksi (Epuu ääneneristys). Toisin kuin esimerkiksi betonirakenteissa seinäelementissä, käytettäessä puuelementtiä ääneneristys perustuu pelkän massan sijasta jousi-massarakenteeseen. Tilaelementin HVS-, eli huoneistojen välisessä seinärakenteessa kah-

den tilaelementin seinärakenteet muodostavat kaksi erillistä massaa, joiden väliin jää ilmajousi (ePuu ääneneristys). Vastaavaa rakenneratkaisua voidaan käyttää myös puuelementtirakenteisessa ulkoseinässä. Periaatekuva edellä mainitusta rakenteesta on esitetty kuvassa 6.



**Kuva 6: Jousi-massa -rakenne huoneistojen välisessä seinässä (ePuu ääneneristys)**

Rakenteen ääneneristävyttä voidaan parantaa esimerkiksi kasvattamalla massojen välissä olevaa ilmatilaa tai täyttämällä sen pehmeällä vaimentavalla materiaalilla, kuten mineraalivillalla. Myös seinärakenteen lisälevytys parantaa ääneneristävyttä tämän kokonaismassan kasvaessa. (ePuu ääneneristys).

### 3.4 Tilaelementtien liitokset

Tilaelementit valmistetaan tasoelementeistä linjastolla käyttäen tavallisia puisten tasoelementtien liitostekniikoita, minkä vuoksi tilaelementtien sisäiset liitokset eivät juurikaan eroa vastaavan suurelementtirakenteisen tai paikalla rakennetun puutalon liitoksista. Tilaelementtien ankkurointi perustukseen sekä keskinäiset liitokset sen sijaan usein poikkeavat niin sanotusti perinteisemmässä rakentamisessa käytettävistä liitoksista muun muassa mahdollisten tärinävaimentimien osalta.

Tietynasteinen liitostyyppien vakioiminen tai avoimen liitoskirjaston laatiminen on myös nähty potentiaalisena kehityskohteena, jolla voitaisiin tehostaa tilaelementtikohteiden suunnittelua ja toteutusta. (H5, haastattelu 24.3.2023, H6, 31.3.2023)

### **3.5 Talotekniikka tilaelementeissä**

Tilaelementtirakenteisessa puukerrostalossa voidaan ennakoivalla suunnittelulla myös talotekniikkatyöt toteuttaa lähes kokonaan elementtitehtaalla, jolloin työmaalle jää vain kerrosten ja moduulien väliset liitokset toteutettavaksi. Talotekniikan yksinkertaista ja tehdaspainotteista toteuttamista helpottaa asuntojen toteuttaminen niin, että keittiö ja pesutilat sekä mahdolliset muut viemärintipisteet sijoitetaan samaan moduuliin asunnon koostuessa useammasta moduulista (Puuteollisuus 2022, s.24). Tällöin asuntojen sisällä tehtäviin liitoksiin jää korkeintaan lattialämmitysputkien liittäminen, mikäli kohde toteutetaan lattialämmityksellä. Lisäksi käytävää palvelevan talotekniikan sijoittaminen tilaelementin seinään mahdollistaa myös käytävän pintatöiden valmiiksi tekemisen tehtaalla olettaen, että myös työmaalle jäävät asennus- ja liitostöiden tekemiselle on suunniteltu asennusluukku (Puuteollisuus 2022, s. 58).

Tähän mennessä Suomessa toteutetuissa tilaelementtikohteissa ilmanvaihto on toteutettu pääasiassa asuntokohtaisena, mikä poikkeaa betonirakenteisissa kerrostaloissa yleensä käytetystä keskitetystä ilmanvaihdosta. Tästä johtuen voidaan ilmanvaihtojärjestelmien asennukset suorittaa työmaatoteutuksen sijaan tehdasvalmiina asennuksina, minkä lisäksi se vähentää talotekniikkakuilujen tilantarvetta. Myös koneellista ilmanvaihtoa on käytetty esimerkiksi Tampereen opiskelija-asunto säätiö TOASin Kaupin sekä Lumipuun kohteissa (Sivu, 2023), jolloin ilmanvaihdon liitostyöt on toteutettu tekniikkakuilussa. Keskitetty ilmanvaihto voidaan nähdä helpommin huollettavana.

### **3.6 Tilaelementtikerrostalon jäykistys**

Rakennuttajan pääasiallisena tehtävänä ei ole jäykistyslaskennan tai käytettävien rakenteiden mekaniikan ratkaisujen soveltaminen, mutta tästäkin huolimatta on olennaista kuitenkin ymmärtää perusteet tilaelementtikerrostalon jäykistystavoista, koska se mahdollistaa jo pääsuunnitteluvaiheessa asian huomioon ottamisen etenkin kerrospohjien suunnittelussa. Varhaisessa vaiheessa tehtyjen suunnitteluratkaisujen avulla voidaan saavuttaa rakentamisen kustannussäästöjä tai rakennuksen toiminnallisten ominaisuuksien osalta perustavanlaatuisia parannuksia. Rakennuksen jäykistykseen kan-

nalta keskeisessä roolissa on jäykistysjärjestelmän geometria, joka puolestaan määrittää jo arkkitehdin laatimissa pääsuunnitelmissa.

Rakennuksen jäykistämisen tarkoituksena on siirtää tähän kohdistuvat ulkoiset vaakakuormat, kuten tuulikuormat perustuksille mitoituskriteereiden mukaan, jolloin vältetään rakennuksen kaatuminen tai vaurioituminen. Rungon jäykkyyden ja stabiliteetin kannalta vaakasiirtymät eivät saa kasvaa liian suuriksi, jolloin ne voisivat aiheuttaa rakennukselle rakenteellisia muutoksia. Jäykistävien seinien tulee sijaita samassa linjassa läpi koko rakennuksen, jotta vaakaja pystykuormat saadaan siirrettyä suoraa linjaa perustuksille ilman kuormien siirtorakenteita. (Tolppanen et al. s. 88, 92). Puurakenteiset tilaelementit ovat kerrostalorakentamisessa yleisesti käytettyyn betoniin verrattuna niin kevyitä, että niiden oman painon aiheuttama kuorma ei välttämättä riitä kumoamaan rakennukseen kohdistuvien vaakavoimien aiheuttamaa nostetta (Kaukojärvi, 2021). Tämä vaikutus korostuu etenkin rakennuksen kerrosluvun kasvaessa.

Keskeinen ero tilaelementtirakenteisen puukerrostalon ja betonikerrostalon välillä jäykistämisen näkökulmasta on välipohjan jatkuvuus. Betonikerrostalossa on yhtenäinen asunnosta toiseen jatkuva jäykkä välipohja, kun taas tilaelementtirakenteisessa puukerrostalossa välipohja muodostuu useista joustavin liitoksin kytketyistä välipohjajäsenistä. (Lehtonen 2022, s. 23) Näin ollen tilaelementtirakenteisessa puukerrostalossa jokainen huoneisto toimii yleensä omana jäykistysjärjestelmänään. Kun tilaelementit kiinnitetään toisiinsa, jakautuvat vaakakuormat eri tilaelementeille, tässä tapauksessa siis eri huoneistoille (Tolppanen et al. 2013, s. 90). Suurellementeistä rakennetuissa puukerrostaloissa jäykistämiseksi voidaan käyttää apuna esimerkiksi hissikuilua tai porrashuonetta. Tilaelementtirakenteisessa puukerrostalossa ei kuitenkaan hissikuilua tai porrashuonetta voida tavanomaisesti mitoittaa jäykistämään rakennusta. (Lehtonen 2022, s. 24). Korkeampiin tilaelementtikerrostaloihin on osassa kohteista valettu esimerkiksi paksuja betonilaattoja, jotta rakennuksen kokonaisuudessa saadaan kasvatettua. Tällä tavoin voidaan vähentää vaakakuormien vaikutusta rakenteisiin, mutta vastapainoksi ratkaisu näkyy myös rakennuksen kantavien rakenteiden mitoittamisessa (Puuinfo 2021b; H3, haastattelu 15.3.2023).

## 4 PALOTURVALLISUUS

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälä 117b (MRL 132/199, 117b §) käsittelee rakennusten paloturvallisuutta. Siinä on listattuna alla olevat viisi osa-aluetta, joille on asetettu teknisiä vaatimuksia. Kyseistä pykälää täydentämään ja tarkentamaan on laadittu Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017)

Puukerrostalon paloturvallisuus herättää laajasti mielipiteitä, jotka usein perustuvat mielikuville tai ovat vain osa totuutta. Puukerrostalon palonkestovaatimukset ovat samat kuin betonirakenteisillakin, kun puhutaan 3–8-kerroksisista rakennuksista. Puukerrostalojen pinnoille on kuitenkin asennettu tiukemmat vaatimukset, minkä lisäksi yli 2-kerroksiset usean asunnon puukerrostalot tulee varustaa automaattisella sammutusjärjestelmällä. Tässä kappaleessa käsitellään keskeisiä suunnitteluun ja kustannuksiin vaikuttavia puukerrostaloja koskevia palomääräyksiä.

### 4.1 Rakennuksen paloluokitus ja sammutusjärjestelmä

Yli kaksikerroksiset puutalot kuuluvat paloluokkaan P2, jossa puutaloilta edellytetään automaattista sammutusjärjestelmää (Puuinfo 2020d). Automaattisten sammutusjärjestelmien vaatimukset on määritetty standardissa SFS-EN 16925:2018 sekä sen kansallisissa liitteissä. Kyseinen standardi on vuonna 2020 korvannut aiemmin käytössä olleen standardin SFS 5980, jota myös Suomessa on aiemmin käytetty automaattisten sammutuslaitteistojen mitoituksissa. (SFS-EN 16925:2018)

Standardissa sprinklerilaitteistot on jaettu kolmeen eri tyyppiin, jotka määrittellään vesivuon vähimmäistiheyden, mitoitus sprinklerien lukumäärän sekä vesilähteen vähimmäistoiminta-ajan mukaan. Näistä jälkimmäisen vaatimus on kaikissa luokissa sama. P2 paloluokan 3–4-kerroksisissa taloissa, joiden maksimikorkeus on 14 metriä, edellytetään standardin mukaista 2-luokan sammutusjärjestelmää ja 5-8 -kerroksisissa P2 paloluokan rakennuksissa, joiden maksimikorkeus on 28 metriä, edellytetään 3-luokan mukaista sammutusjärjestelmää. (SFS-EN 16925:2018) Aiemmin edellä määriteltyihin 5-8-kerroksisiin puukerrostaloihin on sovellettu myös standardin SFS-EN 12845:2015 mukaisia paloluokkia. Yli 8-kerroksiset tai yli 28 metriset rakennukset puolestaan kuu-

luvut paloluokkaan P0, jolloin kohde tulee toteuttaa toiminnallisella palomitoituksella (Lahtela 2021, s. 10).

Sammutusjärjestelmäksi suositellaan korkeapainevesisumusammutusta, jolloin palotilanteessa järjestelmä ei suihkuta suoraan vettä, vaan nimensä mukaisesti vesisumua, joka leviää tehokkaammin koko vaikutusalueelle. Järjestelmän palon tukahduttamiseen tarvittava vesimäärä on jopa kymmenesosa perinteiseen vesisammutusjärjestelmään verrattuna (Puuinfo 2020e). Tämä auttaa rajaamaan palotilanteessa vesivahingot, sekä tuomaan kustannussäästöjä järjestelmän rakentamisessa pienempien putkistojen myötä.

Asuinkerrostaloissa jokaisesta asunnosta tulee olla yksi uloskäytävä sekä varatie. Asuinkerrostaloissa varatie toteutetaan lähtökohtaisesti aina parvekkeen kautta joko nostoauton avulla tai poistumislukkuina ja tikkaina. (Lahtela 2021, s. 59) Parvekkeen toimiessa varatienä, tulee automaattisen sammutusjärjestelmän tällöin kattaa myös parveke (YMa 848/2017, 39 §).

## 4.2 Rakennusosien paloluokitus

Kantavat ja osastoivat rakenteet suunnitellaan REI-luokkavaatimusten mukaan. REI-luokituksessa kantavat ja osastoivat rakennusosat luokitellaan niiden palonkestävyyden mukaan kantavuuden (R), tiiviyyden (E) ja eristävyys (I) osalta. R-luokka koskee ainoastaan kantavia rakenneosia. Lisäksi voidaan käyttää lisätunnusta M, joka kuvaa iskunkestävyyttä palotilanteessa. Käytännössä M merkintää käytetään seinärakenteen toimiessa palomuurina eli esimerkiksi kaksirappuisen kerrostalon rappuja erottavassa seinässä. Palomuurin käyttämien tulee tarpeeseen myös silloin, kun suunniteltu asuinrakennus ylittää määräysten mukaisen kerrosalan, jolloin se tulee jakaa pienempiin osiin palomuurilla. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudessa määrittää asuinrakennusten sallituksi kerrosalaksi maksimissaan 12 000 kerrosneliometriä Puukerrostalojen suunnittelussa haastetta lisää se, että puurakenteiselle palomuurille ei ole olemassa eurokoodiin pohjautuvia taulukkomitoituksia eikä myöskään valmiita rakennetyyppejä. (YMA 848/2017) Elina Rastas (Rastas 2021) osoitti diplomityössään, että CLT-rakenteinen palomuri on mahdollista toteuttaa siten, että se täyttää kaikki sille osoitetut palonkestovaatimukset. Tutkimus tehtiin tapaustutkimuksena TOAS Hippoksen kohteeseen, mistä johtuen sen tuloksia ei voi suoraan käyttää muissa kohteissa.

P2-paloluokan 3-8 -kerroksisessa ja alle 28 metriä korkeassa kerrostalossa rakenteen kantavuusluokka on R60 (Lahtela 2021, s. 20). Näin ollen kantavien ja osastoivien rakenteiden luokaksi tulee REI60 ja ainoastaan osastoivien rakenteiden luokaksi EI60. P0-paloluokan rakennuksissa rakennusosien paloluokat määräytyvät toiminnallisen palomitoituksen mukaan, jota käsitellään kappaleessa 4.6.

### 4.3 Rakennustarvikkeiden ja pintojen paloluokitus

Rakennustarvikkeet luokitellaan sen mukaan, miten ne osallistuvat paloon. Luokittelu muodostuu kolmesta osuudesta: osallistumisesta paloon, savun tuotosta sekä palavien pisaroiden tuotosta. Rakennuksen sisä- ja ulkopinnoille on annettu luokkavaatimuksia, jotka pintamateriaalien tulee täyttää. Luokittelu perustuu tarvikkeen käyttäytymiseen palon alussa ja se ei näin ollen B-luokasta alaspäin kerro tuotteen palokäyttäytymisestä. Rakennustarvikkeen ytimelle annetaan tietyissä tapauksissa myös luokkavaatimuksia, jolloin on tarkasteltava koko rakennetta. (Lahtela 2020) Puukerrostalojen kohdalla tämä tulee esille esimerkiksi lämmöneristeiden vaatimuksissa. Puukerrostaloissa tulee kin käyttää palamattomia A-luokan lämmöneristemateriaaleja (Puuinfo 2020e) ja näin ollen esimerkiksi puukuitueristeet eivät lähtökohtaisesti sovellu puukerrostalon eristeeksi (RTS-22:21, 2022). Taulukossa 1 on esitetty osallistumisluokat ja suuntaa antavia esimerkkejä niihin tyyppillisesti kuuluvista materiaaleista.

**Taulukko 1: Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus (muokattu lähteestä Lahtela 2021, s. 23, 25)**

Luokka	Määritelmä	Tyypillisiä materiaaleja
<b>A1</b>	Ei osallistu paloon	Kivi, betoni, tiili, lasi, teräs
<b>A2</b>	Osallistuu erittäin rajoitetusti	Kipsilevyt, sementtikuitulevyt
<b>B</b>	Osallistuu hyvin rajoitetusti	Kipsilevyt, palosuojattu puu
<b>C</b>	Osallistuu rajoitetusti	Palosuojattu puu
<b>D</b>	Osallistuminen hyväksyttävää	Puutuotteet yleensä
<b>E</b>	Käyttäytyminen hyväksyttävää	Huokoinen puukuitulevy
<b>F</b>	Käyttäytymistä ei ole määritetty	Testaamattomat tuotteet

A1-luokkaa lukuun ottamatta määritetään aina myös tuotteen savuntuotto sekä palavien pisaroiden ja osien tuotto. Taulukossa 2 on esitetty näiden luokat sekä kuvaukset.



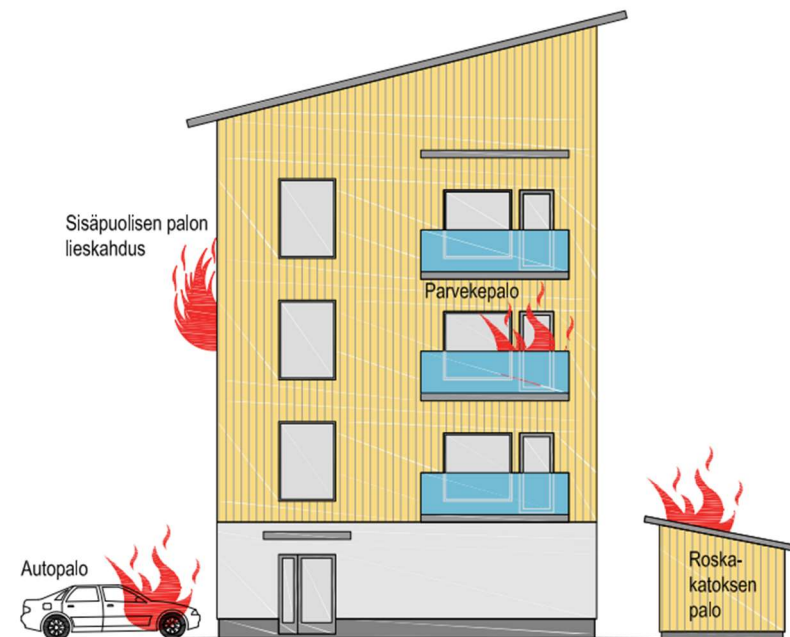
**Taulukko 2: Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus (muokattu lähteestä Lahtela 2021, s. 23)**

Savuntuotto		Palavien pintojen ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Erittäin vähäinen	s1	Ei esiinny	d0
Vähäinen	s2	Esiintyy nopeasti sammuvia	d1
Muu kuin s1 tai s2	s3	Muu kuin d0 tai d1	d2

Lattiapinnoitteiden osalta ilmaistaan vain savuntuotto rajoitettuna (s1) tai muu kuin s1 (s2). Pisarointia ei katsota tapahtuvan lattiapinnoitteessa. Lattiapinnoitteiden luokittelun tunnistaa lisäksi osallistumisluokan perään tulevasta alaindeksistä ”FL”. (Lahtela 2020, s. 24).

#### 4.4 Puujulkisivu

Palosuojaamattoman puujulkisivun käyttö on mahdollista, jos rakennuksessa palon leviäminen puujulkisivua pitkin on rajoitettu (Lahtela 2021, s. 41). Kuvassa 7 on esitettyä tyypillisiä julkisivupalon aiheuttajia.

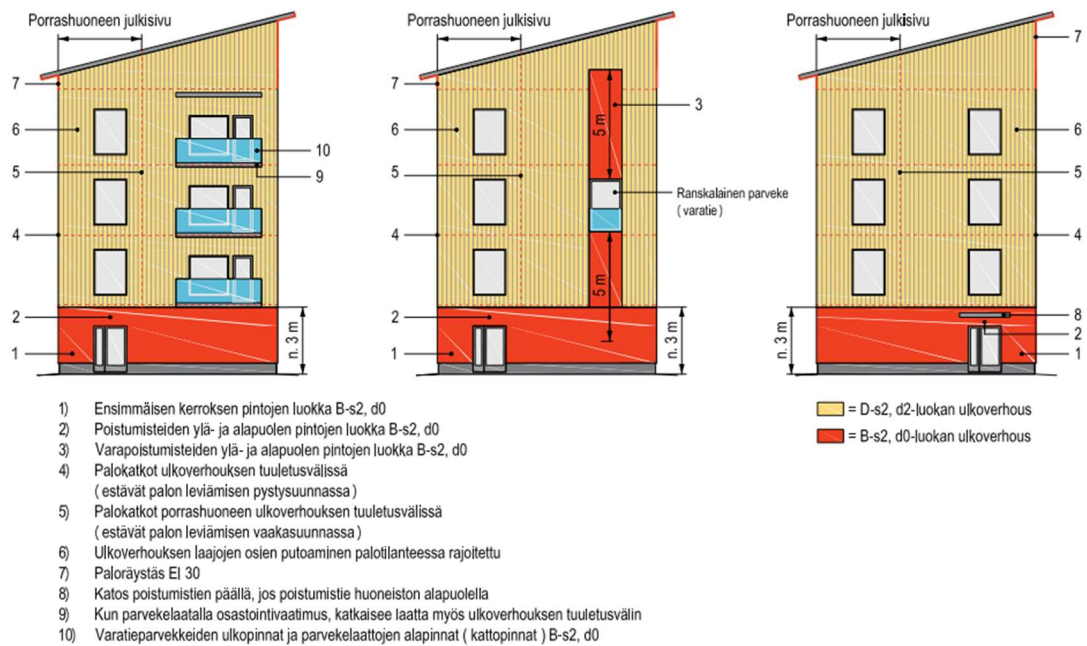


**Kuva 7: Julkisivupalon tyypillisiä aiheuttajia (Lahtela 2021, s. 49)**

Yllä esitetyissä tyypillisissä palotilanteissa tulisi siis estää palon leviäminen asunnosta toiseen tai rakennuksen ulkopuolelta rakennuksen sisälle palo-osastoituun tilaan. Palo leviää pääasiassa julkisivuverhouksen takana olevassa tuuletusraossa. Kerrosten väliin

tulisi asentaa vaakasuuntaiset palokatkot ja myös leveysuunnassa paloa tulee rajata. Tämä on mahdollista tehdä ulkoverhouksen koolauspuita hyödyntäen.

Myös puujulkisivun pitää olla tietyiltä osin palosuojattu ja täyttää luokan B-s2, d0 vaatimukset. Kuvassa 8 on esitettyä julkisivun palosuojauksen periaatteet. Huomionarvoista on, että palosuojattu puinen julkisivupaneeli on huomattavasti tavallista kalliimpaa.



**Kuva 8: Vaatimukset palosuojaamattoman julkisivuverhouksen käytölle (Lah-tela 2021, s. 51)**

Yllä oleva pätee lähtökohtaisesti vain P2-paloluokan rakennuksessa eli korkeintaan 8-kerroksisissa ja 28 metriä korkeissa asuinkerrostaloissa. Tätä suuremmissa kohteissa ehdot ja rajoitukset julkisivulle tarkastellaan toiminnallisen palomitoituksen yhteydessä. Kuvassa 9 on esitettyä Espoon Asuntojen työmaalta lähes valmiiksi tehty puinen julkisivuverhous.

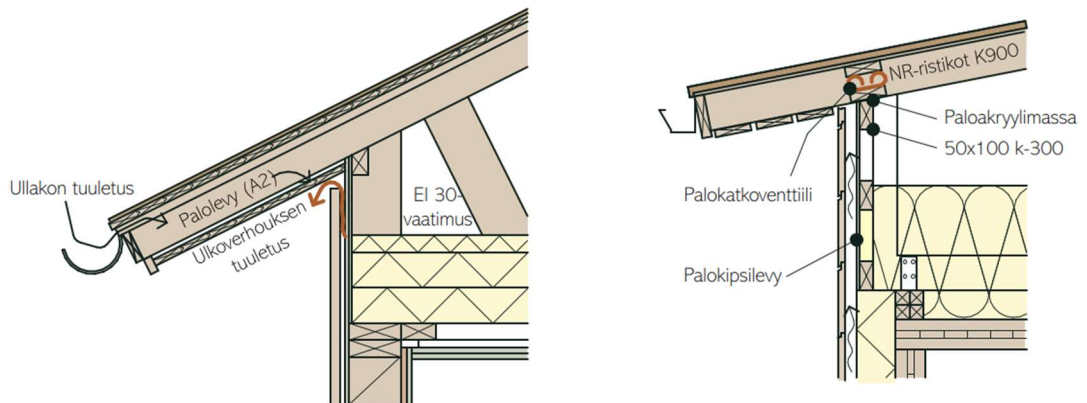


**Kuva 9: Tilaelementtikohteen julkisivuverhous**

Paikan päällä tehty osuus julkisivuverhoilusta erottuu tahattomasti tummempana. Kerrosten väliset palokatkot ovat työmaalla helppo asentaa näihin väleihin ennen loppuun paneloimista. Parvekelinjojen kohdalla julkisivu on paloverhoiltu koko matkalta näiden toimiessa varapoistumisteinä.

Puukerrostalon yläpohjan tuuletus tulee toteuttaa niin, että mahdollinen julkisivupalo ei pääse leviämään tuuletusrakojen kautta yläpohjarakenteeseen. Näin ollen yläpohjan ja ulkoseinän tuuletus on toteutettava erillään ja näiden on oltava osastoituja EI30 luokkaan. (Lahtela 2021, s. 42)

## PALORÄYSTÄSDETALJIT



Ullakko ja ulkoseinä tuuletettava toisistaan erillään, osastointi EI30-rakentein.

**Kuva 10: Esimerkkejä paloräystäsdetaljeista (Puuteollisuus Ry, 2022)**

### 4.5 Suojaverhous

REI-mitoituksen lisäksi voidaan määritellä erikseen suojaverhouksen luokat. Suomessa on taulukkomitoituksen mukaisissa kohteissa käytössä  $K_2 10$  ja  $K_2 30$ . Toiminnallisen palomitoituksen kohteissa voidaan määritellä myös eurooppalaisen suojaverhousluokan  $K_2 60$  mukaisia pintoja. Alaindeksi 2 tarkoittaa, että suojaverhousta voidaan käyttää kaikilla alustoilla. Jälkimmäinen luku puolestaan kertoo, kuinka kauan suojaverhous suojaa alla olevaa rakennetta. Usein suojaverhous otetaan huomioon jo REI-luokituksessa, jolloin sitä ei erikseen kuvissa esitetä. (Lahtela 2021, s. 35-39) Taulukossa 3 on esitettyinä P2-paloluokan asuinkerrostalojen suojaverhousvaatimukset ja oteltuna rakennuksen korkeuden mukaan kahteen kategoriaan.

**Taulukko 3: P2-luokan asuinkerrostalon suojaverhousvaatimukset (muokattu lähteestä Lahtela 2021, s. 38, 64, 72)**

Rakennusosa	Suojaverhous		Pintaluokka	
	3-4 krs.	5-8.krs	3-4 krs.	5-8.krs
<b>Asunnot</b>				
Seinäpinnat	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 30	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Kattopinnat	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 30	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Lattiapinnat	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 30	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Ulkoseinän rungon ulkopinta	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 10	A2-s1, d0	A2-s1, d0
<b>Porrashuone</b>				
Lattiat	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 10	D <sub>FL</sub> -s1	D <sub>FL</sub> -s1
Seinät	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 10	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Katot	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 10	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Porrastasanteet ja syöksyt	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 10	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Portaiden yläpinta	-	-	D <sub>FL</sub> -s1	D <sub>FL</sub> -s1
Porrastasanteiden yläpinta	-	-	D <sub>FL</sub> -s1	D <sub>FL</sub> -s1
Portaiden etupinta	-	-	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Porrastasanteiden etupinta	-	-	A2-s1, d0	A2-s1, d0
<b>Parvekkeet</b>				
Lattiat	-	-	-	-
Laatan alapinta	-	-	B-s2, d0	B-s2, d0
Katot	-	-	B-s2, d0	B-s2, d0
Seinät parvekkeen sisäpuolella	-	-		
Tuuletetun ulkoverhouksen taustapinta	-	-		
Ulkoverhouksen kiinnityskoolaus	-	-	D-s2, d2	D-s2, d2
Kaiteen ulkopinta	-	-	B-s2, d0	B-s2, d0
Ulkoseinän rungon ulkopinta	K <sub>2</sub> 10	K <sub>2</sub> 10	A2-s1, d0	A2-s1, d0
Pilarit	-	-	D-s2, d2	D-s2, d2
Palkit	-	-	B-s2, d0	B-s2, d0

Yllä olevan taulukon suojaverhousmateriaalin pintaluokkavaatimus on aina A2-s1, d0. Pintaluokka-sarakkeessa on ilmoitettu suojaverhoilun alla olevan materiaalin pintaluokka. Huomionarvoista on kuitenkin se, että vähäisten osien pintaluokaksi riittää vaatimusten mukaan B-s1, d0. Vähäisiksi osiksi lasketaan esimerkiksi portaiden puiset kannatinpalkit eli toisin sanoen reisuut. (Lahtela 2021, s. 60, 64).



***Kuva 11: Lumipuussa portaiden reisipuut, askelmat ja kaiteet jätetty näkyvälle puupinnalle (Kuva: Elina Lahdensivu)***

Näihin riittää siis palosuojakäsitellyn puun käyttäminen ilman pintaverhoilua. Asuntojen kohdalla vaatimukset eivät koske yksittäisen asunnon sisäisiä ei-kantavia väliseiniä, jotka voivat olla suojaamattomia ja näille ei ole asetettu pintaluokka- tai suojaverhoausvaatimuksia. Lisäksi paloluokan ollessa P2 ja osastovien rakennusosien ollessa luokkaa REI-60, voidaan suojaverhoamatonta pintaa jättää korkeintaan 20 % näkyviin.



***Kuva 12: Näkyvää puupintaa katossa TOASin Lumipuu-kohteessa (Kuva: Elina Lahdensivu)***

TOASin vuonna 2022 valmistuneessa kohteessa näkyville on päätetty jättää katon CLT-pinta. Näkyville jätettävän pinnan osuutta voidaan kasvattaa nostamalla osastovien rakennusosien luokitusta. (Lahtela 2021, s. 37) Suojaverhouksen alapuoliselle pintarakenteelle ei myöskään ole erillisiä vaatimuksia, vaan rakennetta tarkastellaan kokonaisuutena rakennusosana REI-luokituksen mukaan. (Lahtela, 2021) Puukerrostalossa yleisesti ottaen pintaverhoilun alla on puupinta, joka menee käsittelemättömänä paloluokkaan D-s2, d2.

#### **4.6 Toiminnallinen palomitoitus**

Toiminnallinen palomitoitus perustuu Ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017 3 §). Siinä tarkastellaan kohteena olevan rakennuksen oletettua palonkehitystä ja se kattaa rakennuksessa todennäköisimmin esiintyvät palotilanteet.

Toiminnallista palomitoitusta tulee käyttää puisissa asuinkerrostaloissa, kun rakennuksen kerrosluku on yli 8 tai rakennuksen harjakorkeus ylittää 28 metriä. Toiminnallista

palomitoitusta voidaan myös hyödyntää kohteissa, joissa palomitoitus on toteutettavissa taulukkomitoituksella. Tällä voidaan paikoitellen hakea kustannussäästöjä optimoimalla ratkaisuja. Toiminnallista palomitoitusta on myös mahdollista käyttää taulukkomitoituksen rinnalla yksittäisiin rakennekokonaisuuksiin, esimerkiksi asuinkerrostalon alakerran liiketilaan tai parkkihalliin. (Lahtela 2021, s. 13–15)



## 5 TILAELEMENTTIHANKKEEN TOTEUTUS

### 5.1 Toteutusmuodot

Tilaelementtejä toimitetaan paljon sekä pelkkänä tuoteosatoimituksena, että asennuksen kanssa. Tuoteosatoimituksessa tilaelementtien asennus voi tulla joko tilaelementti-toimittajalta, tilaajan hankintana tai pääurakoitsijan toteuttamana riippuen keskinäisistä urakka- ja toimitussopimuksista. Tuoteosatoimituksen osalta haasteena on, että Suomessa ei vielä juurikaan ole yrityksiä, joilla olisi kokemusta ja olemassa olevaa osaamista puurakenteisten tilaelementtien asentamista. Lisäksi löytyy muutamia toimijoita, jotka toimittavat KVR-urakkana tilaelementit vastaten näin ollen myös muusta työmaatoiminnasta ja suunnittelusta ottaen kokonaisvastuun urakasta.

KVR-urakka on houkutteleva vaihtoehto etenkin ensimmäisiä puukerrostaloja toteuttavalle tilaajalle, koska tällöin valtaosa toteutukseen liittyvistä riskeistä siirtyy pääurakoitsijalle. Vastapainona riskivara tosin huomioidaan myös KVR-urakan hinnoittelussa, mikä saattaa vaikuttaa kokonaiskustannuksiin. (Puuteollisuus Ry 2022, s. 16) Mikäli valitulla KVR-urakoitsijalla ei ole omaa tehdastuotantoa, johtaa tämä herkästi myös tuplakatteeseen suurimman yksittäisen toimituksen, eli tilaelementtien osalta. Lisäkustannukset tästä voivat olla jopa useita prosentteja koko hankkeen kustannuksista. (Puuteollisuus Ry 2022, H4 haastattelu 21.3.2023; H5, haastattelu 24.3.2023) Lisäksi tilaelementtituotantoa tarjoavia KVR-urakoitsijoita on nykyisellään vielä markkinoilla vähän. Mahdolliset työyhteenniittymät voisivat tulevaisuudessa lisätä tarjoajien määrää.

Nykyään puurakentamisessa käytetään usein mallia, jossa pääurakan lisäksi tilaaja tekee myös erillishankintana tuoteosatoimituksia. Tällöin tilaelementit voidaan hankkia pääurakasta erillään ja voidaan välttyä tuplakatteelta tältä osin. Tällöin tilaaja kuitenkin ottaa myös täyden vastuun erillishankinnasta, mikä vaatii tilaajalta lisää henkilö- ja asiantuntijaresursointia hankkeen johtamiseen. (Puuteollisuus Ry 2022, s. 18). Tilaajan erillishankinnassa myös tilaaja vastaa pääurakoitsijalle puuosatoimituksessa ilmenevistä virheistä ja puutteista, mikä kannustaa tilaaja huolehtimaan myös ylimääräisestä laaduntarkkailusta tehtaan päässä. Lisäksi tilaaja vastaa pääurakoitsijalle myös mah-

dollisista tilaelementtituotannon viivästyksistä ja kantaa toimittajariskin. Lisäksi tilaelementtien eriyttäminen omaksi hankinnaksi laskee pääurakan arvoa niin paljon, että se saattaa karsia tarjoajia pois. Toisaalta tässä mallissa tilaaja myös ottaa hankkeen isoimman yksittäisen riskin kantaakseen, mikä saattaa vastapainoksi madaltaa pääura-koitsijoiden kynnystä kohteen tarjoamiseen ja toisaalta laskea tarjouksessa olevia riskivaroja (H4, haastattelu 21.3.2023).

Erilaisia kevyitä allianssimalleja on kokeiltu tilaelementtikohteissa. Tampereen opiskelija-asuntosäätiön TOASin rakennuttama Kaupin puukerrostalo toteutettiin yhteistoiminnallisella mallilla, jossa pääura-koitsija ja keskeisimmät suunnittelijaosapuolet olivat sitoutettuna urakkaan ja tilaelementit tulivat tilaajan erillishankintana. Syitä tähän ratkaisuun päätymiseen olivat edellä mainittu tuplakate, sekä pyrkimys kehittää uusia suunnitteluratkaisuja hankkeen aikana. Lisäksi tiedostettiin, ettei tilaajalla tai pääura-koitsijalla ole riittävää kokemusta ja käytännön osaamista tilaelementtirakentamisesta ja toisaalta tuoteosatoimittajalla ei ole resursseja kantaa koko hanketta. (H4, haastattelu 21.3.2023) Vakiomuotoisesta allianssista poiketen kohteen sopimukseen laadittiin vastuunrajoituksia, eli hankkeessa ei ollut täyttä yhteisvastuuta. (Sivu, 2023) Tavoitteena oli maksimoida tehtaalla tehtävä työ, sekä suunnitella rakenteet ja liitokset niin, että rakennus on mahdollisimman helposti korjattavissa. Kohteen tuoteosatoimittajan aiemmissa kohteissa talotekniikka oli tehty pitkälti vasta työmaalla, muuta Kaupissa pyrittiin jättämään ainoastaan liitostyöt työmaalle tehtäväksi ja tätä varten kehitettiin tilaelementtien yhteyden tekniikkakuilu talotekniikkajärjestelmien toteuttamiseksi. Kohteessa päädyttiin käyttämään CLT-tilaelementtejä, sillä rankarakenteisten tilaelementtien osalta heikkoutena nähtiin se, ettei yksikään valmistaja luvannut ilman- tai höyrynsululle yli 40 vuoden käyttöikä. Toisaalta mahdollisimman yksimateriaalinen rakenne nähtiin myös pitkäaikaiskestävyyden kannalta turvallisena ratkaisuna. Toisin sanoen rakenteet pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisina ja homogeenisinä. (H4, haastattelu 21.3.2023) Kohteessa noudatettiin Openbook periaatetta, jolloin tilaajalla oli tieto hankkeen kaikista kustannuksista laskun tarkkuudella. Hankkeen johtamisesta vastasi johtoryhmä, joka muodostui tilaajan, urakoitsijan ja tilaelementtitoimittajan edustajista. Allianssin tavoitteena kohteessa oli kerätä sekä tilaajalle että osallistujille mahdollisimman laajasti tietoa koko hankkeesta. (Sivu, 2023)



**Kuva 13: TOAS Kauppi (Puuinfo, 2021a)**

TOASin toinen puukerrostalokohde, nimeltään Lumipuu, toteutettiin jaettuna urakkana, jossa tilaelementtitoimittaja toimi pääurakoitsijalle alisteisena sivu-urakoitsijana. Lisäksi urakan alussa toteutettiin hankkeen kehitysvaihe. (Sivu, 2023) Kohteen suunnittelussa ja toteutuksessa käytettiin kuitenkin edellisen kohteen tapaan hyvin allianssityyppisiä integroituja työmenetelmiä ja osapuolten keskinäinen vuorovaikutus oli jatkuvaa (H4, haastattelu 28.3.2023). Tästä esimerkkinä suunnitteluvastuu oli tilaajalla, mutta urakkarajat neuvoteltiin kolmikannassa toteuttajien kanssa (Sivu, 2023). Molemmissa hankkeissa mukana olleen tilaajan rakennuttajakonsultin mukaan tärkein sopimusmaailmaan liittyvä oppi näistä kohteista oli, että hankkeen alustava toteutusmuoto ja sitä kautta selkeä riski-tuotto -jako tulisi olla valmiina ja osapuolten kanssa sovittuna hankkeen alusta lähtien jo ennen suunnittelun viemistä toteutukseen (H5, haastattelu 24.3.2023).

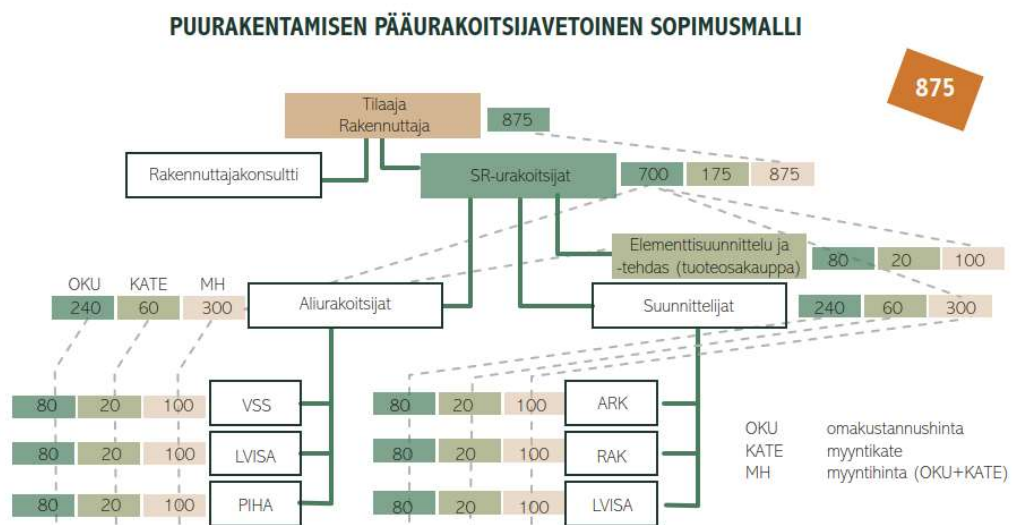
Edellä mainitussa allianssimallissa tunnistettiin sekä hyviä että huonoja puolia. Merkittävänä nähtiin, että suunnittelijat ja urakoitsijat sekä tuotesatoimittaja saatiin aidosti integroitua yhteen, jolloin kehitystyö oli aidosti mahdollista. Isoimpana haasteena koettiin asenteet ja ennakkoluulot sopimus- ja toteutusmuotoa kohtaan etenkin pääurakoitsijan osalta. Tilaajan näkökulmasta pääurakoitsija saattoi kokea, että sopimusmalli uhkasi heidän liiketoimintamalliansa ja ansaintalogiikkaansa. (H4, haastattelu 21.3.2023, H5, haastattelu 24.3.2023). Käytännössä kaikissa yleisesti käytetyissä sopimusmalleissa riski on pääasiassa pääurakoitsijalla. Perinteisiin sopimusmalleihin tottuneet isot organisaatiot saattavat kipuilla sen asian kanssa, että iso osa hankkeen liikevaihdosta otetaan pääurakoitsijalta pois hankkimalla tilaelementit tilaaja erillishankintana, mutta samaan aikaan päävastuu säilyy pääurakoitsijalla. (H5, haastattelu 24.3.2023)

TOASin juuri rakentamisvaiheeseen siirtyneessä Hippoksen kohteessa päädyttiin myös urakkamuotona allianssiin, johon ei kuitenkaan sisällytetty kohteen tuotesatoimittajaa. Tilaajan näkökulmasta toimittajan sisällyttäminen olisi järkevää, mutta edellä mainituksa tilanteessa hankintaneuvotteluissa ollut tuotesatoimittaja oli valmiiksi taloudellisissa vaikeuksissa ja myöhemmin tämä toimittajariski realisoitui. Uuden tilaelementtitoimittajan löytäminen osoittautui vaikeaksi, sillä CLT-tilaelementtejä tarjoavia yrityksiä on koko Euroopan markkinoilla määrällisesti todella vähän. (H5, 30.3.2023) Jälkikäteen tuotesatoimittajan poisjättäminen allianssista voidaan siis nähdä järkevänä riskien näkökulmasta. Yhteistoiminnallisuuden hyötyjen maksimoinnin näkökulmasta tuotesatoimittajan sisällyttäminen allianssiin on kuitenkin ehdottomasti toimiva ratkaisu.

Useimmissa tapauksista rakenne- ja LVIS-suunnittelu tilaelementtien osalta tulee tilaelementtitoimittajalta (H1, 8.12.2022, H3, 15.3.2023). Koska nykyisellään ei ole vakioituja yleisiä suunnitteluratkaisuja, tilaelementtitehtäiden intressi on varmistaa, että tilaelementit voidaan toteuttaa tehtaan omien vakioratkaisuiden raameissa ja toisaalta huolehtia siitä, että hankkeessa on suunnittelijat, joilla on osaamista ja kokemusta tilaelementtirakennusten suunnittelusta. Omiin vakioituihin ratkaisuihin turvautuminen voidaan nähdä tehtaan näkökulmasta järkevänä niin laadunhallinnan kuin kustannustenhallinnankin näkökulmasta, mutta samalla mahdollinen tuotekehitystyö jää nykyisellään yksin jokaisen valmistajan omalle vastuulle. Tämä johtaa myös suunnitteluvastuiden pirstaloitumiseen, sillä tilaajalla lähtökohtaisesti säilyy vastuu perustusten suunnittelusta, KVV-suunnittelusta sekä mahdollisista muista tilaelementtitoimituksen ulkopuolelle jäävistä rakenteista kuten tukimuureista.

Myös erilaiset työyhteenniittymät voidaan nähdä hyvänä mahdollisuutena tilaelementti-kohteiden tarjoamisessa tulevaisuudessa, mutta tällä hetkellä tuoteosatoimittajat ja rakennusliikkeet eivät juurikaan yhteistyötä vielä tee tilaelementtihankkeissa muuten kuin tilaajan kokoamissa organisaatioissa.

Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka -tutkimushankkeessa käsiteltiin myös sopimusmalleja ja tuotiin esiin edellä mainittua ongelmaa tuplakatteiden suhteen. Urakkamalleja vertailtiin vertailuluvun avulla. Kuvassa 14 on esitetty perinteinen pääurakoitsijavetoinen sopimusmalli.

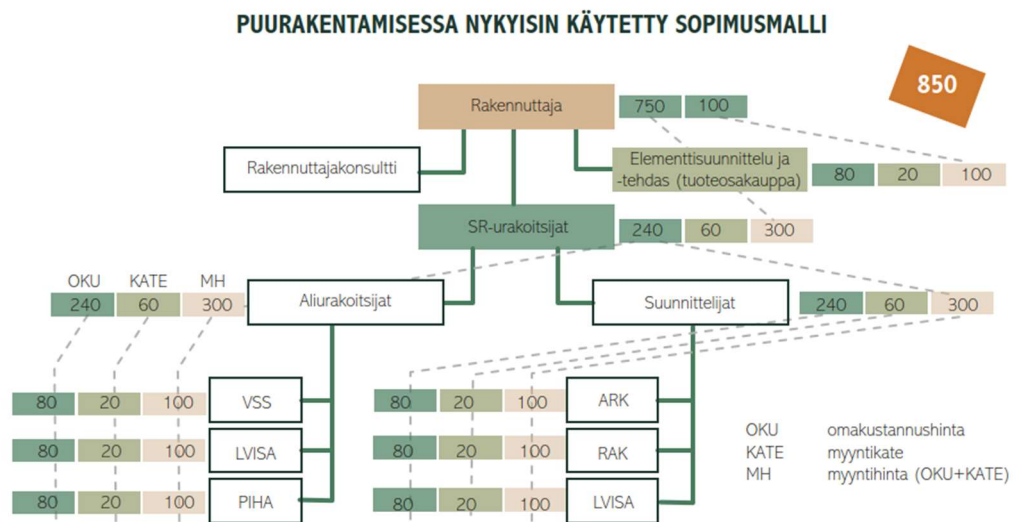


**Kuva 14: Pääurakoitsijavetoinen sopimusmalli. Katetta katteen päälle. (Puutuoteteollisuus ry, 2022, s. 20)**

Yllä oleva malli voisi kuvata esimerkiksi perinteistä KVR-urakkaa. KVR-urakoitsija laittaa omat katteensa sekä tuoteosatoimituksen, että suunnittelukustannusten päälle, mikä johtaa korkeampiin kustannuksiin. Vastapainoksi pääurakoitsija vastaa hankkeen kaikista riskeistä tuoteosatoimitus tuoteosatoimitukseen liittyvät aikataulu- ja toimittajarisikit mukaan lukien. Tilaaajaorganisaation oman osaamisen puute voi myös puoltaa tämän mallin käyttämistä.

Yllä olevan mallin käyttö rajaa kuitenkin potentiaaliset tarjoajat vähiin, koska se vaatii tietotaitoa niin puisten tilaelementtien valmistuksesta, hankekehityksestä, suunnittelusta, suunnittelun ohjaamisesta, työmaatoiminnoista, rahoituksesta kuin isompien projektien johtamisestakin ja luonnollisesti myös resursseja tähän kaikkeen. (Puutuoteteollisuus Ry, 2022, s. 20; H6, haastattelu 31.3.2023). Suomessa tilaelementtitoimittajat

ovat pääasiassa pk-yrityksiä ja Viron puolella olevilla isoilla toimijoilla ei puolestaan ole välttämättä osaamista toimia Suomessa koko hankkeen vetäjinä. Sen sijaan Ruotsissa toimivan Lindbäcksin toiminta perustuu koko projektiketjun hallintaan hankekehityksestä lähtien. Lisäksi tilaelementtien tuoteosatoimituksen päälle tuleva pääurakoitsijan kate voi vastata useita prosentteja koko hankkeen kustannuksista, jolloin moni tilaaja ei koe tätä vaihtoehtoa mahdollisena (Puutuoteteollisuus Ry, 2022 s.20; H4, haastattelu 21.3.2023; H5, haastattelu 24.3.2023). Kuvassa 15 puolestaan on esitetty malli, jossa tilaelementit tulevat tilaajan erillishankintana. Erillishankinta voidaan alistaa pääurakoitsijan alle sivu-urakaksi, kuten yllä mainitussa Lumipuu kohteessa on tehty. Kuvassa 15 on myös huomioitava, että alkuperäislähteessä lukuarvot ovat laskettu väärin, eli todellinen vertailuluku on 820.

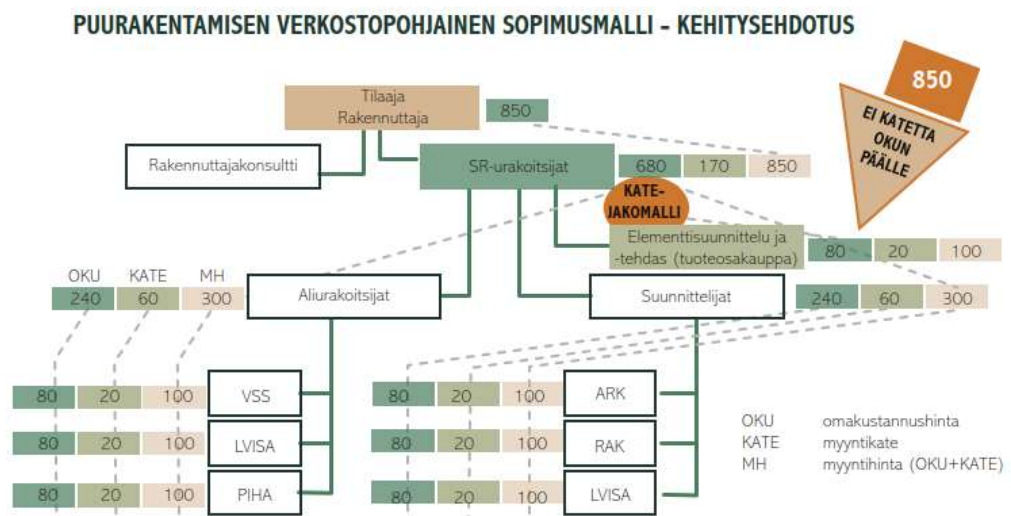


**Kuva 15: Tuoteosatoimitus tilaajan erillishankintana (Puutuoteteollisuus Ry, 2022 s. 19)**

Tässä mallissa säästetään tilaelementtien osuus tuplakatteesta, kun tilaelementit ovat tilaajan erillishankintana. Vastapainoksi tilaelementtitoimitukseen liittyvät riskit; etenkin aikataulu- ja toimittajariski, siirtyvät tilaajan kannettavaksi. (H4, haastattelu 21.3.2023). Tämä tosin saattaa johtaa myös maltillisempiin riskivarausoihin pääurakoitsijan osalta, jolla ei välttämättä ole suurta osaamista tai tietoutta tilaelementeistä. Toisaalta etenkin isommat rakennusliikkeet ovat kipuilleet sen asian kanssa, että iso osa hankkeen arvosta siirtyy heiltä pois tilaajan erillishankinnan myötä. Olemassa olevat toiminta- ja suunnittelumallit rakentamisessa ovat paikalla rakentamista ajatellen laadittuja ja rakennusliikkeet ovat näihin tottuneet (H6, haastattelu 31.3.2023) Pääurakoitsijan toimiminen hankkeessa, jossa oma osuus on alle puolet koko rakennusurakasta,

vaatii totuttelua ja asennemuutosta rakennusliikkeiltä. (H4, haastattelu 21.3.2023; H5, haastattelu 24.3.2023, H6, haastattelu 31.3.2023).

Haastateltava (H6, haastattelu 31.3.2023) pitääkin Suomeen tällä hetkellä sopivampana mallina niin sanottua verkostomallia, josta annettiin kehitysehdotus osana Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka -hanketta. Verkostopohjainen sopimusmalli on esitetty kuvassa 16.



**Kuva 16: Kehitysehdotus verkostopohjaiseksi sopimusmalliksi (Puutuoteteollisuus Ry, 2022, s. 20)**

Tässä verkostomallissa merkittävin ero tulee läpinäkyvästä katteenjakomallista, jonka pohjalta tilaaja ymmärtää paremmin, missä kohteen arvo ja kustannukset syntyvät. Kyseisessä mallissa kohdistetaan kate/riskijako ainoastaan tietyille hankintapaketeille. Tehdas saa katteen projektin tuloksen mukaan ennalta määritettyjen ehtojen mukaisesti. Verkostomallissa merkittävä hyöty on siinä, että se ei vaadi suuria muutoksia käytössä oleviin sopimuskäytänteisiin, kuten YSE:in. Myös projektinjohtomallilla sekä aiemmin käsitellyillä yhteistoiminnallisilla malleilla voidaan saavuttaa sama hyödyt kuin verkostomallilla, mutta niiden jalkauttaminen vaati enemmän työtä etenkin sopimusten laatimisen osalta. (Puutuoteteollisuus ry, 2022 s. 20). Huomionarvoista on kuitenkin, että kyseistä sopimusmallia ei ole sovellettu vielä käytäntöön.

RT 103546 Puukerrostalohankkeen erityispiirteet -kortissa on esitetty seuraavanlainen vertailu toteutusmuotojen välillä:

	Tilaelementti	
	Hyöty	Haitta
<b>SR-urakka</b> (Suunnittele ja rakenna-urakka)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kokonaisuuden optimointi</li> <li>Selkeät vastuut</li> <li>Eri menetelmien yhtäaikainen kilpailutus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kallis tarjottava</li> <li>Tarjoaminen vaatii osaamista ja resursseja</li> </ul>
<b>TR-urakka</b> (Teknisten ratkaisujen urakka)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tilaaajan viitesuunnitelman käyttö</li> <li>Joustavuus hankintavaiheessa</li> <li>Erikoisosatoteutuksen vastuutus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Voi rajoittaa kilpailua osatoteutuksissa</li> </ul>
<b>Kokonais-urakka</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tilaaajan päätösvalta ratkaisuihin</li> <li>Suoraviivainen vakiokohteissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toteutuksen kilpailutus</li> <li>Suunnittelun osaaminen</li> </ul>
<b>Jaettu urakka</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tilaelementin suorahankintamahdollisuus</li> <li>Kilpailun mahdollinen lisääntyminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tilaaajan resursointi ja osaaminen</li> <li>Urakkarajojen määrä</li> </ul>
<b>PJ-muodot</b> (projektijohtomuodot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tilaelementtien hankinta</li> <li>Päätoteuttajavastuun otto madaltaa tarjouskynnystä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Urakkarajojen määrä</li> <li>Johtamisen resursointi</li> </ul>
<b>Yhteisvastuulliset urakat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yhteisvastuu</li> <li>Innovaatioiden käyttöönotto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yhteisvastuu</li> <li>Raskas johtamismalli</li> </ul>
<b>Elinkaari-mallit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elinkaaren huomiointi toteutuksessa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ylläpito on harvan ydintoimintaa</li> <li>Raskas rahoitettava</li> </ul>

**Kuva 17: Yleisimpien hankemallien hyötyjä ja haittoja tilaelementtihankkeessa (Rakennustieto, 2023, s. 3)**

Kuvan vertailuun ei ole edellä mainittua verkostomallia ole mukana, mutta kortissa mainitaan niin sanottu hybridimalli, jossa perinteiseen sopimukseen otetaan mukaan yhteisvastuullisten sopimusten elementtejä, kuten tavanomaiseen toimitussopimukseen liitetty kannustinjärjestelmä. (Rakennustieto, 2023, s. 4) Verkostomallin voidaan katsoa kuuluvan tähän kategoriaan, mutta kokemusperäistä tietoa sen hyvistä ja huonoista puolista tilaelementtihankkeessa ei vielä ole saatavilla.

## 5.2 Riskejä ja ilmenneitä ongelmia

Moduulit tuodaan työmaalle yleensä täysin tiiviiksi suojamuovitetuna ja asentaessa muovit avataan tarvittavilta osin. Tilaelementtien muovitukseen liittyy kuitenkin riski, mikäli tilaelementtejä joudutaan yllättäen välivarastoimaan pidempiä aikoja. Lämpötilan muutokset voivat johtaa muovien sisällä olevan kosteuden tiivistymiseen rakenteisiin ja mikäli tilaelementtejä ei tarpeeksi nopeasti saada paikalleen ja kuivatettua, voi seurauksena olla homevaurioita jo rakentamisaikana. Ääriesimerkinä eräässä Helsinkiin



valmistuneessa kohteessa jouduttiin asentamisen jälkeen purkamaan ja rakentamaan uudestaan käytännössä koko rakennus julkisivua ja kantavia rakenteita lukuun ottamatta. On siis tärkeää aikatauluttaa tuotanto työmaan etenemisen kanssa johdonmukaiseksi ja huolehtia, että työmaalla on valmiudet ottaa tilaelementit vastaan.

Kokenutta työmaahenkilöä haastatellessa (H2, haastattelu 9.3.2023) nousi esiin myös se, että tilaelementtien toimittajasta riippumatta jokaisessa kohteessa oli ollut haasteita talotekniikkaliitosten suunnittelun sekä toteutuksen kanssa. Ongelmia ilmeni sekä suunnitteluvastuiden rajapinnassa alapohjassa, että moduulisen välisissä liitoksissa. Myös teollisen puurakentamisen tuottavuusloikassa havaittiin vastaavia haasteita (Puutuoteteollisuus ry, 2022, s. 56) esimerkiksi lattialämmitysputkien osalta. Tilaelementtien asennusvaiheessa putkia jouduttiin taittamaan jopa 90 astetta, jotta ne saatiin ujutettua viereiseen elementtiin. Tämä puolestaan aiheuttaa riskin putkien vaurioitumiselle. Myös haastateltava 3 (H3, haastattelu 15.3.2023) nosti esille talotekniikan liitosten suunnittelutyön tärkeyden ja ennen kaikkea riittävän tilan varaamisen myös asennustöitä ajatellen. Lisäksi tilaelementtien valmistukseen ja asennukseen liittyvistä toleransseista johdun putkiliitoksissa täytyisi suunnitella niin, että ne ovat helposti toteutettavissa toleransseista huolimatta.

Toinen useammasta lähteestä (H2, haastattelu 9.3.2023, Puutuoteteollisuus ry, 2022, s. 60) esille noussut asia on huomion kiinnittäminen palokatkoihin ja näiden suunnitteluun. Työn tehostamiseksi palokatkot tulisi etukäteen suunnitella toteutettavaksi valmisosin. Esimerkiksi liian isot läpiviennit aiheuttavat haasteita ja hidastuksia palokatkojen tekemisessä työmaalla.

Myös nostojen suunnittelussa ja toteutuksessa on nähtävissä paljon kehityspotentiaalia. Kun nostot ovat hyvin suunniteltu, voitaisiin saavuttaa 10 tilaelementin asennustahti tai jopa enemmän työvuorossa (Puutuoteteollisuus ry, 2022, s. 58-59). Tilaelementtejä nostetaan ja asennetaan sekä nostoliinoilla, että rakenteisiin valmiiksi asennettujen nostotappien avulla. Haastateltava 2 (H2, haastattelu 9.3.2023) piti näistä jälkimmäistä työmaan kannalta parempana ratkaisuna omien kokemustensa perusteella. Nostovasta riippumatta tärkeää on ennen kaikkea nostojen suunnittelu sekä valmistelu työmaalla.

## 6 ULKOMAANKAUPAN RISKIT JA RATKAISUT

Koska tilaelementtirakentamisessa tehtaalla saavutettava valmiusaste on jopa 90 %, vaatii se myös yleensä huomattavasti etupainoitteisempaa maksujärjestelyä. Suunnittelun ja toteutuksen kustannukset kirjautuvat tilaelementtirakentamisessa projektiin perinteistä betonirakentamista aiemmin (Puuteollisuus Ry, 2022). Toimittajalla suurin osa kustannuksista on realisoitunut moduulien ollessa tehtaalla valmiina siinä missä tilaaja ei ole vielä saanut mitään konkreettista vastinetta rahalleen. Tilaajan puolella riskitar- kastelussa korostuu etenkin kuljetus- ja toimitusriskit. Toimittajan näkökulmasta puoles- taan valmistusaikainen riski sekä luottoriski ovat merkittäviä tekijöitä.

Tämä kaltainen kaupankäynti vaatii joko suunnatonta luottamusta ja riskinsietokykyä tai vaihtoehtoisesti molempiin suuntiin toimivaa sopimusta ja maksutakausjärjestelmää. Rakennusalalla etenkin Suomessa eivät ulkoiset takausjärjestelmät ole kovin tunnet- tuja, muuten kuin RYHT:n ja YSE:n mukaisten vakuuksien ulkoistamisen muodossa, mutta kansainvälisessä kaupassa käytetään lähes aina vakiintuneita maksu- ja takaus- järjestelmiä.

### 6.1 Maksuerät ja -takaukset

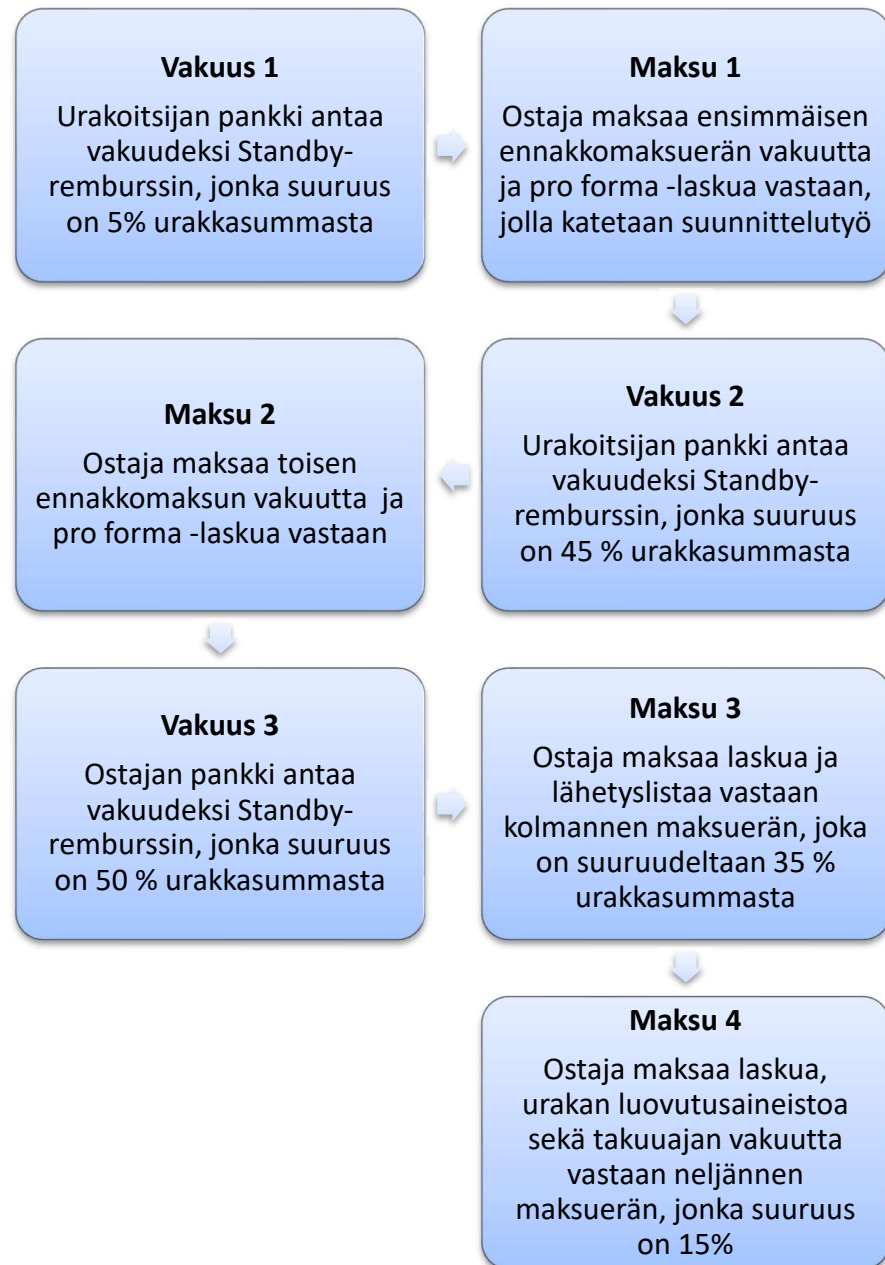
Kansainvälisessä kaupankäynnissä on tarjolla lukuisia erilaisia maksu- ja takausjärjes- telmiä. Suuremmilta ulkomaisilta tilaelementtitehtailta löytyy yleensä maakohtaisesti vakioidut maksujärjestelmät, jotka toimivat pohjana neuvottelulle. Kohdeyrityksen toteu- tuneissa kohteissa ja useamman toimittajan vakiintuneissa maksujärjestelmissä ylei- simpänä takuumuotona on käytetty Standby-remburssia sekä on demand -vakuutta vaihtelevilla ehdoilla.

Remburssi, josta käytetään englanninkielisiä nimiä documentary credit eli D/C sekä letter of credit L/C, on etenkin kansainvälisessä kaupankäynnissä käytettävä maksuta- pa, jossa ostajan pankki sitoutuu etukäteen suorittamaan sopimuksen mukaisen mak- sun myyjälle remburssiehdoissa määritellyjä asiakirjoja vastaan (Helppi & Paloheimo 2005 s. 63). Remburssia käytetään paitsi maksutapana, myös luottamuksen osoitta- misvälineenä, kassanhallintavälineenä, logistiikan apuvälineenä, rahoitustapana sekä vakuusratkaisuna (Pasanen 2005, s. 210). Kansainvälinen kauppakamari eli ICC on

määritellyt yhtenäiset remburssisäännöt, joita käytetään mahdollisia kiistakysymyksiä ratkottaessa (Helppi & Paloheimo 2005, s.115).

Rembursseja käytetään yleisesti myös takuina kansainvälisessä kaupassa. Tällöin puhutaan Standby-remburssista, jonka englanninkielinen termi on stand by letter of credit eli SBLC. Nimensä mukaisesti Standby-remburssi on lähtökohtaisesti takuu siltä varalta, että toinen sopimusosapuoli ei kykene täyttämään sopimuksen mukaisia velvoitteita. Standby-remburssi on varsinaisesta toimitus- tai urakkasopimuksesta irrallinen itsenäinen takuusitoumus, johon sovelletaan joko aiemmin mainittuja ICC:n laatimia remburssisääntöjä UPC 500 tai vaihtoehtoisesti ISP 98 -sääntöjä. (Helppi & Paloheimo 2005 s. 63, Pasanen 2005 s. 225). Rakennushankkeessa tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kyseiset takuut ovat erillisiä muista sopimuksessa määritetyistä takuista ja vakuuksista, kuten YSE:n mukaisista. Ehdot Standby-remburssin lunastamiseen sovi- taan yhdessä sopijaosapuolten kesken. Rakennushankkeiden kohdalla on sovellettu yhtenä remburssin lunastamiseen vaadittuna dokumenttina yhdessä sovitun puolueet- toman asiantuntijatahon lausuntoa.

Maksuerien ja Standby-remburssien keskinäisiä suhteita haivannollistamaan on alla esitetty virolaisen tilaelementtivalmistaja Kodumajan vakioidun maksujärjestelmän kul- ku. Kuvassa 18 urakoitsijalla tarkoitetaan tilaelementtien toimittajaa ja ostajalla tilaajaa.



**Kuva 18: Kodumajan vakiomallinen Suomen maksujärjestelmä (muokattu lähteestä Kodumaja, 2022)**

Ensimmäisenä urakoitsijan pankki antaa standby-remburssin, jolla taataan ensimmäistä maksuerää vastaava summa. Ensimmäisen maksuerän on tarkoitus kattaa kohteen suunnittelukustannukset. Ostaja maksaa ensimmäisen maksuerän tätä takausta sekä pro forma -laskua vastaan. Pro Forma -laskua ei perinteisesti käytetä maksamiseen eikä se ole sitova lasku. Tässä tapauksessa pro forma -laskua käytetään kuitenkin ennakkomaksujen yhteydessä. viikkoa ennen tuotantovaiheen aloitusta myyjän pankki antaa seuraavan Standby-remburssin, joka kattaa toisen maksuerän. Tätä takuuta sekä seuraavaa pro forma -laskua vastaan ostaja maksaa toisen maksuerän, joka kattaa tuotannon kustannuksia. Samaan aikaan toisen maksun kanssa ostajan pankki antaa

vuorostaan myyjälle standby-remburssin, jolla taataan se, että tuotannon alettua myyjä saa rahansa, vaikka ostaja ajautuisikin vaikeuksiin. Kolmas maksuerä tulee maksettavaksi viikko sen jälkeen, kun tilaelementit ovat toimitettu sovitun toimituslausekkeen mukaisesti. Toimituslausekkeet selitetty kappaleessa 6.2. Kolmas maksuerä maksetaan tavallista laskua vastaan pro forma -tyylisen ennakkomaksun sijaan.

Viimeinen maksuerä koskee valmistuksen sijaan asennusta ja työmaavaihetta, jonka ostaja voi hankkia myös kolmannelta osapuolelta. Mikäli asennus ja viimeistely on otettu urakoitsijalta, tulee tämä erä maksettavaksi kohteen vastaanottokatselmuksen jälkeen olettaen, että kaikki sopimuksessa mainitut velvoitteet ovat täytetty.

Yllä kuvattu maksujärjestelmä takaa kyllä hyvin molempien osapuolten riskit, mutta etenkin pienemmän rakennuttajan näkökulmasta 50 % takaus urakkasummasta voi olla haasteellinen. Pankki vaatii tällaisessa tilanteessa lähtökohtaisesti reaali-remburssin takaamiseksi. Mikäli yrityksellä on riittävästi kiinteää omaisuutta, voi tätä käyttää takauksena. Vaihtoehtoisesti myös käteistakaus on mahdollista, mutta tässä yhteydessä lukkiutuu suuri määrä vapaata omaa pääomaa. Vertailun vuoksi taulukossa 4 on esitetty toteutuneeseen kohteeseen sovittu maksujärjestely.

**Taulukko 4: Toteutuneen kohteen maksujärjestely**

Maksuerä	Selite	% urakkasummasta	Vaatimukset
1	Ennakkomaksu suunnittelusta	8 %	1) Pro forma -lasku 2) urakoitsijan Standby-remburssi 8 %
2	Ennakkomaksu materiaaliostoihin	7 %	1) Pro forma -lasku 2) urakoitsijan Standby-remburssi 7 %
3	Ennakkomaksu materiaaliostoihin	10 %	1) Pro forma -lasku
4	Ennakkomaksu materiaaliostoihin	30 %	1) Pro forma -lasku
5	Ennakkomaksu valmistuksen etenemistä vastaan	10 %	1) Pro forma -lasku 2) Sähköpostivahvistus valmistuksen etenemisestä
6	Tilaelementit valmiita	10 %	1) Pro forma -lasku 2) Valmiustodistus
7	Toimitettu	15 %	1) Lasku 2) CMR 3) Transportation Finishing Certificate
8	Loppuerä	10 %	1) Lasku 2) Luovutusasiakirjat 3) Takuuajan vakuus

Taulukossa esitettyssä kohteessa urakoitsija on antanut yhden Standby-remburssin, joka kattaa sekä ensimmäisen, että toisen maksuerän suuruuden. Remburssin suuruus on ollut näin ollen yhteensä 15 % koko urakkasummasta. Lisäksi vakiomaksujärjestelyn maksu 2 on pilkottu useampaan erään. Myös viimeisten maksuerien painotuksia on neuvotteluissa muutettu. Lisäksi ostaja on asettanut 10 % suuruisen kauppahintataukauksen, joka raukeaa viimeisen maksuerän jälkeen. Huomionarvoista on, että ennakkomaksujen osuus toimituksesta on noussut eli maksuerätaulukko on muuttunut etupainoitteisemmaksi. Ostajan ei tarvitse kuitenkaan sitoa vapaata omaa pääomaa yhtäaikaisessa vaiheessa niin suuria summia kuin ensiksi mainitussa maksujärjestelyssä.

Maksuerässä 7 vaatimuksena mainitulla CMR:llä viitataan kansainväliseen CMR-yleissopimuksen mukaiseen CMR-rahtikirjaan. CMR tulee ranskankielisestä termistä ”Convention relative au contrat de transport international de marchandises par route”, joka vapaasti käännettynä tarkoittaa ”tavarankansainvälisessä tiekuljetuksessa käytettäviä rahtisopimuksia koskeva yleissopimus” (Timocom 2022). CMR-yleissopimusta on noudatettava maantiekuljetuksissa aina, kun rahtia kuljetetaan valtiosta toiseen niin, että ainakin lähtö- tai tuontimaa on CMR-yleissopimuksen sopimusvaltio (Yleissopimus kansainvälisessä tiekuljetuksessa käytettävästä rahtisopimuksesta 50/1973, 1. artikla).

Samassa maksuerässä mainitaan lisäksi ”Transportation Finishing Certificate”, joka käytännössä tarkoittaa dokumenttia, jossa sekä urakoitsija että ostaja kuittaavat tavarantoimitetuksi.

## 6.2 Toimituslausekkeet

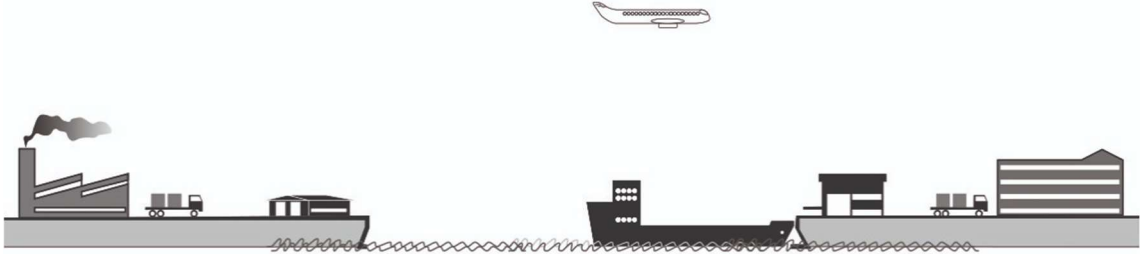
Tavarantoimitus myyjältä ostajalle on monivaiheinen kokonaisuus, joka sisältää useita työvaiheita sekä toimenpiteitä. Toimitukseen sekä kuljetukseen sisältyy myös riskejä, joiden osalta vastuunjaon tulisi olla selvä ostajan ja myyjän välillä. Ajan saatossa on muodostunut vakiintuneita käytäntöjä ja termejä, joilla kuvataan toimitukseen liittyvien kustannusten ja riskien jakautumista. (Railas 2020)

Kansainvälisessä kaupassa käytetään vakiintuneita toimituslausekkekokoelmia, joista yleisimmin käytössä ovat Incoterms -ehdot, joista ensimmäinen versio on julkaistu jo vuonna 1936 (Pasanen 2005 s. 251, ICC 2022). Tuorein versio kokoelmasta on Incoterms 2020, mutta myös aiempaa versiota Incoterms 2010 voidaan käyttää sopimuksessa (ICC 2022). Incoterms ehdot ovat International Chamber of Commercen eli Kansainvälisen kauppakamarin laatimia ehtoja. (ICC 2022, Tulli, 2022) Toimituslausekkeet määrittävät ehdot tavarantoimitukselle, vastaanotolle, toimituksen aikaisille vastuille ja kustannuksille sekä muille mahdollisuuksille (Logistiikan maailma, 2022). Tilaelementtitoimituksissa useimmin käytetyt toimituslausekkeet ovat DAP ja CIP.

Lyhenne DAP tulee sanoista Delivered at Place ja siitä käytetään myös suomenkielistä termiä ”Toimitettuna määräpaikalle”. DAP lisättiin Incoterms -kokoelmaan vasta vuoden 2010 versiossa ja se on näin ollen uusimpia toimituslausekkeita. DAP-lausekkeessa myyjä kantaa toimenpide-, kustannus- ja vaaravastuut tuotteesta siihen asti, kunnes se luovutetaan ostajalle nimetyssä sijainnissa. Ostajan vastuulle jää tuotteen purkaminen. (Railas 2020, s. 373–375) Tilaelementtien kohdalla tämä tarkoittaa toimitusta työmaalle asti niin, että myyjä vastaa koko kuljetusketjusta sisältäen myös vakuutukset. Usein tilaelementtien asennus ostetaan myös myyjältä, mikä johtaa siihen, että vaikka kuljetuksen aikainen vastuu loppuu rekan saavuttua työmaalle, myyjätaho vastaa työmaalla myös purusta ja asennuksesta.

Myyjä vastaa myös vientiselvityksestä sekä tarvittavista kauttakulkuun liittyvistä selvityksistä, mikäli tuote matkaa kolmansien maiden kautta. Ostajan vastuulle puolestaan jää tuonnin edellyttämien tullien, verojen ja muiden maksujen maksaminen kohteessa. Mikäli ostaja laiminlyö edellä mainittuja velvollisuuksia, vastuu tästä aiheutu-

vista ylimääräisistä kustannuksista siirtyy ostajalle siitä huolimatta, että tuotetta ei ole DAP-lausekkeen mukaisesti vielä toimitettu perille. (Railas 2020, s. 377)

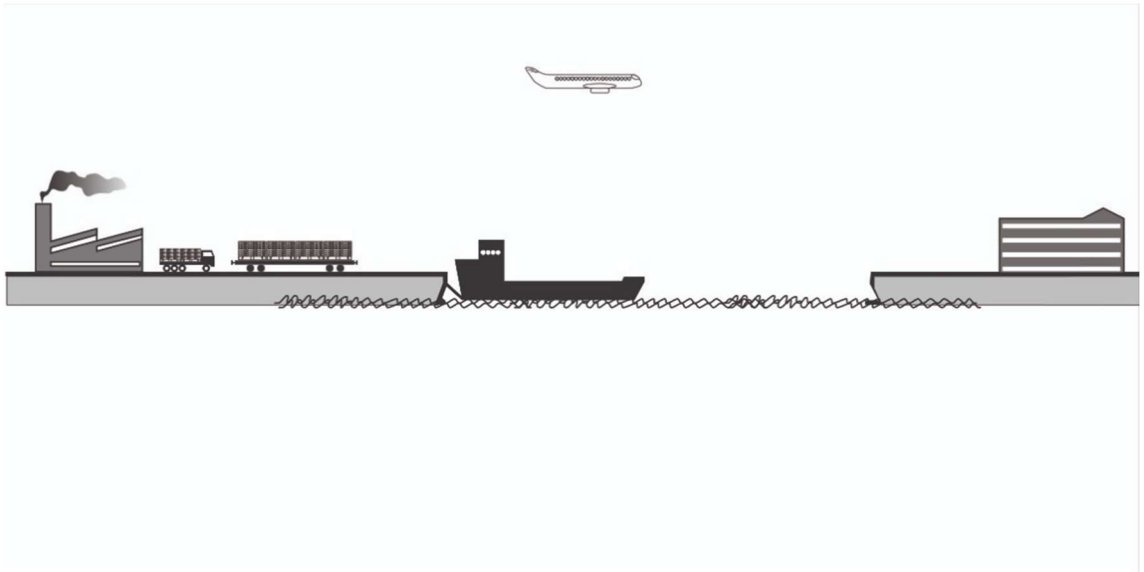


**Kuva 19: DAP-toimitus tapahtuu, kun tavara on purkamatta sovituissa määräässä (Railas 2020, s. 373)**

Lyhenne CIP tulee puolestaan sanoista Carriage and Insurance Paid to eli suomeksi kuljetus ja vakuutus maksettuna (Railas 2020, s. 318). Ostajan näkökulmasta toimitus on hyvin samankaltainen DAP-lausekkeeseen nähden, koska tilaelementtikohteissa toimituspaikaksi sovitaan lähtökohtaisesti työmaa.

Ero näiden kahden välille tulee kuitenkin siinä, että CIP-lausekkeessa myyjän näkökulmasta toimitus tapahtuu jo siinä kohtaa, kun tuote on luovutettu myyjän itsensä hankkimalle rahdinkuljettajalle ja myyjä on ottanut rahdille tavaravakuutuksen. Vakuutusarvon tulee olla suuruudeltaan vähintään 110 % kauppasopimuksen mukaisesta kokonaishinnasta. (Railas 2020, s. 318). Tämän keskeisin vaikutus näkyy siinä, että riski siirtyy ostajalle jo sillä hetkellä, kun tuote on saatettu rahtiliikkeen haltuun. Myyjän vastuulle kuuluu myös vientimuodollisuudet.



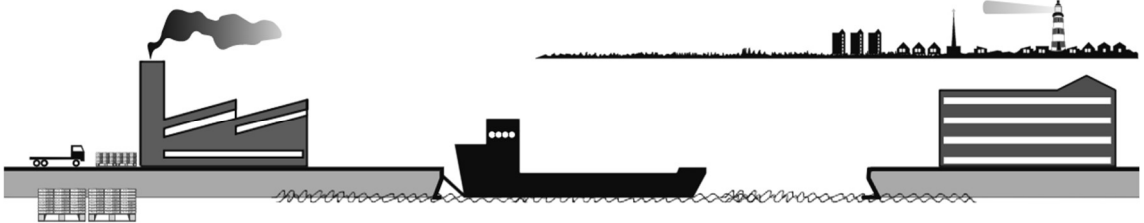


**Kuva 20: CIP-toimitus tapahtuu, kun tavara on luovutettu kuljetettavaksi (Railas 2020, s. 318)**

Näistä kahdesta pääasiallisesti käytetystä toimituslausekkeesta tulisi tilaajan eli rakennuttajan tai pääurakoitsijan näkökulmasta ehdottomasti suosia DAP-lausekettä. DAP-lausekkeessa myyjä sitoutuu ja on vastuussa tuotteen toimittamisesta tiettyyn paikkaan tiettyyn aikaan, kun taas CIP-lausekkeessa ja muissakin C-lausekkeissa aikariski siirtyy ostajalle jo toimitushetkellä rahdin lähtöpäässä. Näin ollen myyjä ei vastaa mahdollisista kuljetuksen viivästymistä vaan ainoastaan siitä, että rahti lähtee matkaan sovittuun aikaan. (Railas 2020, s.373–375, 325-326) Jälleen vastuun siirtymät korostuvat, mikäli tilaelementtien asennus on ostettu myyjältä, koska tällöin myyjä on sitoutunut tiettyyn asennusaikatauluun. Tässä tilanteessa tehdasvaiheessa vastuu olisi myyjällä, kuljetuksen aikana ostajalla ja jälleen työmaalle päästyä asennuksen aikana myyjällä. Näin ollen myyjä ei CIP-lausekkeella vastaisi asennuksen viivästymisestä, mikäli se johtuu kuljetuksen aikana syntyneistä viiveistä, kun taas DAP-lausekkeella vastuu säilyisi tehtaalta asennukseen asti koko ajan myyjällä.

Harvemmin käytetty, mutta mahdollinen toimituslauseke tilaelementeille on Ex Works. Kyseisen lausekkeen käyttö voi tulla kyseeseen tilanteessa, jossa tilaelementtitehtaalta on ostettu ainoastaan tuoteosatoimitus ja kuljetus sekä asennus jää tilaajan vastuulle. Railaksen mukaan (Railas 2020, s. 250) Suomessa on jo ennen Incotermsin julkaisemista käytetty vastaavia ”vapaasti tehtaalta”- sekä ”vapaasti myyjän varastosta lausekkeitä, joiden merkitys on ollut vastaava. Ex Works -lausekkeessa tavaran toimitus tapahtuu myyjän asettaessa tavara ostajan käytettäväksi ”tiloissaan tai muussa nimetyssä paikassa”, jolloin riski siirtyy ostajalle heti myyjän ilmoitettua tästä tavaran asettami-

sesta. Lastaus, kuljetukset ja vienti-ilmoitukset ym. jäävät ostajan vastuulle. (Railas 2020, s. 251).



***Kuva 21: Ex Works -toimitus tapahtuu, kun myyjä on asettanut tavaran ostajan käytettäväksi tehtaalla tai varastossa (Railas 2020)***

## 7 HANKKEEN VALINTA, OHJAUS JA TOTEUTUS

### 7.1 Soveltuvuus tilaelementtirakentamiseen

Jotta hanke voidaan toteuttaa tilaelementeillä, tulee päätös tästä tehdä jo hyvin varhaisessa vaiheessa, koska se vaikuttaa kohteen suunnitteluun heti hankkeen alkuvaiheesta lähtien. Tilaelementtitoteutus aiheuttaa vaatimuksia rakennuksen kerros- ja asuntopohjien suunnittelulle. Lisäksi tietyt rakennetyypit voivat olla verrokkeihin nähden paksumpia johtuen tuplarakenteista.

Myös rakennusmassan hoikkuus tai pelkkä korkeus voivat asettaa haasteita tilaelementtitoteutuksen näkökulmasta. Tyypillisessä kerrostalorakentamisessa nämä harvoin kuitenkaan suoraan rajoittavat rakentamista. Korkein Suomeen rakennettu tilaelementtirakenteinen kerrostalo on CLT-moduuleista rakennettu 13-kerroksinen HOAS Tuuliniitty (Puuinfo, 2021b).

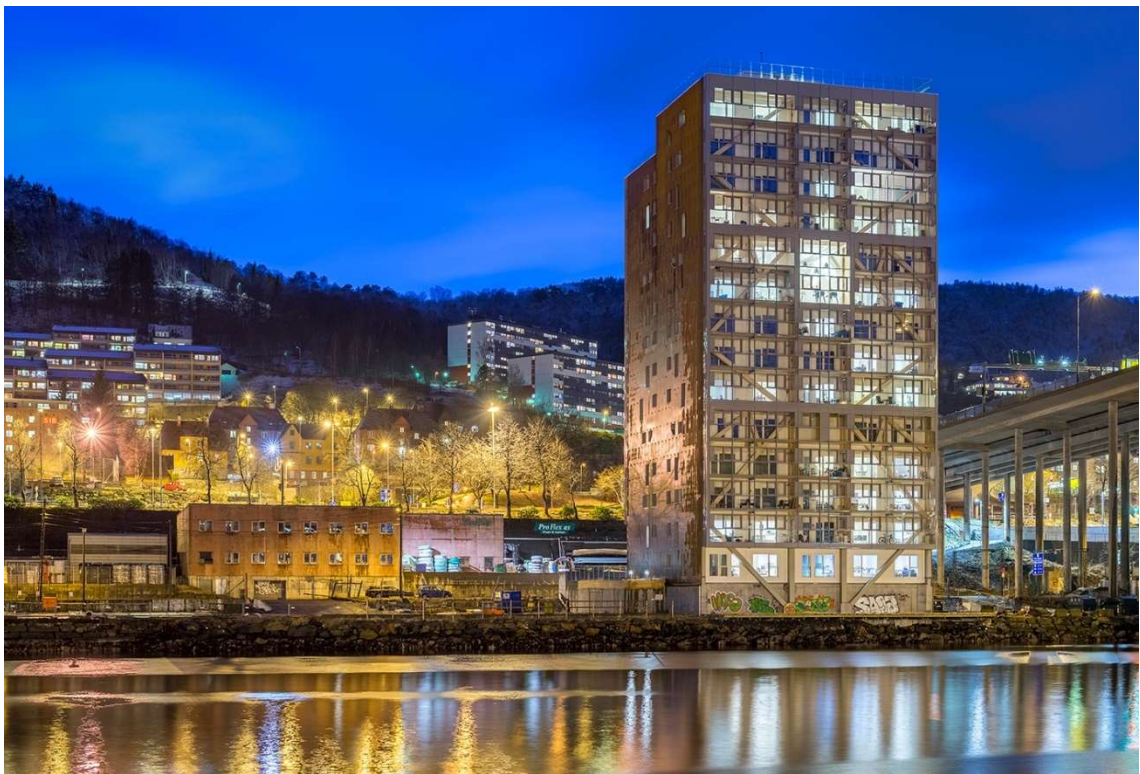


**Kuva 22: Hoas Tuuliniitty (Puuinfo, 2021b)**

Rakennuksen korkeus yhdistettynä erikoiseen katonmuotoon, joka kerää hyvin tuulta, aiheutti haasteita suunnittelussa. Rakennuksen yläosaan valettiin paksu betonilaatta tuomaan massaa rakennukselle ja sitä kautta vakauttamaan. Lisäksi tavallisesta tila-

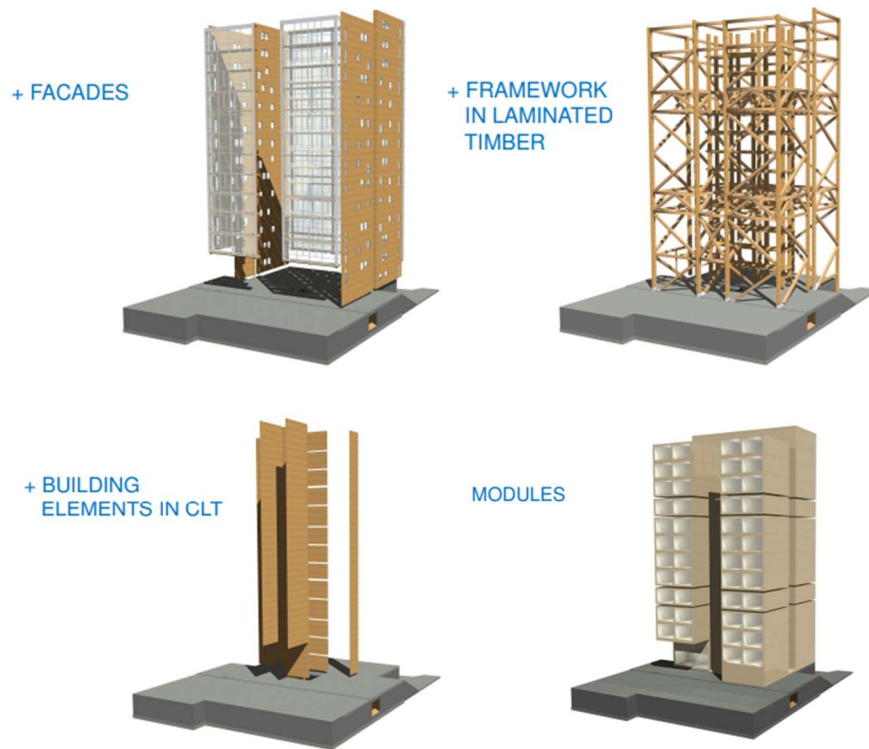
elementtirakentamisesta poiketen tilaelementtien liitokset toteutettiin jäykistämiseen liittyvien haasteiden myötä jäykkinä, eli puupinnat asetettiin suoraan vastakkain. Tämän seurauksena kohdetta varten kehitettiin uudet liitostyypit. Jäykät liitokset eivät taasen sovellu kappaleessa 3 esitellyn jousi-massa-rakenteen mukaiseen ääneneristykseen. Näin ollen akustinen toimivuus varmistettiin asuntojen sisäpuolelle toteutetulla erillisellä sisäkuorella vastaavan rakenteen aikaansaamiseksi. (Puuinfo, 2021)

Norjaan puolestaan on rakennettu 14-kerroksinen asuintalo, joka yhdisti rankarunkoiset tilaelementit sekä ylimääräistä tukea tuovan liimapuurungon (H3, haastattelu 15.3.2023).



**Kuva 23: Treet – valmistumishetkellään korkein puurakennus (Artec, 2023)**

Neljän kerroksen välein kerroksiin valettiin kohteessa paksumpi betonilattia tuomaan massaa rakennukselle tuulikuormia vastaan. Näitä kerroksia kannattelemana sekä rakennusta jäykistämään tehtiin massiivinen liimapuurunko. (H3, haastattelu 15.3.2023; Trifkovic, 2016) Kuvassa 24 on esitetty rungon eri rakenteet eriteltynä.



**Kuva 24: Treet-rakennuksen rungon osat (Trifkovic, 2016)**

Yllä oleva hybridirunko toi mielenkiintoisia arkkitehtonisia elementtejä myös rakennuksen sisälle, kuten kuvasta 25 nähdään. Kohteessa erityisenä haasteena oli tilaelementtien asennustoleranssien sovittaminen liimapuurungon kanssa yhteen. Kohteen sijaitseminen meren rannalla mahdollisti kuitenkin tilaelementtien toimittamisen laivalla suoraan kohteeseen, mikä näkyi kustannussäästöinä ja mahdollisti tavallista suurempien tilaelementtien käyttämisen kohteessa. (H3, haastattelu 15.3.2023).



**Kuva 25: Havainnekuva Treet-rakennuksen asunnosta (Trifkovic, 2016)**

Tilaelementtitoteutusta pohtiessa tulee ottaa myös huomioon tilaelementtien kuljettamisen ja purkamisen vaatima tila ja logistiikka. Tiheästi rakennetut keskusta-alue pienellä tontilla ei välttämättä mahdollista tilaelementtirakentamisen hyödyntämistä.

## 7.2 Suunnittelun ohjaus

Suunnitteluprosessi tilaelementtihankkeessa poikkeaa etupainoitteisuutensa myötä huomattavasti paikalla rakennettavaan tai tasoelementtitoteutukseen verrattuna. Lisäksi tilaelementtirakentaminen tuo erityispiirteitä myös suunnittelun jakautumisen suhteen, sillä tuoteosatoimittaja vastaa yleensä rakenne- ja erikoisalojen suunnittelusta toimituksen osalta. Edellä mainittujen lisäksi tilaelementtirakentaminen asettaa myös vaatimuksia itse suunnitelmille jokaisella suunnittelualalla. Eri suunnittelualoihin liittyviä erityispiirteitä käsitellään seuraavissa alaluvuissa.

### 7.2.1 Pää- ja arkkitehtisuunnittelu

Tilaelementtitoteutus tulee ottaa huomioon jo luonnossuunnitteluvaiheessa, kun rakennuksen asunto- ja kerrospohjia suunnitellaan. Mikäli toimittaja on jo varhaisessa vaiheessa tiedossa, on suositeltavaa käyttää toimittajan vakiorakenteita ja suunnitteluohjeita. (RT 103546)

Käytännössä varhaisessa tulisi siis ottaa huomioon jäykistämisen asettamat vaatimukset tilaelementtirakenteiselle puukerrostalolle, eli seinälinjojen tulee olla jatkuvia. Tämän lisäksi puukerrostalosta ei voi rakentaa yhtä hoikkaa kuin vastaavista betonirakenteisesta.

Seinälinjojen jatkuvuuden lisäksi erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden paksuuksiin. Puukerrostalossa, ei pelkästään tilaelementtirakenteisessa, rakenteiden paksuudet ovat yleensä suurempia kuin muilla materiaaleilla, mikä vaikuttaa moneen asiaan, kuten kerroskorkeuteen, huonekorkeuteen, asuntojen pinta-aloihin sekä rakennuksen sijoitteluun kaavan mukaisella rakennusalueella. (RT 103546) Haastateltavan 3 mukaan (H3, haastattelu 15.3.2023) nimenomaan rakenteiden paksuudet ovat todella usein virheellisiä tilaajalta tulevissa arkkitehtisuunnitelmissa. Suuntaa antavia rakentei-

den paksuuksia on käyty läpi luvussa kolme, mutta on huomioitava, että useimmilla valmistajilla on omia vakiorakennetyyppejä, jotka saattavat näistä esimerkeistä poiketa.

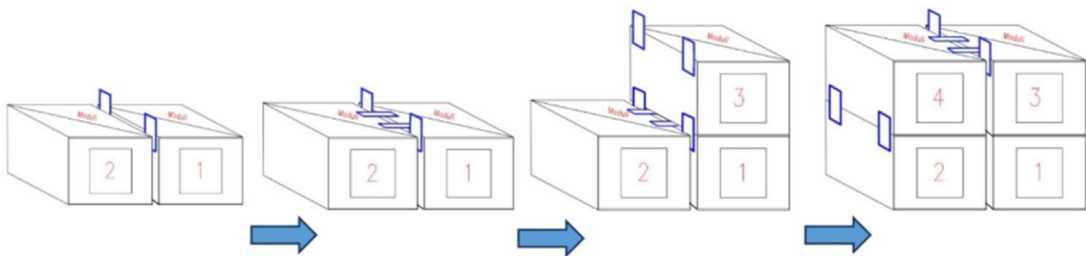
Lisäksi arkkitehtisuunnitteluvaiheessa tulee huomioida jo talotekniikan vaatimukset niin laitteiston ja tekniikkakuilujen osalta kuin märkätilojen ja vesipisteiden sijoittelunkin osalta. Mahdollisuuksien mukaan vesi- ja viemäriiliitoksia vaativat toiminnot tulisi sijoittaa samaan moduuliin, jotta vältetään ylimääräisiltä pystynousuilta.

Arkkitehtisuunnittelussa pitää ratkaista, halutaanko elementtisaumat häivyttää näkyvistä kokonaan vai osittain. Kuvassa 13 esitetty Toas Kaupin julkisivu on hyvä esimerkki siitä, kuinka vaakasaumat on häivytetty päätymällä julkisivun vaakalaudoitukseen ja pystysaumot puolestaan julkisivun muotoilulla. Lähtökohta suunnittelussa tulisi kuitenkin olla, että julkisivu pystytään tekemään pääasiassa tehtaalla valmiiksi ja työmaalle jäisi ainoastaan saumojen kohdalta julkisivun täydentäminen.

## 7.2.2 Rakennesuunnittelu

Luvun 7.2 alussa mainittu suunnittelun jakautuminen näkyy lähes poikkeuksetta rakennesuunnittelussa. Suomessa tyypillisimmän tehtäväjaon mukaan kohteen päärakennesuunnittelija vastaa koko kohteen kuormista, rungon stabiiliteetista (RT 103546) sekä perustuksista ja mahdollisesta ensimmäisen kerroksen betonirakenteiden suunnittelusta. Tuoteosatoimittaja puolestaan vastaa elementtien sisäisistä suunnitteluratkaisuista (RT 103546). On myös mahdollista, että tuoteosatoimittaja vastaa elementtien rakenteiden lisäksi rungon stabiiliteetista sekä koko kohteen kuormista, jolloin suunnittelun tehtäväjako menee puu- ja betonirakenteiden liittymässä.

Edellä mainitun lisäksi tilaelementtien asennusjärjestys voi vaikuttaa liitosten suunnitteluun, jolloin tämäkin tulee olla tiedossa varhaisessa vaiheessa ja ottaa huomioon.



**Kuva 26: Tilaelementtien asennusjärjestys (Lehtonen, 2022, joka muokannut lähteestä Kekki, 2019)**

Kuten kuvasta 26 nähdään, liitokset tulee suunnitella tarkkaan asennusjärjestys huomioiden. Lisäksi tiedon asennusjärjestyksestä ja liitostekniikasta tulee kulkeutua riittävän selkeässä muodossa myös asentavalle portaalle asti. Haastateltavan 2 mukaan (H2, haastattelu 9.3.2023) sekä tilaelementtien liitosten, että talotekniikan liitosten osalta tiedonkulussa on aiemmissa kohteissa ollut haasteita.

### 7.2.3 LVIS-suunnittelu

Talotekniikan oikeanlaisella suunnittelulla on valtava merkitys hankkeen työmaalle jäävän työn osuuteen. Optimitilanteessa työmaalle ei jäisi kuin talotekniikan liitostyöt. Myös LVIS-suunnittelun osalta suunnitelmien tulisi olla täysin valmiina jo ennen tilaelementtien tuotannon aloittamista, eli tältäkin osin suunnittelu on hyvin etupainoitteista. Lisäksi talotekniikan suunnittelu vaikuttaa myös arkkitehtisuunnitelmiin, sillä suunnitelmissa tulee varata riittävä tila tekniikkakuiluille. Esimerkiksi puukerrostalojen vaatima sprinklausjärjestelmä lisää putkien määrää. Toisaalta tilaelementtikohteissa suositaan asuntokohtaista ilmanvaihtoa, mikä mahdollistaa ilmanvaihdon tekemisen valmiiksi jo tehtaalla ja samalla vähentää pystynousujen vaatimaa tilaa. (RT 13546) Haastateltavan 3 mukaan (H3, 15.3.2023) on yleistä, että tilaajalta tulevissa suunnitelmissa ei ole varattu tarpeeksi tilaa talotekniikkaa varten. Tila on saatettu mitoittaa juuri ja juuri laitteistolle ja putkille sopivaksi, mutta siinä ei ole huomioituna vaadittavaa asennustilaa. LVIS-suunnitelmat tulisi siis tehdä valmiiksi asti myös liitostyöt huomioiden, mutta usein suunnittelun tullessa tilaelementtitehtaan ulkopuolelta, suunnittelijoilla ei välttämättä ole ymmärrystä siitä, kuinka paljon tilaa laitteisto ja niiden asennus vaatii.

Luvussa 7.2.1 sivuttiin jo vesi- ja viemäripisteiden sijoittelua. Käytännössä siis esimerkiksi keittiö ja pesuhuonetilat tulisi sijoittaa samaan tilaelementtiin, jolloin näiden liitostöihin voidaan hyödyntää samaa tekniikkakuilua ja samalla talotekniikkatyöt on mahdollista tehdä tehtaalla mahdollisimman pitkälle. Lattialämmityksen osalta joudutaan kuitenkin tekemään liitostöitä myös saman asunnon eri moduulien välillä.

LVIS-suunnittelun, rakennesuunnittelun ja palosuunnittelun rajapinnassa tekniikan läpiviennit tulisi suunnitella niin, että palokatkojen toteuttaminen on helppoa ja niissä pystytään hyödyntämään valmisosia.

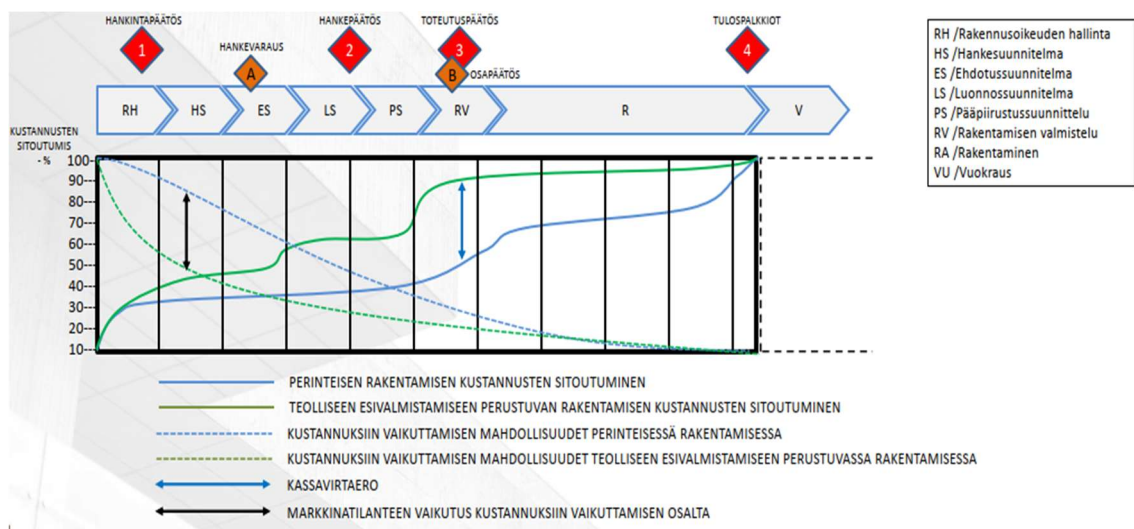


## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa tunnistettiin kirjallisuuden ja haastatteluiden pohjalta keskeisiä isoja teemoja, jotka tilaajan tulee ottaa huomioon hankkeessa nimenomaan tilaelementtirakentamisen näkökulmasta. Myös haastatteluissa ilmi tulleet toteutetuissa kohteissa havaitut ongelmat liittyivät pääasiassa näihin aihepiireihin. Aihepiirejä on käsitelty syvällisemmin työn muissa kappaleissa, joten alle on pyritty tiivistämään keskeiset huomiot.

### 8.1 Hankkeen valmistelu

Valmisteluvaiheessa on jo oleellista huomioida, että tilaelementeillä toteutettavan kohteen paitsi aikataulu ja sen myötä myös kustannusten sitoutuminen poikkeaa perinteisestä rakentamisesta. Kuvassa 27 on vertailtu kustannuksiin vaikuttamista ja kustannusten sitoutumista perinteiseen rakentamiseen verrattuna.



**Kuva 27: Talousteknisen suunnittelunohjauksen vertailu perinteisen rakentamisen ja teollisen esivalmistamisen välillä (Sivu, 2023)**

Kuten kuvasta 27 nähdään, vaikutusmahdollisuus hankkeen kustannuksiin kapenee paljon varhaisemmassa vaiheessa, minkä lisäksi kustannukset sitoutuvat selkeästi varhaisemmassa vaiheessa perinteiseen rakentamiseen verrattuna.

## 8.2 Hankemuodon valinta

Kappaleessa 5 on käyty läpi eri vaihtoehtoja hankkeen sopimusmalleiksi ja tuotu esille näiden hyviä puolia sekä haasteita. Hankemuodon valintaa miettiessä tilaajan on keskeistä tiedostaa eri sopimusmallien vaikutus hankkeeseen niin kustannusten, tarjoajien määrän, riskien kuin omien resurssienkin näkökulmasta. Alla olevassa taulukossa on tiivistetty keskeisimpien sellaisten sopimusmuotojen tunnistetut hyvät ja huonot puolet, joihin on kirjallisuuden lisäksi saatu kokemuksia haastatteluista.

**Taulukko 4: Hankemuotojen hyviä ja huonoja puolia**

Hankemalli	Hyödyt	Haitat
SR-/KVR-urakka	+Kokonaisuuden optimointi toteuttajan toimesta +Selkeä vastuu +Tilaajan työmäärä vähäinen +Kevyt organisaatio +Riskit siirretty toteuttajalle	-Karsii tarjoajat vähiin -Riskin siirto näkyy hankkeen kustannuksissa -Tilaajalla erittäin rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa hankkeeseen
Jaettu urakka/tilaelementit tilaajan erillishankintana	+Kustannussäästö +Enemmän potentiaalisia tarjoajia sekä pääurakkaan, että tuoteosatoimitukseen	-Toimittajariski siirtyy tilaajalle -Urakkarajat lisääntyvät -Vaatii tilaajalta enemmän resursointi ja osaamista
Allianssi	+Yhteisvastuullisuus +Vuorovaikutus parhaiden ratkaisuiden löytämisessä +Avoimuus hankkeen kustannuksista ja potentiaali kustannussäätöille	-Raskas johtamismalli -Vaatii tilaajalta osaamista ja resursseja -Perinteiset sopimusmallit eivät sovellu

Ei ole yksiselitteistä vastausta siihen, mikä yllä olevista on paras vaihtoehto. Tilaajan tuleekin peilata näitä vaihtoehtoja oman sen hetkisen tilanteen mukaan niin kustannusten, oman tietotaidon, resurssien kuin markkinatilanteenkin mukaan. Edellä mainittujen lisäksi vartenotettavia hankemalleja ovat erilaiset projektinjohtomuodot, kuten projektinjohtourakka ja projektinjohtopalvelu sekä kappaleessa 5 myös esiin nostettu verkostomalli tai erilaiset vastaavat hybridimallit

### 8.3 Hankkeen suunnittelu

Suunnitteluun ja sen ohjaukseen liittyviä piirteitä on käyty läpi kappaleessa 7. Sen lisäksi puukerrostalon paloturvallisuusmääräyksiä on käsitelty kappaleessa 4. Yhteenvedon voidaan todeta, että tilaelementtirakenteinen puukerrostalo asettaa omia erityisvaatimuksiaan jokaiselle suunnittelualalle, kun verrataan perinteiseen rakentamiseen. Kyse ei kuitenkaan pääasiassa ole perinteiseen rakentamiseen verrattuna haastavammasta suunnittelusta, vaan ennemminkin kokemuksen puutteesta. Erityispiirteiden huomioiminen suunnittelussa alusta asti on kuitenkin tärkeää samoin kuin suunnittelun urakkarajojen selkeä määrittäminen sen osalta, mitä kuuluu tilaelementtitehtaalle ja mistä vastaa tilaajan suunnittelijat.

Arkkitehtisuunnittelun osalta keskeisimmät teemat liittyivät asunto- ja kerroslohjien suunnitteluun niin, että seinälinjat pysyvät jatkuvina kerroksesta toiseen. Lisäksi talotekniikalle tulee varata riittävästi tilaa nousukuiluissa. Edellä mainittu seinälinjojen jatkuvuus puolestaan liittyy vahvasti rakennesuunnittelijan työhön rakennuksen jäykistykseen osalta, minkä laskenta poikkeaa perinteisestä rakentamisesta. Lisäksi rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös tilaelementtien asennusjärjestys. LVIS-suunnittelun osalta yhteensovitus muiden suunnittelualojen kanssa on kriittisessä roolissa jopa enemmän kuin perinteisessä rakentamisessa, kun halutaan nopeuttaa hankkeen rakentamisaikaa. Työmaalla tehtävä työ tulisi suunnitella mahdollisimman vähäiseksi ja toisaalta työmaalle jäävien liitostöiden toteutus puolestaan mahdollisimman helpoksi ja toimivaksi.

### 8.4 Hankkeen toteutus

Työmaan lähdettyä käyntiin tilaajan vaikutusmahdollisuudet ovat kaikissa urakkamuodoissa rajalliset. Kuten perinteisessä rakentamisessa, myös tilaelementtirakentamisessa tärkeää on kustannusten jatkuva seuranta, laaja dokumentointi sekä tehtaalla että työmaalla ja erityisesti ilmenneiden ongelmien tarkka dokumentointi, jotta näitä kohteita voidaan lähteä kehittämään seuraavia hankkeita ajatellen.

Tilaelementtiteollisuus on aluillaan oleva kehittyvä ala Suomessa. Niinpä sitä suuremmalla syyllä hankkeen päätteeksi olisi hyvä istuttaa hankkeen osapuolet myös samaan pöytään ja käydä kattavasti läpi niin suunnittelualojen, tehtaan kuin työmaaosapuoltenkin mieleen jääneet asiat. Ongelmat ja haasteet sekä mahdolliset huonot ratkaisut kannattaa kirjata ylös samoin kuin hankkeessa todetut hyvät käytänteet, jotta annetaan hyvät eväät seuraavien kohteiden kehitystyöhön.

## 8.5 Pohdinta ja jatkotutkimusaiheet

Rakennusalan tuottavuus on polkenut Suomessa jo vuosikymmeniä paikallaan. Viimeisen noin kymmenen vuoden aikana myös Suomessa on alkanut yleistymään myös tilaelementtirakentaminen, joka voidaan nähdä yhtenä ratkaisuna ongelmaan. Puurakentamisen ja sitä kautta etenkin tilaelementtirakentamisen ajureina ovat toimineet ja tulevat myös lähitulevaisuudessa toimimaan pinnalle nousseet ympäristöasiat. Tuleva lainsäädäntö tulee ohjaamaan rakennusten rakentamisen aikaista sekä elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä. Samaan aikaan erilaiset markkinavetoiset instrumentit, kuten EU:n taksonomia kannustavat yrityksiä huomioimaan entistä paremmin kaikessa toiminnassaan ympäristön. Puurakentaminen on helppo keino laskea rakentamisen hiilijalanjälkeä ja toisaalta kasvattaa hiilikädenjälkeä. Samaan aikaan teollinen esivalmistus auttaa tehostamaan rakentamista vähentämällä hukkaa ja lyhentämällä rakentamisen läpimenoaikaa. Suomessa tämän potentiaalın täyteen hyödyntämiseen on kuitenkin vielä matkaa.

Suomalainen tilaelementtiteollisuus on vielä lähtökuopissaan ja nykyisessä mittakaavassa voidaankin puhua start up -teollisuudesta. Tilaelementtirakentamisen potentiaalia kerrostalorakentamisessa on kuitenkin alettu tiedostamaan ja myös hyödyntämään kasvavissa määrin etenkin asuntorakentamisen puolella. Matkaa täyden potentiaalın saavuttamiseen kuitenkin on vielä rutkasti.

Tutkimustietoa on lähivuosina alettu enenevässä määrin tuottamaan tilaelementtirakentamisesta, mikä helpottaa tilaajaorganisaatiota alkuselvityksissä rakennushankkeiden toteutustapaa pohtiessa. Yhtenä keskeisenä haasteena ja riskinä tilaelementtirakentamisen suhteen on nähty kustannustiedon puute. Tilaajat ovat olleet pitkälti markkina- vuoropuhelun varassa, kun kohteita on lähdetty suunnittelemaan. Haastavat viime vuodet ovat kuitenkin ajaneet isoja toimijoita tilaelementtiteollisuuden myötä konkurssiin, ja sen myötä myös keskitettyä kustannustietoutta on hävinnyt paljon. Tämä ongelma kuitenkin ratkeaa ainoastaan rakentamalla ja tietyillä toimijoilla tätä kustannustietoutta myös on jo kertynyt. Jotta saavutettaisiin oikeasti laajamittaista ja vertailukelpoista dataa tilaelementtien kustannuksista, etenkin tilapohjaisesta, pitäisi olla yhtenäinen tilaelementeille sopiva nimikkeistö kustannusten jakamiselle. Yhtenä keskeisenä jatkotutkimusaiheena voidaankin nähdä vakioidun tilastointi- ja nimeämismenetelmän laatiminen tilaelementtien kustannuslaskennalle (Sivu, H. 2023). Nykyiset talo 80 ja talo 2000 nimikkeistöt eivät tähän järkevästi sovellu.

Toinen usean haastattelijan suusta kuultu haaste liittyy nykyisten sopimusmallien sopivuuteen ja toisaalta rakennusliikkeiden suhtautumiseen tilaelementtirakentamiseen. Haastateltavat eivät pitäneet kokonaisurakkamuotoja järkevinä tilaelementtikohteen toteuttamiseen kustannussyistä eivätkä sen takia, että kyseinen toteutusmalli rajaa ison osan markkinoiden toimijoista pois näiden ollessa pieniä. Mikäli rakennusliikkeet aktivoituvat tulevaisuudessa tilaelementtirakentamisen parissa, mahdolliset työyhteistyöt voivat tätä ongelmaa korjata. Edellä mainituista syistä huolimatta esimerkiksi KVR-toteutus voi olla varteenotettava vaihtoehto, mikäli tilaaja haluaa minimoida oman työmäärän ja riskin ja on valmis maksamaan siitä. Erilaiset yhteistoimintamallit todettiin pääasiassa hyväksi, mutta on tiedostettava, että ne ovat paitsi tilaajan kannalta, myös projektin johtamisen osalta työläitä. Näin saadaan kuitenkin tehokkaasti hyödynnettyä jokaisen mukana olevan osapuolen tietoja ja taitoja. Myös jaetusta urakkamallista oli haastateltavilla positiivisia kokemuksia, mutta tässäkin mallissa työskentelytavat osapuolten välillä olivat hyvin allianssimaisia.

Edellä mainitut allianssimalli sekä perinteisiin sopimusmalleihin sisällytetty yhteistoiminnallisuus auttavat myös suunnittelun näkökulmasta. Tilaelementtirakentaminen tuo omat erityispiirteensä jokaiselle suunnittelualalle ja Suomessa osaaminen tilaelementtikerrostalojen suunnittelusta on vielä hyvin kapealle jakautunutta. Yhteistoiminnallisuuden ja vuoropuhelun kautta myös osaaminen ja tietous leviää ilman, että eri yritysten tarvitsee toistaa samoja virheitä.

Tiedostetuista haasteista ja ongelmista huolimatta kaikki tutkimuksessa haastatellut henkilöt näkivät tilaelementtirakentamisessa valtavaa potentiaalia. Tämän täyden potentiaalin saavuttaminen vaatii kuitenkin lisää tutkimus- ja kehitystyötä paitsi yritysten ja teollisuuden osalta, myös laajemmin ohjeistusten, sopimusmallien sekä toimintamallien kehittämisen osalta valtakunnallisesti. Lisäksi merkittävänä jatkotutkimusaiheena voidaan nähdä tietynasteinen tilaelementtien liitosten ja rakenteiden vakioiminen, esimerkiksi TilaPES tai vastaavan laatiminen. Vakioinnin laajuuden määrittely vaatii vuoropuhelua niin suunnittelu- kuin tehdasosapuoltenkin välillä, mutta pitkällä tähtäimellä se palvelisi koko alaa.

## LÄHTEET

- Artec (2023). Treet. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.4.2023): <https://artec.no/prosjekter/treet/>
- ChatGPT. (2023). Tekstibotti. Mallia. Tekoäly
- Elgård, P & Miller, T. (1998). Defining Modules, Modularity and Modularization. Aalborg University ISBN 87-89867-60-2
- Eskola, J. & Suoranta, J. (1998). Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere. Vastapaino. ISBN 9789517685047
- Helppi, M. & Paloheimo, A. (2005). Ulkomaankaupan rahoitus: Riskit, maksuliikenne ja ratkaisut, Helsinki: Talentum
- Hytönen, Y. & Seppänen, M. (2009). Tehdään elementeistä: suomalaisen betonielementtira-kentämisen historia. Helsinki. SBK-säätiö.
- International Chamber of Commerce Finland (2022). Toimitusten hallinta. Incoterms 2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2022): <https://www.icc.fi/toimitusten-hallinta-icc-incoterms-2010/>
- Kaijalainen L. (1996) Puukerrostalo näyttäytyy Ylöjärvellä. Arkkitehdit tuovat uutta ilmettä asuntomessujen omakotitaloihin. Helsingin sanomat 12.7.1996.
- Kekki, T. (2019). Puurakenteiden suunnittelu. Rakennuskonsultointi T Kekki Oy.
- Kodumaja (2022). Kodumaja standard payment system.
- Konttinen M. (2014). Kouluparakeista tuli miljoonabisnes. Yle Uutiset 26.9.2014. Saatavissa (viitattu 19.1.2023): <https://yle.fi/a/3-7490966>
- Lahtela T. (2021). Paloturvallinen puukerrostalo. Helsinki. Puuinfo
- Lahtela T. (2018). Puukerrostalon palomääräykset. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Luentoaineisto. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/3\\_Puukerrostalon-palom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset\\_P%C3%84IVITETTY-7.12.2018.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/3_Puukerrostalon-palom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset_P%C3%84IVITETTY-7.12.2018.pdf)
- Lehtonen D. (2022). Tilaelementeistä kootun puukerrostalon jäykistäminen. Tampereen yliopisto. Saatavilla: [https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN\\_TAMPO/1j3mh4m/alma9911323474505973](https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911323474505973)
- Logistiikan Maailma (2022). Sopimukset. Toimituslausekkeet. Incoterms 2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2022): <https://www.logistiikanmaailma.fi/sopimukset/toimituslausekkeet/incoterms-2020/>
- Maankäyttö ja rakennuslaki 1999/132
- Malaska, M. et al. (2022). P0-paloluokan rakennusten palotekninen suunnittelu. Tekninen raportti. Tampereen Yliopisto.

- Pasanen, A. (2005). Kansainvälisen kaupan käsikirja. Helsinki: Multikustannus.
- Puuinfo (2022a). Suomessa toteutetut puukerrostalot. Tekninen tiedote 9.6.2022. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.8.2022): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/suomessa-toteutetut-puukerrostalot/>
- Puuinfo (2022b). Teollinen puurakentaminen. Opetusmateriaali teollisen puurakentamisen koulutukseen 2022. Teolliset rakennusjärjestelmät.
- Puuinfo (2020a). Runkojärjestelmät. Tekninen tiedote 14.7.2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.8.2022): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-runkojarjestelmat/>
- Puuinfo (2020b). Rakenteet. Rankarakenteet. Rungon toimintaperiaate. Tekninen tiedote 11.6.2020. Saatavissa (Viitattu 25.8.2020): <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/lon-runkojarjestelmat/>
- Puuinfo (2020c). Suunnittelu. Ohjeet. RunkoPES 2.0. 14.7.2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2022): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/runkopes-2-0/>
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017
- Puuinfo (2020d). Suunnittelu. Määräykset. Paloturvallisuus. Verkkosivu. Saatavissa (Viitattu 29.11.2022): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/paloturvallisuus/>
- Puuinfo (2020e). Rakenteet. Puukerrostalot. Suunnittelu. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.11.2022): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>
- Puuinfo (2021a). Arkkitehtuuri. Asunikerrostalot. TOAS Kauppi. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.5.2023): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/toas-kauppi/>
- Puuinfo (2021b). Arkkitehtuuri. Asunikerrostalot. HOAS Tuuliniitty. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.4.2023): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/hoas-tuuliniitty/>
- Railas, L. (2020). Incoterms 2020. Helsinki: Kauppakamari
- Rakennustieto. (2023). Puukerrostalohankkeen erityispiirteet. (RT 103546)
- Rastas E. (2021). Puukerrostalon palomuurin oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu. Diplomityö. Tampereen Yliopisto. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202108316889>
- RunkoPES 2.0 osa 11
- Sivu H. (2023). Rakennushankkeen talous. Puukohteen kustannustekninen johtaminen ja erityispiirteet. Luentoaineisto 22.3.2023
- Timocom (2022). Kuljetusalan sanakirja. CMR. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.11.2022): <https://www.timocom.fi/lexicon/kuljetusalan-sanakirja/cmr>
- Trade with Estonia (2022). Sectors- Wood. Sector info. Saatavissa (viitattu 25.8.): <https://tradewithestonia.com/sectors/wood/sector-info>
- Toivonen J. (2020). Ylen selvitys: Väistötiloissa on kymmenessä suurimmassa kaupungissa yli 17 000 koululaista – määrä on luultavasti suurempi kuin kertaakaan aiemmin. Yle Uutiset 12.8.2020. Saatavissa: (Viitattu 19.1.2023): <https://yle.fi/a/3-11480510>
- Trifkovic M. (2016). Treet – World's tallest timber building. Seminaariesitys. Saatavilla: [https://wood-works.ca/wp-content/uploads/Edmonton\\_wood-fair\\_marina.pdf](https://wood-works.ca/wp-content/uploads/Edmonton_wood-fair_marina.pdf)

Tulli (2022). Yritysassiakkaat. Tuonti. Incoterms 2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2022): <https://tulli.fi/yritysassiakkaat/tuonti/incoterms-2020>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2020). Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. Julkaisu 25.6.2020. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-510-2>

Yleissopimus tavarankansainvälisessä tiekuljetuksessa käytettävästä rahtisopimuksesta 50/1973

Ympäristöministeriö (2022). Suomalainen puukerrostalohankekanta. Julkaisu 06/2022. Saatavissa: [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/597e40a3-6299-4aee-a02c-814c9652cd3a/RAPORTTI\\_20220623102420.pdf](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/597e40a3-6299-4aee-a02c-814c9652cd3a/RAPORTTI_20220623102420.pdf)