

Heidi Sormunen

**PUUKERROSTALORAKENTAMISEN  
PROSESSI SUOMESSA**  
Esivalmistus rakentamisessa

Kandidaatintutkielma  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastaja: Juha Franssila  
Kesäkuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Heidi Sormunen: Puukerrostalorakentamisen prosessi Suomessa – Esivalmistus rakentamisessa (Process of multi-storey timber construction in Finland – Prefabrication in construction)

Kandidaatintutkielma

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikka

Kesäkuu 2021

---

Puun käyttöä halutaan kasvattaa ilmastopoliittisten ja yhteiskunnallisten tarpeiden takia ja puukerrostalorakentaminen on yksi puun käytön merkittävimmistä kasvumahdollisuuksista. Suomessa puukerrostalorakentaminen on kuitenkin suhteellisen uutta. Tässä työssä tavoitteena on tutkia, millainen puukerrostalorakentamisen prosessi on. Työssä selvitetään eroja perinteisen rakentamisen ja puukerrostalorakentamisen välillä sekä tarkastellaan, millaisia haasteita puukerrostalorakentamisessa ilmenee. Lisäksi selvitetään kuinka puukerrostalorakentamiselle tyypillinen korkea esivalmistusaste vaikuttaa rakentamisen prosessiin. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena aiempien tutkimusten ja kirjallisuuden pohjalta. Työ on rajattu keskittymään yleisiin puukerrostalorakentamisessa käytettäviin rakennejärjestelmiin ja työssä käsitellään esivalmistusta rakentamista sekä rakennushankkeen toteuttamistapoja.

Esivalmisteisessa rakentamisessa rakennuksen osia rakennetaan tehdasoloissa työmaan ulkopuolella. Tehdasolojen myötä rakentamisen laatua, tuottavuutta ja tehokkuutta voidaan parantaa esivalmisteisella rakentamisella. Puukerrostalorakentaminen perustuu esivalmistaiseen rakentamiseen, jossa yleisimmin käytettäviä esivalmistetyyppejä ovat taso- ja tilaelementit sekä pilaripalkkirungon elementoidut osat. Tilaelementit ovat pisimmälle esivalmistettu rakentamisjärjestelmä, jossa tilayksiköt voivat parhaimmillaan olla muuttovalmiita.

Nykyiset rakennusalan toimintamallit ja käytännöt pohjautuvat perinteiseen rakentamiseen, eivätkä ne sovellu hyvin puukerrostalorakentamiseen sen erityispiirteiden vuoksi. Puukerrostalorakentamisen toteuttamiseen liittyy vahvasti tuoteosakauppa, jossa hankkeesta annetaan osakokonaisuuksia tuoteosatoimittajan toteutettavaksi. Tuoteosatoimittaja suunnittelee, valmistaa ja asentaa tarjoamansa kokonaisuuden. Koska puukerrostalorakentaminen perustuu esivalmistaiseen rakentamiseen, hankkeen osapuolien vastuusuhteet poikkeavat suuresti tavanomaisen rakennushankkeen vastuunjaon käytännöistä sekä suunnittelun että hankkeen toteutuksen näkökulmasta.

Tarkastelun perusteella selvisi, että puukerrostalorakentamisen prosessi eroaa monin tavoin perinteisestä rakentamisesta. Puu rakennusmateriaalina ja esivalmistuksen käyttö vaikuttavat hankkeen toteutustapaan, suunnitteluun sekä työmaatoteutukseen. Tämä työ osoittaa, että puukerrostalorakentamisen prosessissa haasteena on toteutusmuodon valinta ja sen myötä se, miten vastuu jaetaan rakennushankkeessa osapuolien kesken. Työssä selvisi, että puukerrostalorakentaminen on yrityskohtaista eikä käytettävistä käytännönratkaisuista jaeta avoimesti tietoa. Puukerrostalorakentamisen edistämistä varten rakennusallalla tarvitaan enemmän yhteistyötä sekä avoimuutta.

Avainsanat: Puukerrostalorakentaminen, teollinen esivalmistus, elementti, toteutusmuoto, rakentamisen prosessi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. ESIVALMISTEINEN RAKENTAMINEN .....	2
2.1 Teollinen esivalmistus rakentamisessa .....	2
2.1.1 Esivalmistuksen määrittely .....	2
2.1.2 Esivalmisteen rakentamisen hyötyjä .....	3
2.1.3 Esivalmistus kerrostalorakentamisessa .....	4
2.1.4 Esivalmistus puukerrostalorakentamisessa .....	4
2.2 Puukerrostalorakentamisen rakennejärjestelmät .....	5
2.2.1 Kantavat seinät -järjestelmä .....	5
2.2.2 Pilari-palkkijärjestelmä .....	7
2.2.3 Tilaelementtitekniikka .....	7
3. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN PROSESSI .....	9
3.1 Rakennushankkeen toteuttaminen .....	9
3.1.1 Rakennushankkeen osapuolet .....	9
3.1.2 Toteutusmuodot .....	10
3.1.3 Pääurakkamuodot .....	13
3.1.4 Projektinjohtomuodot .....	15
3.1.5 Suunnittele ja rakenna -muodot .....	17
3.2 Rakennushanke .....	19
3.2.1 Rakennushankkeen vaiheet .....	19
3.2.2 Suunnittelu .....	20
3.2.3 Rakentaminen .....	22
4. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	25
LÄHTEET .....	27

# 1. JOHDANTO

Puun käyttöä rakentamisessa halutaan kasvattaa muun muassa ilmastopoliittisten ja yhteiskunnallisten tarpeiden takia. Puun käytön lisäämiseen liittyy vahvasti puuhun pohjautuvien rakennusjärjestelmien ja tuotteiden kehittäminen. (Ympäristöministeriö 2016) Puukerrostalorakentaminen on yksi merkittävimmistä puun käytön laajentumismahdollisuuksista (Karjalainen 2020), joten sen kehittäminen on hyvin tärkeää. Puukerrostalorakentaminen on kuitenkin suhteellisen uutta Suomessa ja nykyiset rakennusalan käytännöt ja toimintamallit pohjautuvat perinteiseen rakentamiseen, joten puukerrostalorakentamisen prosessissa on vielä haasteita ja rakentamiseen tarvitaan siihen hyvin sopivia toimintajärjestelmiä. (Tuohimaa 2018, s. 83, 85-99). Puukerrostalorakentamiselle on tyypillistä pitkälle viety esivalmistus, johon rakentamisen järjestelmänä ei olla totuttu perinteisessä rakentamisessa (Tolppanen et al. 2013, s. 31).

Työn tavoitteena on tutkia, millainen puukerrostalorakentamisen prosessi on ja tunnistaa sille tyypillisiä ominaisuuksia. Tavoitetta varten työssä pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin:

- Miten puukerrostalorakentamisen prosessi eroaa perinteisen rakentamisen prosessista?
- Mitä ongelmakohtia puukerrostalorakentamisen prosessissa on?
- Mihin korkea esivalmiusaste vaikuttaa rakentamisen käytännöissä?

Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena julkaistun kirjallisuuden ja tieteellisen tutkimuksen pohjalta. Työssä käsitellään puukerrostalorakentamisen ja perinteisen rakentamisen prosesseja sekä esivalmisteista rakentamista. Työn aihe rajataan keskittymään yleisimpiin puukerrostalon rakennusmenetelmiin eli taso- ja tilaelementeistä sekä pilari-palkkirungon elementeistä osista rakennettuihin puukerrostaloihin. Työssä ei käsitellä puun ja jonkun muun materiaalin muodostavia hybridirakenteita eikä painumattoman hirren mahdollisuutta puukerrostalon rakenteena.

## 2. ESIVALMISTEINEN RAKENTAMINEN

### 2.1 Teollinen esivalmistus rakentamisessa

#### 2.1.1 Esivalmistuksen määrittely

Rakentamisen esivalmistuksella (prefabrication, off-site production) tarkoitetaan rakennusosien valmistamista rakennustyömaan ulkopuolella, yleensä tehtaalla, josta osat kuljetetaan työmaalle asennettaviksi paikoilleen (Emmitt & Gorse 2010, s. 477; Thai et al. 2020). Esivalmistetut osat toimitetaan rakennustyömaalle tarkassa aikataulussa ja osat pystytetään paikalleen selkeästi määritellyssä järjestyksessä. Jotta osien toimitus ja asennus pystytään toteuttamaan tehokkaasti, jo suunnitteluprosessin varhaisilta vaiheilta vaaditaan selkeitä päätöksiä ja suunnittelupanosta. Suurella ja yleensä hyvin toistuvalla mittakaavalla esivalmistus voi osoittautua tehokkaammaksi vaihtoehdoksi perinteisen paikalla rakentamisen menetelmille. (Emmitt & Gorse 2010, s. 477)

Esivalmistuksen laajuus vaihtelee huomattavasti käytetyn esivalmistuksen tyyppin mukaan. Rakennuksia voidaan rakentaa työmaalle toimitetuista valmiista tilayksiköistä kokoamalla, siten että tilayksiköt nostetaan nosturilla paikalleen, kiinnitetään perustuksiin ja toisiinsa sekä liitetään taloteknisiin järjestelmiin. Myös tilayksiköitä pienempiä elementtejä voidaan käyttää, jolloin niiden asentaminen paikalleen työmaalla ei ole yhtä yksinkertaista kuin tilayksikköjä käytettäessä. (Emmitt & Gorse 2010, s. 478)

Esivalmisteiseen rakentamiseen liitetään vahvasti modulaarinen rakentaminen (modular building). Modulaarinen rakentaminen on rakennuksen osien eli moduulien valmistamista työmaan ulkopuolella ja niiden asentamista työmaalla yhtenäiseksi kokonaisuudeksi (Emmitt & Gorse 2010, s. 478; Kotilainen & Hedman 2015, s. 28; Ferdous et al. 2019; Thai et al. 2020). Modulaarisen rakentamisen määritelmä on kuitenkin vaihteleva siinä suhteessa, että mitä rakennuksen osilla eli moduuleilla tarkoitetaan. Kotilaisen & Hedmanin (2015, s. 28) mukaan modulaarisessa rakentamisessa moduuleilla tarkoitetaan kolmiulotteisia rakennuksen tilayksiköitä eli tilaelementtejä. Tilaelementteihin voidaan rakentaa elementin rajaavien seinien lisäksi halutun valmiusasteen mukaan esimerkiksi julkisivu- ja sisäpinnat, väliseinät, kiintokalusteet sekä talotekniset järjestelmät liitännöiksi vaille valmiiksi (Kotilainen & Hedman 2015, s. 28). Myös Emmittin & Gorsen (2010, s. 478–479) mukaan modulaarisella rakentamisella tarkoitetaan tilaelementtitekniikkaa (volumetric construction). Ferdous et al. (2019) ja Thai et al. (2020) puolestaan määrittelevät modulaarisen rakentamisen rakentamisena, jossa rakennus rakennetaan kaksikulotteisista tasomaisista elementeistä tai kolmiulotteisista tilaelementeistä tai näiden molempien yhdistelmistä (panelised and volumetric construction).

## 2.1.2 Esivalmisteisen rakentamisen hyötyjä

Esivalmistuksen hyödyllisyyteen rakentamisessa on monia syitä. Esivalmistuksen hyödyt liittyvät vankkumattomasti laadun saavuttamisen ja ylläpidon haasteisiin. Rakentamisen laatuun liittyvät suuresti sääolot työmaalla, ammattitaitoisen työvoiman saatavuus ja rakentamisessa käytettävien materiaalien valvonta. Esivalmistuksen taloudelliset hyödyt yleensä liittyvät esivalmistettujen yksiköiden toistettavuuteen sekä työnkulun parempaan ennustettavuuteen. (Emmitt & Gorse 2010, s. 493)

Ferdousin et al. (2019) ja Emmittin & Gorsen (2010, s. 493) mukaan rakentamisen tuottavuutta pystytään parantamaan käyttämällä elementtien esivalmistusta. Työympäristö tehtaalla takaa tasaisemman työnkulun, kuin työmaalla huonoissa sääolosuhteissa, jolloin myös työn parempi laatu on varmempaa. Esivalmistettujen osien laatuun vaikuttaa myös tehdasolosuhteiden mahdollistama korkean tason tarkkuus. Työturvallisuus paranee, kun pölyn ja epäpuhtauksien hallinta on helpompaa tehdasolosuhteissa sekä rakennustelineitä ja korkealla työskentelyä vaativaa työtä on vähemmän. Myös työergonomiaan pystytään vaikuttamaan tehdasolosuhteissa, kun työergonomisesti vaativat työt voidaan toteuttaa koneita hyväksikäyttäen. (Emmitt & Gorse 2010, s. 477, 493)

Ferdousin et al. (2019) mukaan taso- ja tilaelementtien käyttämisellä rakentamisessa voidaan vähentää olennaisesti materiaalien käyttöä sekä materiaali-jätettä ja siten vähentää rakentamisen ympäristövaikutusta. Emmittin & Gorsen (2010, s. 494) mukaan myös materiaalihukan vähentämisen lisäksi käytettävien materiaalien laadunvarmistus on helpompi toteuttaa tehdasolosuhteissa sekä käytettävien materiaalien laatu voi parantua suurien tilausmäärien myötä.

Ferdous et al. (2019) esittävät myös, että elementtien käytön avulla voidaan minimoida kuljetustoimintaa, melua ja ympäristölle aiheutuvaa häiriötä sekä rakennuksen tuotantoon käytettävää energiaa (embodied energy). Myös tapaturmia, turvallisuusriskejä, hiilidioksidipäästöjä ja rakentamisaikaa pystytään vähentämään elementtien esivalmistuksella (Ferdous et al. 2019). Kaupallisessa rakentamisessa ajan säästäminen työmaalla on tärkeä taloudellinen näkökulma. Esivalmistuksella saavutettava lyhyempi rakennusaika mahdollistaa investointien nopeamman tuoton ja aikaisemman rakennuksen käyttöönoton. (Emmitt & Gorse 2010, s. 477) Thain et al. (2020) mukaan esivalmistuksen käyttö taso- ja tilaelementein on osoittanut huomattavia hyötyjä liittyen rakennusajan lyhenemiseen, kustannuksien vähenemiseen ja varsinkin ympäristövaikutuksien pienentämiseen verrattuna tavanomaiseen rakentamiseen.

### 2.1.3 Esivalmistus kerrostalorakentamisessa

Ferdous et al. (2019) esittävät, että esivalmisteisessa rakentamisessa on potentiaalia olla kestävä rakentamismenetelmä liike-, asuin- ja teollisuusrakennuksiin. Taso- ja tilaelementtirakentamista käytetään laaja-alaisesti vain matalakerroksisissa kerrostaloissa, vaikka rakentamisen hyödyt voitaisiin maksimoida korkeakerroksisissa kerrostaloissa esivalmistuksen toistuvuuden kautta (Thai et al. 2020).

Thai et al. (2020) esittävät, että taso- ja tilaelementtirakentamisessa on useita hyötyjä, jotka soveltuvat hyvin korkeaan kerrostalorakentamiseen, mikä voi siten muokata rakennusteollisuuden tulevaisuutta. Ferdous et al. (2019) esittävät, että taso- ja tilaelementtirakentaminen on asuinrakentamisen tulevaisuutta. Vaikka taso- ja tilaelementtirakentamisella on todettu olevan huomattavia etuja, elementtirakentaminen ei ole yleistynyt rakennusteollisuudessa yhtä hyvin kuin on oletettu. Taso- ja tilaelementtien käytön hidaskasvu johtuu suurimmilta osin elementtirakentamiseen hyvin soveltuvien suunnitteluohjeiden ja elementtiliitoksien puutteesta, osaavan työvoiman ja mahdollisten sijoittajien puutteesta sekä elementtirakentamisen suurista alkukustannuksista. (Ferdous et al. 2019)

### 2.1.4 Esivalmistus puukerrostalorakentamisessa

Tolppasen et al. (2013, s. 31) mukaan teollinen järjestelmärakentaminen eroaa tavanomaisesta rakentamisesta monin tavoin. Järjestelmärakentaminen on ennalta määritettyihin suunnittelu- ja toteutusratkaisuihin perustuvaa rakentamista. Rakentamisen järjestelmä voi olla projektikohtainen, suljettu tai avoin. Suljettu järjestelmä on yrityskohtainen, kun taas avoin järjestelmä on alan yhteisesti sopima teollisuusstandardi. (Tolppanen et al. 2013, s. 30)

Nykyaikainen puukerrostalorakentaminen perustuu lähinnä elementtirakentamiseen, jossa kantavat rakenteet voidaan toteuttaa muun muassa suurelementteinä tai elementoiduilla pilari-palkkirungon osilla. Puukerrostaloihin onkin valittavana erilaisia rakennejärjestelmiä. (Puuinfo 2020b) Tolppasen et al. (2013, s. 30) mukaan rakennejärjestelmä on rakennuksen kantavista ja tiloja rajaavista rakennusosista muodostuva kokonaisuus. Puukerrostalon rakennejärjestelmiä ovat kantaviin seiniin perustuvat järjestelmät sekä pilari-palkkijärjestelmä. Yleisimmin puukerrostalorakentamisessa käytetään kantavaseinäisiä rakenteita: rankarunkoisia tai massiivipuisia tasoelementtejä tai näistä valmiiksi koottuja tilaelementtejä. (Puuinfo 2020b)

Puuelementtistä asuntotuotantoa varten on laadittu avoin puuelementtistandardi Runko-PES, jossa esitetään muun muassa rakenneratkaisujen rakennepaksumuksia, liittymien geo-

metriaa ja moduuliviivastojen sijainteja. Avoin puuelementtistandardi mahdollistaa puuelementtien laajempaa käyttöä ja kilpailukykyisemmän puurakentamistavan. RunkoPES:n avulla suunnittelua ei ole rajoitettu tietyn valmistajan puuratkaisuihin, jolloin rakennuksen suunnittelu voidaan toteuttaa helpommin ja tilaajan kilpailuttamismahdollisuudet paranevat laajempien puuratkaisumahdollisuuksien myötä. Elementtien liittymien vakioidun geometrian avulla työmaavaihe pystytään toteuttamaan nopeasti ja rakenteiden liitokset yksinkertaisesti ja tehokkaasti. (Puuinfo 2020c)

Puu materiaalina sopii hyvin teolliseen rakennusosien valmistukseen, koska se on kevyttä, lujaa ja helposti työstettävää. Puun keveyden takia suurikokoistenkin elementtien kuljetus ja paikalleen nostaminen onnistuu työmaanosturia keveämmillä autonostureilla ja kurottajilla. (Tolppanen et al. 2013, s. 31) Svenskt Trän (2021) mukaan puun hyvä lujuus-painosuhte mahdollistaa yhä suurempien rakennusosien sekä niiden suuremman määrän esivalmistuksen ja kuljetuksen. Puurakentaminen mahdollistaa nopean kokoonpanon elementtien mittatarkkuuden sekä helpon liitostekniikan avulla ja kun rakenteiden kuivumista ei tarvitse odottaa (Tolppanen et al. 2013, s. 172).

## **2.2 Puukerrostalorakentamisen rakennejärjestelmät**

### **2.2.1 Kantavat seinät -järjestelmä**

Käytetyin runkojärjestelmä puukerrostaloissa perustuu kantaviin seiniin. Kantavat seinät voidaan toteuttaa rankarunkoisilla tai massiivipuisilla suurelementeillä. Vaakarakenteiden kuormat johdetaan kantaville seinille, jolloin vaakarakenteiden suurimmat käytettävät jännevälit vaikuttavat kantavien seinien sijoitteluun. Kantavien seinien sijoitteluun pitää kiinnittää huomiota, sillä huoneiston sisäiset kantavat seinät vaikuttavat pohjaratkaisun muuntojoustavuuteen. (Tolppanen et al. 2013, s. 39)

Kaikista yleisimmin puukerrostalorakentamisessa käytetään runkotolpista, niitä sitovista sidepuista ja myös jäykistyksenä toimivasta levytyksestä muodostettavaa rankarakenteista suurelementtiä, joka toimii kantavana seinänä. Runkotolppien ja sidepuiden materiaaleina käytetään liima- tai viilupuuta ja lämmöneristeenä palamatonta eristettä. (Tolppanen et al. 2013, s. 40) Esivalmistusasteesta ja muista vaatimuksista riippuen rakenteeseen asennetaan muita rakennekerroksia ja seinän osia (Kaufmann et al. 2018, s. 52). Tavallisesti työmaalle toimitettavat elementit kuitenkin sisältävät valmiiksi asennetun ulkoverhouksen sekä ikkunat ja ovet. Ei-kantavat seinät ovat rakenneperiaatteeltaan rankarunkoisen kantavan seinän kaltaisia. Huoneistojen väliset seinät toteutetaan kaksoisrunkoisina, jotta rakenteelle saadaan tarvittavat ääneneristysominaisuudet. (Tolppanen et al. 2013, s. 40–42)



Kantavaseinäisinä suurelementteinä voidaan myös käyttää massiivipuisia elementtejä, kuten CLT:stä (Cross Laminated Timber) tehtyjä levyjä, jotka toimivat samalla jäykistävinä rakenteina. Kantavina elementteinä CLT-levyissä toimii kerroksittain ristiin liimatut massiivipuiset laudat. Massiivipuulevyt ja niihin tulevat aukot ja muut työstöt pystytään tekemään mittatarkasti ja joustavasti CLT-levyyn CNC-koneella. (Tolppanen et al. 2013, s. 43, 45) Ulkoseinä-rakenteessa massiivipuulevy asetetaan rakenteen sisäpuolelle ja lämmöneriste sijoitetaan levyn ulkopuolelle tavallisesti kiinnittäen suoraan levyyn liimaamalla. Ulkoverhous voidaan kiinnittää levyyn eristeen läpi tai koolauksien kautta. (Puuinfo 2020a)

Kantavien seinien kanssa käytetään välipohjaelementtejä, joita ovat rankarakenteiset palkkivälipohja, kotelo- tai ripalaatta, joissa CLT-levy voi toimia jäykistävässä rakenteena. Massiivipuulevyrakenteisessa järjestelmässä välipohjana voidaan käyttää myös CLT-levyä itsessään kantavana rakenteena. (Puuinfo 2020a) Tolppasen et al. (2013, s. 33) mukaan näillä puurakenteisilla välipohjilla normaalitapauksissa päästään enintään 6–7 m:n pituisiin jänneväleihin, minkä vuoksi kantavia seiniä tarvitaan enemmän kuin tavanomaisessa betonirakenteisessa ontelolaattatalossa. Jännemittoja voidaan kuitenkin kasvattaa, jos kantavan rakenteen korkeutta kasvatetaan (Tolppanen et al. 2013, s. 42).

Rankarakenteisessa järjestelmässä ulkoseinien suurelementit ovat tavallisesti seinän pituisia ja kerroksen korkuisia. Seinä- ja välipohjaelementtien pituus on enimmillään 12–14 m ja välipohjaelementtien leveydet ovat yleensä 1,8 ja 2,4 m:n välillä. Massiivipuulevyrakenteissa voidaan käyttää suuria levyjä, jotka ovat kooltaan 2,95 x 16 m ja paksuimmillaan 40 cm. (Tolppanen et al. 2013, s. 41–44) Levyjen koot määräytyvät tuotannon ja kuljetuksen olosuhteiden perusteella. Muuten levyt voisivat olla periaatteessa minkä kokoisia tahansa. (Kaufmann et al. 2018, s. 54)

Oiva Wood Solutions Oy valmistaa rankarunkoisia tasoelementtejä pyrkien mahdollisimman pitkälle vietyyn esivalmistukseen. Yleensä seinäelementit toteutetaan siten, että ulkopuoli verhoillaan elementtisaumoja myöten ja sisäpuoli tehdään tasoitusta ja pinnoitusta vaille valmiiksi. Elementteihin voidaan asentaa sähköasennusrasioita sekä LVI-läpivientikappaleita. Myös ikkunat asennetaan yleensä ulkoseinäelementteihin ja ikkunapielet viimeistellään ulkoapäin. Välipohjaelementeissä lattiapinta voidaan varustella kipsilevytyksellä ja läpiviennit voidaan ottaa huomioon välipohjaelementtien toteutuksessa. Välipohjaelementin alapinnan varustelu tehdään työmaalla. (Oiva Wood Solutions 2021)

LapWall toimittaa rankarunkoisia seinäelementtejä valmiusasteella, jossa elementteihin on asennettu ulkoverhous, ikkunat sekä sisäpuolen koolaus (LapWall 2018). Elementti Sampo:n toimittamat CLT-runkoiset tasoelementit voidaan toteuttaa tätäkin suuremmalla valmiusasteella: valmiista sisäpinnasta valmiiseen ulkoverhoukseen (Elementti Sampo 2021).

Stora Enso tarjoaa puukerrostaloihin massiivipuisiin tasoelementteihin perustuvaa puukerrostalokonseptia. Kerrostalon pystytys aloitetaan pystyttämällä ensin pelkät massiivipuiset

kantavat rakenteet, jonka jälkeen kerrostalo varustetaan muun muassa ei-kantavilla rakenteilla, ikkunoilla, ovilla, julkisivun osilla ja sisäpinnoilla. Julkisivut voidaan toteuttaa myös erillisinä elementteinä. (Stora Enso 2016, s.7–8)

## 2.2.2 Pilari-palkkijärjestelmä

Kantavien seinien lisäksi puukerrostalo voidaan toteuttaa pilari-palkkijärjestelmällä. Pilari-palkkijärjestelmässä viilupuiset pilarit ja palkit muodostavat rakennuksen rungon. Rungon varaan asetetaan ulkoseinät sekä väli- ja yläpohjatasot, jotka tavallisesti toteutetaan rankarakenteisina suurelementteinä. Kantavaseinäisestä järjestelmästä poiketen pilari-palkkirunkoista rakennusta ei jäykistetä levyjäykistyksin, vaan jäykistys tehdään mastopilareilla. (Puuinfo 2020a) Tolppasen et al. (2013, s. 47) mukaan mastopilarijäykistykseen kanssa jäykisteenä käytetään vinositeitä ja tarvittaessa myös levyjäykistyksiä. Pilari-palkkirunkoisessa rakennuksessa ei esiinny taipumia yhdenmittaisten pystyrakenteiden vuoksi (Tolppanen et al. 2013, s. 47).

Pilari-palkkijärjestelmällä pohjaratkaisusta saadaan muuntojoustava sekä avoimempi verrattuna kantaviin seiniin perustuvalla järjestelmällä. Ulko- ja väliseinät toteutetaan ei-kantavina, jolloin huoneistojen pohjissa voidaan tehdä hyvinkin erilaisia ratkaisuja. Ei-kantavien seinien myötä myös huoneistojen välisten seinien sijainteja voidaan myöhemmin muuttaa, jos mahdolliset muutokset otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa. Kun kantava runko toteutetaan pilareilla ja palkeilla, on mahdollista myös tehdä suuria aukotuksia sekä julkisivuissa että rakennuksen sisällä. (Tolppanen et al. 2013, s. 46–48)

Pilari-palkkirunkoisessa kerrostalossa ulko- ja väliseinät voidaan toteuttaa siten, että rungon pilarit jäävät seinien sisään tai että pilarit ovat seinistä erillään sisätilassa. Välipohjan tapauksessa myös primääripalkistot voivat joko olla välipohjan tasoon sijoitettuna tai jäädä välipohjan alapuolelle. (Tolppanen et al. 2013, s. 46) Välipohjien jännemitat määrittävät millä välillä pilarit sijaitsevat toisistaan (Puuinfo 2020a). Tolppasen et al. (2013, s. 46) mukaan suurimmillaan jännevälit ovat noin 7,5 m. Tavallisesti välipohjat toteutetaan tasoelementeillä tai levyistä sekundaaripalkkien varaan kokoamalla. Ripalaatta tasoelementtinä on yleisin ratkaisu välipohjalle. (Tolppanen et al. 2013, s. 47)

## 2.2.3 Tilaelementtitekniikka

Tilaelementtitekniikalla tarkoitetaan tapaa rakentaa, jossa rakennus kootaan tehtaalla valmistetuista tilayksiköistä. Tavallisesti tilaelementti koostuu kantavasta rungosta ja valmiista lattiasta, seinistä ja katosta. Kantava rakenne tilaelementissä voidaan toteuttaa monin eri tavoin: rankarakenteisilla tai massiivipuulevyisillä tasoelementeillä, pilari-palkkijärjestelmällä

tai kehärakenteella. (Puuinfo 2020a) Tolppasen et al. (2013, s. 48) mukaan tilaelementtien kantava rakenne toteutetaan yleisimmin rankarakenteisilla tasoelementeillä.

Tilaelementit valmistetaan kokonaan tehtaalla säältä suojassa ja myös rakenteiden pinnat tehdään valmiiksi viimeistelyä myöten (Puuinfo 2020a). Työmaalle tuotaviin elementteihin on yleensä asennettu valmiiksi myös ikkunat, ovet, kiintokalusteet sekä LVIS-asennukset (Tolppanen et al. 2013, s. 48). Tällainen tilaelementtien korkea esivalmistusaste lyhentää rakentamista työmaalla huomattavasti (Svenskt Trä 2021).

Tilaelementit soveltuvat varsinkin pienasuntokohteisiin ja asuntoloihin samanlaisten huoneilojen ja huoneistojen toistuvuuden takia (Tolppanen et al. 2013; s. 48 Puuinfo 2020b). Kun toistuvuus tilaelementeissä on suuri, tuotantosarjat saadaan pitkiksi ja tilaelementtirakentaminen taloudellisemmaksi (Tolppanen et al. 2013, s. 48). Tilaelementtien yhdistämisen myötä muodostuvan kaksoisrakenteen ansiosta saavutetaan erinomainen ääneneristys huoneistojen välillä (Puuinfo 2020a). Suurien kokonaisuuksien lisäksi tilaelementeillä voidaan toteuttaa myös pienempiä kokonaisuuksia muiden rakennejärjestelmien lisänä. Pienempiä toteutettavia kokonaisuuksia ovat esimerkiksi WC-, kylpyhuone- ja saunaelementit. (Tolppanen et al. 2013, s. 48)

Tilaelementtien kuljetus ja asennusnostot asettavat rajoituksia elementtien enimmäismitoille ja painoille, mikä on huomioitava elementtien suunnittelussa. Tilaelementtien enimmäismitat ovat tavallisesti 12 x 4,2 x 3,2 m, mutta suuremmatkin ratkaisut ovat mahdollisia. (Puuinfo 2020a) Elementtien kuljetuksen ja asennuksen aikaiseen jäykkyyteen sekä valmiiden sisäpintojen sääsuojaukseen on kiinnitettävä huomiota erityisesti (Tolppanen et al. 2013, s. 48).

Elementti Sampo toimittaa CLT-rakenteisia tilaelementtejä tilaajan haluaman varustelutason mukaan. Tilaelementtejä voidaan toteuttaa valmiiksi sisustettuina ja muuttovalmiina huoneistoina tai sisustamattomina runkoina. (Elementti Sampo 2021)

Elementtituottaja Harmet tuottaa rankarakenteisia moduulielementtejä eli tilaelementtejä käyttäen Metsä Woodin Kerto-tuotteita eli viilupuisia palkkeja, tolppia ja levyjä. Harmetin tuottamat tilaelementit rakennetaan jopa yli 90 %:n valmiusasteeseen työmaalla, jolloin tilaelementeissä on ikkunat ja ovet, sähkö- ja vesijärjestelmät sekä kylpyhuoneet ja keittiöt asennettuina valmiiksi. (Metsä Wood 2021; Harmet 2021)

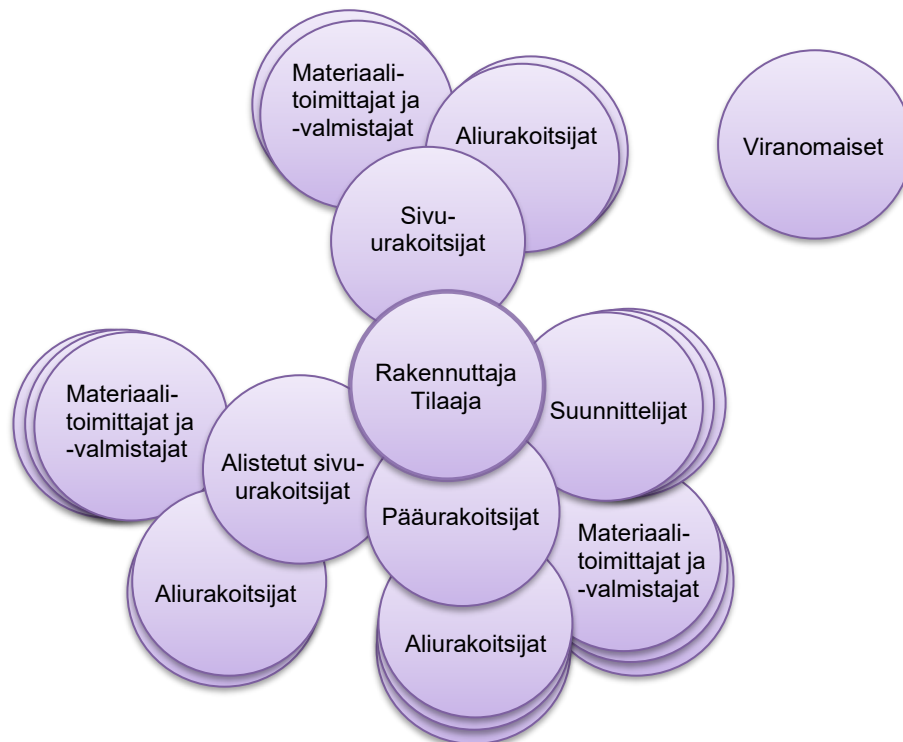
Woodcomp-yhtiöt tuottavat rankarakenteisia tilaelementtejä puukerrostalorakentamiseen, joiden esivalmistusaste on korkea. 80 % rakentamisesta toteutetaan tehdasolosuhteissa. (Woodcomp 2021a) Tilat viimeistellään taloteknisten järjestelmien sekä kalusteiden asentamista myöten siten, että työmaalla tilaelementtien pystytyksen jälkeen tehtävänä on vain elementtien liittäminen toisiinsa, saumojen viimeistely sekä taloteknisten järjestelmien liittäminen ja säätäminen. (Woodcomp 2021b)

## 3. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN PROSESSI

### 3.1 Rakennushankkeen toteuttaminen

#### 3.1.1 Rakennushankkeen osapuolet

Osapuolia rakennushankkeessa on useita: rakennushankkeeseen ryhtyvä, omistaja, käyttäjä, rakennuttaja, suunnittelijat, urakoitsijat, materiaali- ja rakennustuotetoimittajat ja viranomaiset (kuva 1). Osapuolien keskinäisiä suhteita määritellään hankkeessa käytettävän toteutusmuodon mukaan. Yksi osapuoli voi hoitaa myös toisen osapuolen tehtäviä kuitenkin ammattitaidosta ja -osaamisesta riippuen. Osapuolina toimiville tai osapuolien tehtävien suorittajille asetetaan vaatimuksia koulutuksen, kokemuksen sekä ammattitaidon mukaan. Vaatimuksiin vaikuttavat suuresti myös rakennushankkeen laatu, laajuus ja kesto. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 13, 32)



Kuva 1 Rakennushankkeen osapuolet (Junnonen & Kankainen 2020, s. 13)

Rakennushankkeeseen ryhtyvä on viranomaisnäkökulmasta sellainen luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka nimissä rakentamisen luvat hankitaan (RT 10-11222 2016, s.1). Rakennushankkeeseen ryhtyvää kutsutaan rakennuttajaksi tai rakennuskohteen tilaajaksi. Usein rakennushankkeeseen ryhtyvä on kiinteistön omistaja tai rakennuspaikan hallitsija. Rakennushankkeen rakennuttaja on sopimusasiakirjoissa käytettävä termi luonnollisesta tai juridisesta henkilöstä, jonka nimeen rakennustyö tehdään ja joka ottaa rakennustyön tuloksen vastaan. Rakennuttaja on myös juridisesti tilaaja häneen suorassa sopimussuhteessa oleville rakennushankkeen osapuolille. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 14)

Omistajaksi määritellään organisaatio tai yksityishenkilö, joka omistaa rakennuksia tai maa- ja vesirakenteita (Junnonen & Kankainen 2020, s. 14). Käyttäjiä ovat esimerkiksi asukas-, henkilöstöryhmät, jotka hyödyntävät rakennettavia tiloja omassa toiminnassaan. Käyttäjät eivät aina varsinaisesti osallistu rakentamisen prosessiin. (RT 10-11222 2016, s.3)

Suunnittelijat ovat eri suunnittelualojen ammattilaisista koostuva yhteistyötä tekevä suunnitteluryhmä. Rakennushankkeella tulee maankäyttö- ja rakennuslain mukaan olla pääsuunnittelija, joka vastaa suunnittelun laadusta ja kokonaisuudesta. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 15)

Rakennushankkeen osapuolina rakennustyön toteuttajat vastaavat rakennushankkeen tuotteen tuottamisesta. Toteuttajana voi toimia rakennuttava organisaatio tai rakennusurakoitsija. Sopimussuhteiden mukaisesti urakoitsijoita muun muassa nimitetään pää- ja sivu-urakoitsijoiksi. Urakoitsija voi ostaa urakkasuorituksia muilta urakoitsijoilta, joita tällöin kutsutaan aliurakoitsijoiksi. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 15, 34) Hankkeeseen urakoitsijat valitaan urakkakilpailulla tai neuvottelumenettelyä käyttäen (RT 10-11222 2016, s.3).

Materiaali- ja rakennustuotetoimittajat ovat yrityksiä, jotka myyvät rakennustarvikkeita, -materiaaleja ja -tuotteita. Materiaalihankintojen tekijöinä voi toimia urakoitsija tai rakennuttaja. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 15)

Rakennushankkeessa viranomainen valvoo, että rakennus toteutetaan täyttäen turvallisuudelle ja terveellisyydelle asetetut vaatimukset. Hankkeen suunnittelua ja rakentamista valvotaan ja ohjataan lakien, asetusten ja kaavojen avulla sekä paikkakohtaisten määräysten, ohjeiden ja normien avulla. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 15) Valvontaa kohdistetaan pääasiassa siihen, että hankkeesta vastaavat toteuttajat täyttävät heille kuuluvat ja määrätyt velvollisuudet (RT 10-11222 2016, s.5).

### **3.1.2 Toteutusmuodot**

Toteutusmuodolla tarkoitetaan tapaa, jolla rakennuttaja on valinnut hankkeen toteutettavaksi. Rakennuksen ja siihen kuuluvien rakennuttamis-, suunnittelu- ja rakentamispalvelui-

den sisältö ja osapuolien vastuusuhteet määräytyvät toteutusmuodon mukaan. Toteutusmuoto määrää siten eri osapuolien tehtävät, kannettavat riskit ja saatavat hyödyt. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 32)

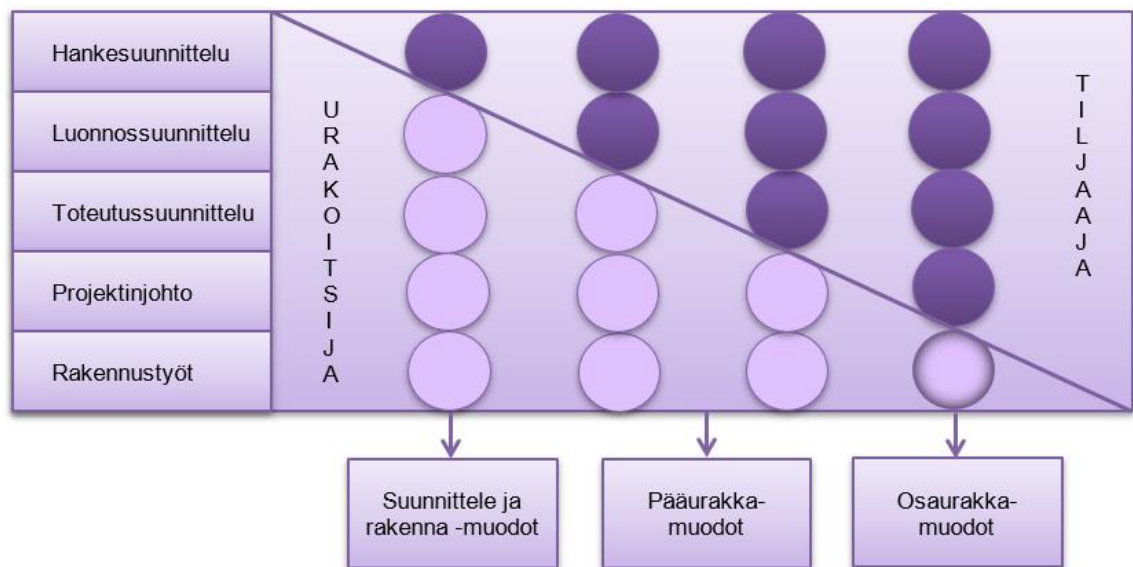
Hankkeen toteutusmuodon valintaan vaikuttaa se, mitä rakennushankkeen tehtäviä rakennuttaja suorittaa itse ja mitä tehtäviä ja millaisessa kokonaisuudessa rakennuttaja hankkii ulkopuolisina palveluina. Näiden lisäksi valintaa tehdessä rakennuttajan tulee arvioida hankkeen ominaisuudet, hankkeelle asetetut tavoitteet, omat resurssit sekä vallitseva suhdanneympäristö. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 33)

Suunnittelutyö ja rakentamisen toteutus voidaan hankkia erikseen tai yhdisteltynä. Rakennuttaja voi hankkia suunnittelun suoraan suunnittelijalta tekemällä tämän kanssa suunnittelusopimuksen. Suunnittelu on mahdollista myös hankkia urakoitsijalta osittain tai kokonaan. Suunnittelu- ja urakkamuoto määräytyvät valitun toteutusmuodon mukaan. Suunnittelu- ja urakkamuoto määrittävät ehdot, joiden mukaan suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kanssa toimitaan. Suunnittelijoiden sopimussuhteet toisiinsa, rakennuttajaan ja urakoitsijaan määräytyvät suunnittelumuodon perusteella. Suunnittelun laajuus, sisältö, aikataulu sekä maksuperuste määrittävät suunnittelusopimuksissa. Urakkasopimuksissa määrittävät urakkamuoto, jonka mukaan suoritusvelvollisuuden laajuus ja urakkahinnan maksuperuste sekä urakoitsijoiden väliset suhteet määräytyvät. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 34)

Suunnittelun organisointi ja vastuusuhteiden jakautuminen määrittyy suunnittelumuodon mukaan. Suunnittelumuotoa päätettäessä on keskeistä miettiä, minkälaisia vastuusuhteita suunnittelutehtävä edellyttää eri suunnittelijoilta ja koko suunnitteluryhmältä. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 46) Suunnittelumuotona voidaan käyttää kokonaissuunnittelua, jossa suunnittelun tilaaja tekee vain yhden suunnittelusopimuksen kokonaissuunnittelijan kanssa. Kokonaissuunnittelija vastaa tarvittavan suunnittelun organisoinnista joko omalla henkilöstöllään tai hankkimalla suunnittelun ulkopuolisena palveluna, kuitenkin pitäen vastuun suunnittelutyöstä itsellään. (RT 10-11223 2016, s. 3) Jaettu suunnittelu on suunnittelun muoto, jossa suunnittelu jaetaan osiin erikoistumisen ja ammattialan mukaan ja tilaaja tekee sopimuksen joka suunnitteluosasta eri suunnittelijan kanssa (Junnonen & Kankainen 2020, s. 46). Jaetussa suunnittelussa tilaajan valitsema pääsuunnittelija on vastuussa suunnitelmien kokonaisuudesta ja ristiriidattomuudesta, mutta tilaajaan sopimussuhteessa olevat suunnittelijat ovat vastuussa omasta suunnittelutyöstä (RT 10-11223 2016, s. 3). Ositetussa suunnittelussa suunnittelutehtäviä on jaettu erikoistumisen ja suunnittelualan lisäksi vielä pienempiin osiin eri suunnittelijoille tai osia on siirretty urakoitsijan vastuulle. Suunnittelualasta vastaava erityissuunnittelija on vastuussa sen suunnittelualan osatehtävien kokonaisuudesta ja pääsuunnittelija on vastuussa suunnitelmien yhteensovittamisesta sekä koordinoinnista.

(Junnonen & Kankainen 2020, s. 46–47) Tuoteosakauppa on esimerkki ositetusta suunnittelusta, jossa tuoteosan toimittajalle siirretään osa suunnitteluvastuusta, jolloin tuotteen toteutussuunnittelusta vastaa tuoteosatoimittaja (RT 10-11223 2016, s. 3).

Urakkamuotoja luokitellaan suoritusvelvollisuuden laajuuden, urakkahinnan maksuperusteen sekä urakoitsijoiden välisten suhteiden mukaan. Urakoitsijoiden välisten suhteiden perusteella urakkamuotoja jaetaan pää-, sivu-, ali-, osa- ja erillisurakoihin. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 34) Maksuperusteen mukaan urakkamuodot luokitellaan joko suoriteperusteisiin kokonais- ja yksikköhintaurakoihin tai kustannusperusteisiin tavoitehinta- ja laskutyöurakoihin (Junnonen & Kankainen 2020, s. 61–62).



*Kuva 2 Suoritusvelvollisuuden laajuuden mukaan ryhmitetyt urakkamuodot, joissa urakoitsija vastaa viivan alle jäädyistä ja tilaaja viivan päälle jäädyistä tehtävistä (Junnonen & Kankainen 2020, s. 35)*

Suoritusvelvollisuuden laajuuden mukaan urakkamuodoiksi luokitellaan pääurakka-, projektinjohto- ja suunnittele ja rakenna -muotoihin (kuva 2). Suoritusvelvollisuuden mukaan jaoteltuja urakkamuotoja kuitenkin sovelletaan rakennushankkeeseen sopivaksi rakennuttajan tarpeiden, palvelutarjonnan sekä olosuhteiden mukaan. Osapuolten väliset sopimus- ja informaatio-suhteet ovat merkittävin sovellettava asia näissä urakkamuodoissa. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 35)

Ijäksen (2013, s. 83) mukaan puukerrostalorakentaminen ei sovellu tavanomaiseen asuin-kerrostalohankkeen mukaiseen malliin, jossa toteutusmuotona tavallisesti käytetään pääurakkamuotoista kokonaisurakkaa. Tavanomaisessa hankeprosessissa käytettävän urakkamuodon mukaiset vastuusuhteet ovat oleellinen este puukerrostalorakentamiselle. Puukerrostalorakentamisessa käytettävien ratkaisujen kehittymisen myötä vakioitu tuotanto voi tulla

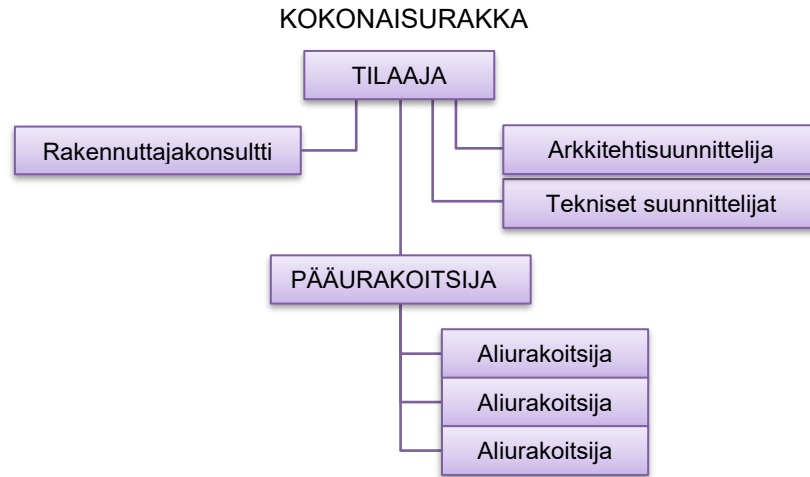
mahdolliseksi, jolloin tavanomaisen asuinkerrostalohankkeen mukaiset urakkamuodot voivat soveltua puurakentamiseen. (Ijäs 2013, s. 83) Ijäksen (2013, s. 83) mukaan puukerrostalohankkeet ovat toteutusmuodoltaan suunnittelua sisältäviä urakoita, vaikka toteutusmuodolle tyypilliset vastuusuhteet aiheuttavat niissäkin ongelmia.

Suoritusvelvollisuuden mukaan luokiteltujen urakkamuotojen lisäksi toteutusmuotoja ovat muun muassa yhteisvastuumuodot. Vastuu suunnittelusta, rakentamisesta, aikataulusta sekä kustannuksista on sopimuskokonaisuuden osapuolien kesken yhteinen. Asetettuihin tavoitteisiin pääsemistä kannustetaan yhteisillä kannustinjärjestelmillä. Yhteisvastuumuodot sopivat hankkeisiin, joissa riskejä ja mahdollisuuksia on paljon. Yhteisvastuumuodoissa sopimuksilla pyritään luomaan toimijoiden ja osapuolien välille esteettömiä suhteita, joita myös sopimuksilla hallitaan. Projektiallianssi sekä hankekumppanuus ovat esimerkkejä yhteisvastuullisista toteutusmuodoista. (RT 10-11223 2016, s. 8) Ijäs (2013, s. 83) ehdottaa, että toimiva muoto puukerrostalorakentamisessa voi olla yhteisvastuumuotoinen allianssimalli, jossa vastuu jaetaan rakennuttajan, rakennusliikkeen ja rakennustuotetoimittajan kesken.

### **3.1.3 Pääurakkamuodot**

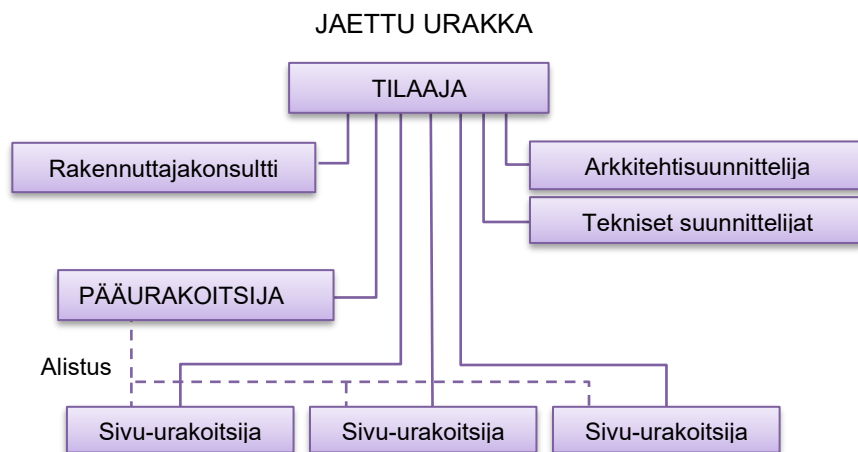
Pääurakkamuodoissa hankkeen johtaminen on rakennuttajan vastuulla. Rakennuttaja hankkii suunnittelun ja rakennustyön toteutuksen erillisillä sopimuksilla. Rakennuttaja valitsee suunnittelijat, jotka laativat suunnitelmat. Suunnitelmien mukaisista rakennustöistä järjestetään urakkakilpailu, joiden tuloksena valitaan sopiva urakoitsija alimman hinnan tai neuvotteluiden perusteella. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 36) Pääurakkamuodoissa haasteellisuutta tuo se, että suunnittelu toteutetaan rakentamisen toteutuksesta erillään. Tällöin suunnitteluratkaisuja ei voida hyvin kehittää urakoitsijoiden tietämyksen avulla. (RT 10-11223 2016, s. 5) Pääurakkamuodoissa vastuu hankinnoista, työmaan johdosta ja rakennustyön toteutuksesta on urakoitsijalla. Pääurakkamuotoja sovelletaan vielä sen perusteella, miten erikoisurakat hankitaan. Yleisimmät sovellukset pääurakkamuodoista ovat kokonais- ja jaettu urakka. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 36)





*Kuva 3 Kokonaisurakan sopimussuhteet (Junnonen & Kankainen 2020, s. 36)*

Kokonaisurakassa rakennuttaja tekee rakentamisurakasta yhden sopimuksen pääurakoitsijan kanssa ja pääurakoitsija tekee erikoisurakoista sopimuksia aliurakoitsijoiden kanssa (kuva 3). Tällöin rakennuttaja ei voi vaikuttaa aliurakoitsijoiden valintaan yhtä hyvin kuin mitä jaetussa urakassa voi (RT 10-11223 2016, s. 5).

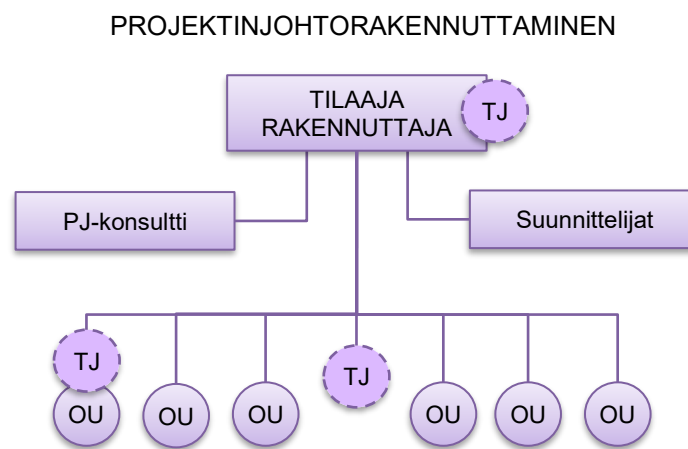


*Kuva 4 Jaetun urakan sopimussuhteet (Junnonen & Kankainen 2020, s. 36)*

Jaetussa urakassa rakennuttaja tekee sopimuksen pääurakoitsijan kanssa lisäksi myös osakokonaisuuksia toteuttavien erikoisurakoitsijoiden ja materiaalitoimittajien kanssa. Pääurakoitsija on vastuussa erikoisurakoiden eli rakennuttajan sivu-urakoiden yhteensovittamisesta sekä koordinoinnista alistamissopimuksen mukaisesti. (kuva 4)

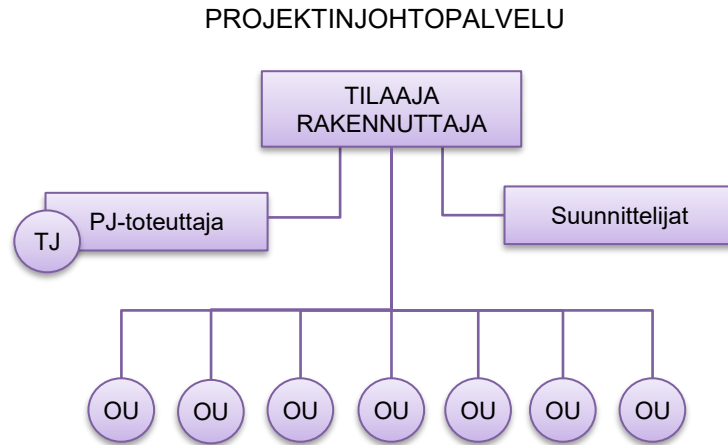
### 3.1.4 Projektinjohtomuodot

Projektinjohto- eli osaurakkamuodoissa rakennustyö jaetaan osakokonaisuuksiin toimialoit-  
tain tai aluekohtaisesti. Projektin johtamisen toteuttaja johtaa hanketta tiiviissä yhteistyössä  
rakennuttajan kanssa. Projektijohtomuodoissa tyypillisesti suunnittelu, hankinnat ja raken-  
nustyön osakokonaisuudet limitetään keskenään, jolloin rakennustyöt voidaan kilpailuttaa  
suunnittelun etenemisen mukaan. (RT 10-11223 2016, s. 6) Projektijohtomuotoja on kolme  
sen mukaan mitä tehtäviä projektinjohdosta vastaavalle kuuluu: projektinjohtorakennuttami-  
nen, projektinjohtopalvelu ja projektinjohtourakka. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 37)



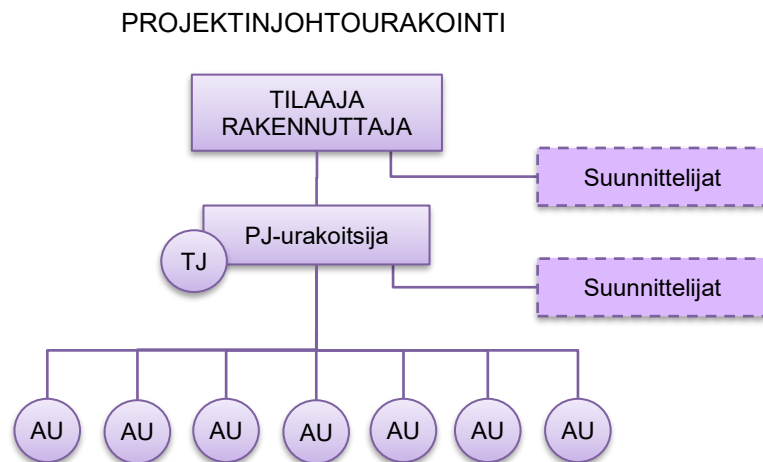
*Kuva 5 Sopimussuhteet projektinjohtorakennuttamisessa, jossa työnmaan johto toteu-  
tetaan joko rakennuttajan tehtävänä tai erillisenä tai osaurakkaan sisältyvänä palveluna  
(PJ = projektinjohto, TJ = työnmaan johto, OU = osaurakka) (Junnonen & Kankainen  
2020, s. 38)*

Projektinjohtorakennuttamisessa rakennuttaja vastaa hankkeen johtamisesta omalla projek-  
tinjohdolla tai projektijohto-organisaatiolla, jossa oman henkilöstön lisäksi on ulkopuolisen  
rakennuttaja- tai projektinjohtokonsultin resurssit (Junnonen & Kankainen 2020, s. 37). Joh-  
tovelvollisuudet ovat rakennuttajan joko oman henkilöstön vastuulla tai työnmaan johto hanki-  
taan erillisenä tai osaurakkaan sisältyvänä palveluna (kuva 5).



Kuva 6 Sopimussuhteet projektinjohtopalvelussa (PJ = projektinjohto, TJ = työmaan johto, OU = osaurakka) (Junnonen & Kankainen 2020, s. 38)

Projektinjohtopalvelussa rakennuttamistehtävien lisäksi työmaan johtovelvollisuudet ovat projektinjohtototeuttajan vastuulla. Projektinjohtototeuttaja toimii konsultinomaisena edustajana rakennuttajalle, jonka nimiin kaikki hankintasopimukset tehdään. (kuva 6) Projektinjohtopalvelussa projektinjohto-organisaatioon kuuluu pääosin toteuttajan henkilöstöä, mutta siihen voi kuulua myös henkilöstöä tilaajalta. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 39)



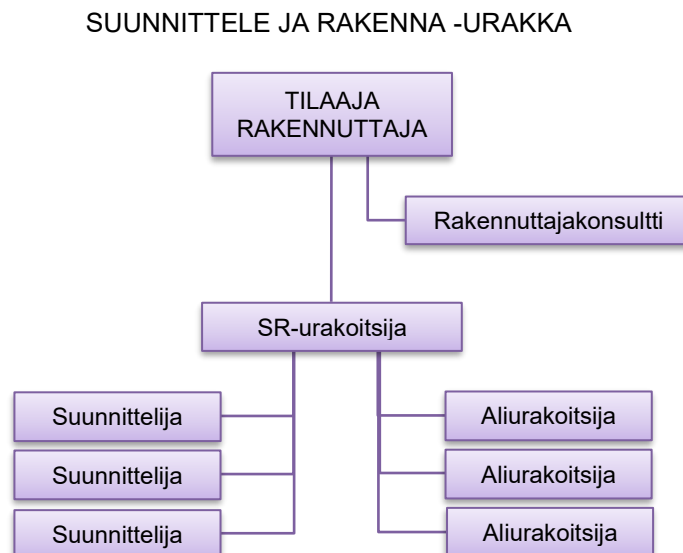
Kuva 7 Sopimussuhteet projektinjohtourakoinnissa, jossa suunnittelun hankinnasta voi vastata joko rakennuttaja tai projektinjohtourakoitsija. (PJ = projektinjohto, TJ = työmaan johto, AU = aliurakka) (Junnonen & Kankainen 2020, s. 38)

Projektinjohtourakoinnissa projektinjohtourakoitsijalla on vastuu rakennuttamistehtävien ja työmaanjohtovelvollisuuksien lisäksi myös rakennustyöstä. Projektinjohto-organisaatio tällöin koostuu vain projektinjohtourakoitsijan henkilöstöstä. (Junnonen & Kankainen 2020, s.

39) Rakennuttaja on projektinjohtourakoinnissa sopimussuhteessa vain projektinjohtourakoitsijaan ja mahdollisesti erilliseen rakennuttajakonsulttiin. Osaurakoiden ja mahdollisesti myös suunnittelun hankinnat kuuluvat pelkästään projektinjohtourakoitsijalle, jolloin urakoitsija tekee osaurakoista aliurakkasopimukset omiin nimiinsä. (kuva 7) Rakennuttajalla on kuitenkin lopullinen päätösvalta suunnittelussa sekä hankinnoissa (Junnonen & Kankainen 2020, s. 39).

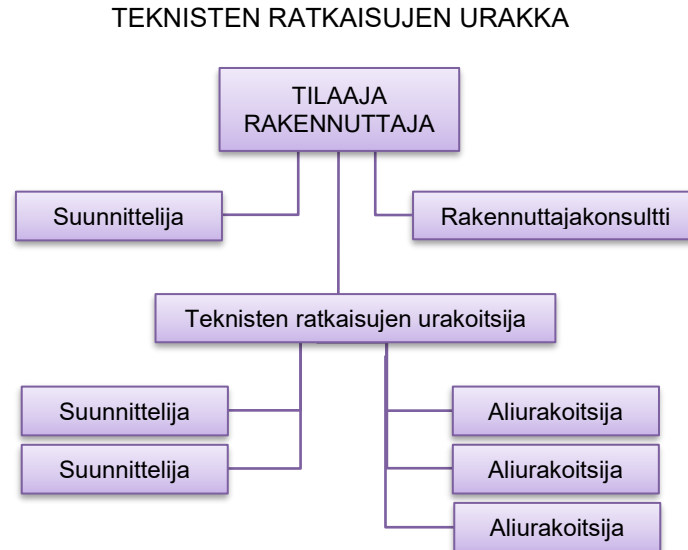
### 3.1.5 Suunnittele ja rakenna -muodot

Suunnittele ja rakenna -muodoissa urakoitsija vastaa sekä hankkeen suunnittelusta että toteutuksesta. Hankkeen toteuttajana voi olla joko myös suunnittelusta vastaava urakoitsija tai urakoitsijan ja suunnittelijoiden muodostama ryhmä, joka kootaan kyseistä hanketta varten. Rakennuttajan tehtäväksi jää määrittellä hankkeen tavoitteet ja rakennettavan kohteen toiminnalliset vaatimukset sekä järjestää näiden perusteella urakkakilpailu. Urakoitsijat voidaan kilpailuttaa jo hankesuunnitteluvaiheen jälkeen havainne- tai viitesuunnitelmien perusteella, jolloin urakoitsija pääsee vaikuttamaan rakentamisen prosessiin jo varhaisessa vaiheessa. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 39) Suunnittele ja rakenna -muotoja sovelletaan sen mukaan, pyritäänkö kilpailussa tai neuvotteluissa löytämään laatupainotteinen, hintapainotteinen vai molempia näitä painottaen eli edullisuuspainotteinen ratkaisu (RT 10-11223 2016, s. 4). Junnonen & Kankainen (2020, s. 40) mukaan hinta- ja edullisuuspainotteista suunnittele ja rakenna -muotoa kutsutaan myös KVR-urakaksi eli kokonaisvastuurakentamisurakaksi.



Kuva 8 Suunnittelua sisältävän urakan sopimussuhteet (Junnonen & Kankainen 2020, s. 40)

Koko suunnittelun sisältävissä urakoissa rakennuttaja tekee sopimuksen vain hankkeen toteuttavan urakoitsijan tai urakoitsijan ja suunnittelijoiden muodostaman ryhmän kanssa. Urakoitsija itse tekee sopimukset tarvittavien suunnittelijoiden ja aliurakoitsijoiden kanssa. (kuva 8)



*Kuva 9 Sopimussuhteet suunnitteluosakokonaisuuden sisältävässä urakassa (Junnonen & Kankainen 2020, s. 40)*

Suunnittelua sisältävässä urakassa urakoitsijalla voi olla myös pelkästään vain selkeä hankkeen osakokonaisuus, jonka suunnittelusta tämä vastaa (Junnonen & Kankainen 2020, s. 41). Tällöin rakennuttaja vastaa muusta suunnittelusta ja urakkaa kutsutaan teknisten ratkaisujen urakaksi (kuva 9).

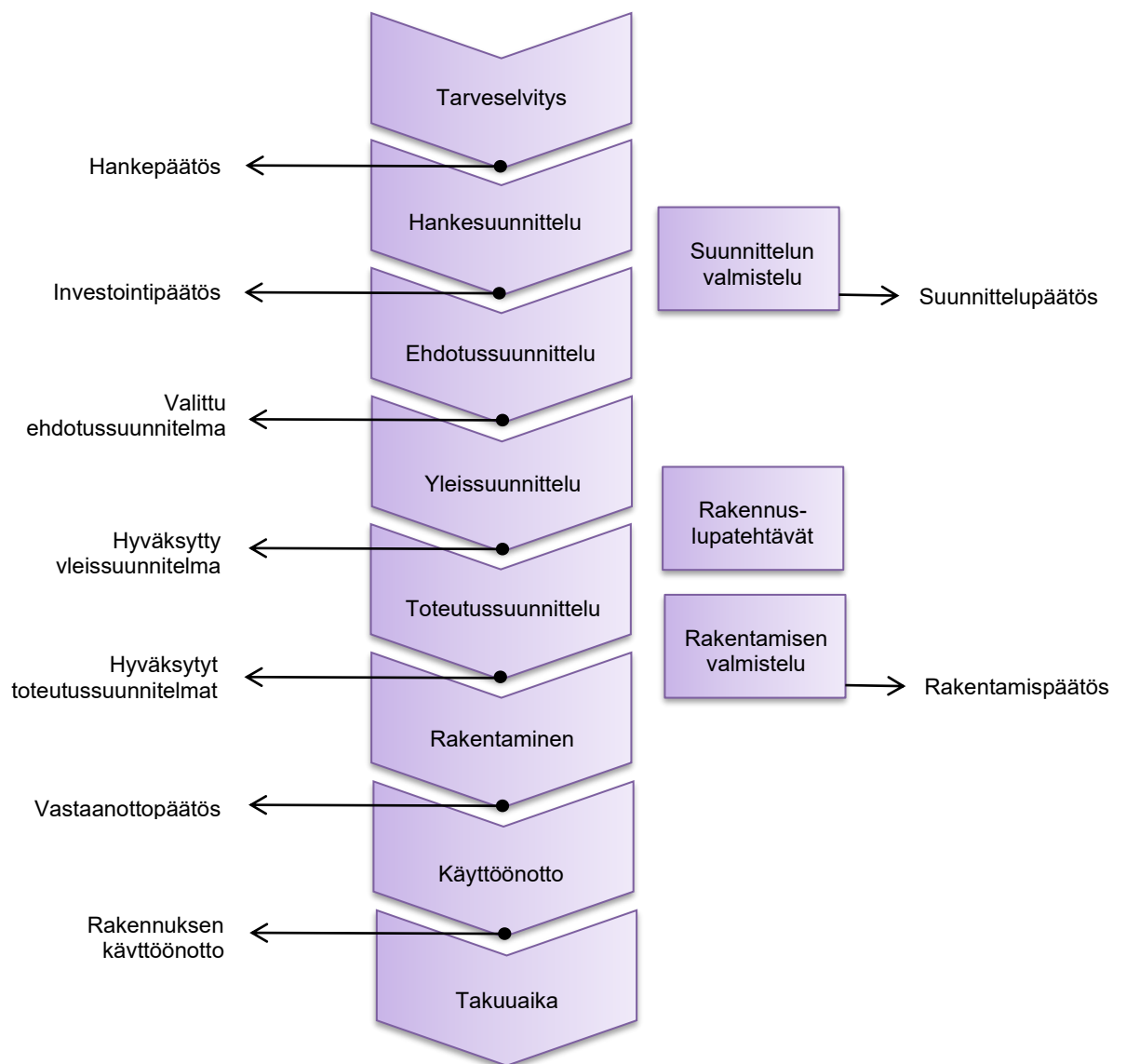
Erityisenä suunnittele ja rakenna -muotona on myös tuoteosakauppa (Junnonen & Kankainen 2020, s. 42). Tuoteosakaupassa rakennuttaja tai pääurakoitsija antaa osan itselleen kuuluvista tehtävistä tuoteosatoimittajalle tehtäviksi, kuitenkin pitäen päätösvallan tilaajalla (Sabelström 1998, s. 19). Sabelström (1998, s. 19) esittää, että tuoteosakauppa sopii rakentamisprosessiin hankkeen rakennuttamistavasta tai urakkamuodosta riippumatta, mutta tuoteosakaupan periaatteita tulee kuitenkin soveltaa tapauskohtaisesti. Tuoteosakaupassa urakan toteuttaja eli tuoteosatoimittaja suunnittelee, valmistaa ja asentaa tuoteosan tilaajan antamien vaatimusten mukaisesti (Sabelström 1998, s. 19; Junnonen & Kankainen 2020, s.42). Rakennuttaja tai pääurakoitsija on vastuussa tuoteosan lähtötietojen antamisesta riittävällä tarkkuudella tuoteosatoimittajalle, kun taas toimittaja on itse vastuussa toimittamastaan kokonaisuudesta (Sabelström 1998, s.19). Puukerrostalorakentaminen perustuu lähinnä tuote-

osakauppaan, jossa rakennusosatoimittaja vastaa puukerrostalon rakennusosien toteuttamisesta (Kryssi 2014, s. 76) Tuoteosakaupasta syntyvä vastuunjako eri osapuolien kesken tulee määrittää tarkasti sopimusasiakirjoissa (RT 103087 2019, s. 2).

## 3.2 Rakennushanke

### 3.2.1 Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushanke lähtee käyntiin esimerkiksi julkisyhteisön, yrityksen tai yksityisen henkilön tilantarpeesta. Uudisrakentamisen rakennushanke käynnistyy, kun uuden tilan rakentaminen päätetään. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 10)



Kuva 10 Rakennushankkeen vaiheet (Junnonen & Kankainen 2020, s. 10; RT 10-11224 2016, s. 1)

Rakennushanke ositetaan vaiheisiin hankkeen hallinnan ja ohjauksen helpottamiseksi (RT 10-11224 2016, s. 1; Junnonen & Kankainen 2020, s. 10). Osituksen avulla päätökset osataan kohdistaa kyseessä olevan vaiheen keskeisiin asioihin (Junnonen & Kankainen 2020, s. 10). Rakennushanke jaetaan kahdeksaan eri päävaiheeseen: tarveselvitys, hankesuunnitelma, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto ja takuu-aika (kuva 10). Suunnittelun valmistelua, rakennuslupatehtäviä ja rakentamisen valmistelua tehtäväkokonaisuuksina ei mielletä hankkeen erillisiksi vaiheiksi vaan ne sisällytetään päävaiheisiin. Hankkeen toteutuskelpoisuutta voidaan myös selvittää erillisessä kehitysvaiheessa kuitenkin tietämättä, ryhdytäänkö lopulta hankkeeseen. (RT 10-11224 2016, s. 1; Junnonen & Kankainen 2020, s. 11)

Tuloksina rakennushankkeen vaiheiden tehtävistä syntyvät suunnitelmat, hankkeesta vastaavien tai viranomaisten päätöksiä sekä rakennussuorituksia. Jokaisen vaiheen lopun ratkaisut vaikuttavat tuleviin vaiheisiin sekä niiden tehtäviin eli edeltävät vaiheet määrittävät tulevien vaiheiden puitteet. Alkuvaiheiden päätöksillä voidaan hankkeesta myös luopua tai hankkeen toteutuksen ajankohtaa siirtää. (Junnonen & Kankainen 2020, s. 12)

### 3.2.2 Suunnittelu

Merz esittää Puu-lehden artikkelissa, että puurakentaminen vaatii paljon suunnittelua. Teollinen esivalmistus vaatii osaltaan myös tarkkaa suunnittelua. Puualalla puurakentamisessa toimivat yrityskohtaiset järjestelmät, eikä rakentamisessa ole vakiintuneita ratkaisuja, mikä vaikuttaa edelleen suunnittelun tarpeeseen. Myös Döbele korostaa Puu-lehden artikkelissa suunnittelun olevan keskeistä esivalmistettaessa vaativia puurakentamisen osia. (Laukkanen 2017, s. 15, 17)

Puukerrostalorakentamisen perustuessa tuoteosakauppaan osa suunnitteluvastuusta siirtyy tuoteosatoimittajalle. RT 103087 (2019, s. 2) mukaan rakennusosan toimittajan suunnittelu-tehtäviin kuuluu tuoteosakaupassa toimittajan tarjoaman kokonaisuuden rakennelaskelmat, dimensiomäärittelyt sekä valmistus- ja asennussuunnitelmat. Lähtötietoina toimittajan tuoteosasuunnittelulle toimii tarjouspyynnön viitesuunnitelmat ja tilaajan asettamat muut vaatimukset. Hankkeen vastaava rakennesuunnittelija tarkastaa, että tuoteosat muodostavat toimivan kokonaisuuden vaatimuksen mukaisesti. (RT 103087 2019, s. 2)

Suunnitteluorganisaatio voi olla hajanainen, kun suunnitteluvastuuta siirretään tuoteosatoimittajalle. Tällöin rakennushankkeen pääsuunnittelijan tulee pystyä perehtymään tuoteosakaupan vaikutukseen, jotta kokonaisuuden yhteensovittaminen ei tule liian hankalaksi toteuttaa. (Haaranen 2017, s. 70) Haaranen (2017, s. 70) mukaan hankkeeseen tulee kiinnittää tuoteosatoimittaja jo hankesuunnittelun alussa, jotta rakennusosatoimittajan tilaratkaisut voi-

daan ottaa huomioon rakennussuunnittelussa. Myös Speigner Puu-lehden artikkelissa esittää puurakentamisen tehokkuudelle olevan tärkeintä, että yhteistyö hyvien suunnittelijoiden ja yhteistyöyritysten kesken aloitetaan varhain rakentamisen prosessissa (Laukkanen 2018, s. 19).

Haaranen (2017, s. 63) esittää, että puukerrostalorakentamisessa suunnittelun tulee olla lähes täysin valmista ennen kuin rakentamisvaihe voidaan aloittaa elementtivalmistuksin. Myös Olund Puu-lehden artikkelissa esittää puukerrostalorakentamisessa etukäteissuunnittelun olevan erityisen tärkeää hankkeen toteuttamisessa. (Laukkanen 2019, s. 29) Puu-lehden haastatteleman Rhombergin mukaan rakentamisen prosessin suurin ongelma on suunnittelun ajankohdassa. Suunnitelmien tulee olla valmiita ennen tuotannon aloitusta, jotta teollinen rakentaminen on mahdollista. (Laukkanen 2017, s.12)

Tavanomaisia kerrostaloja koskevat rakentamismääräykset koskevat yhtä lailla puukerrostalojen suunnittelua. Poikkeuksena puukerrostalorakentamista koskee lisäksi myös puukerrostalorakentamiselle ominaiset palomääräykset, sillä puukerrostalot sijoitetaan P2-paloluokkaan. Puukerrostalon rakennesuunnitteluun liittyy myös puun materiaaliominaisuuksien tuomia ominaispiirteitä, jotka pitää ottaa suunnittelussa huomioon. (Puuinfo 2020b)

Suomen rakentamismääräyskokoelman Paloturvallisuus -osan mukaisella taulukkomitoituksella kahdeksankerroksinen puurunkoinen asuin- ja työpaikkarakennus on kerroksiltaan suurin, mitä Suomeen saa rakentaa. Kerrostalon kantavissa ja jäykistävässä rakenteissa sekä tietyillä edellytyksillä ulkoverhouksissa ja sisäpinnoissa voidaan käyttää luokan Ds2-d0 puuta. Kantavat rakenteet tulee suojata suojaverhouksella, jossa käytetään palamatonta, A-luokan, materiaalia kantavaa rakennetta vasten. Palon leviämisen estämiselle on asetettu erityisehtoja puukerrostalon julkisivuille ja räystäsrakenteille sekä pintamateriaaleille, joita käytetään poistumisteissä. Yli kaksikerroksiin puukerrostaloihin tulee asentaa automaattinen sammutuslaitteisto. Kerrosluku- ja muista rajoituksista voidaan välttyä, jos tapauskohtaisella toiminnallisella ja viranomaisen hyväksymällä palomitoituksella osoitetaan, että rakennus täyttää olennaisesti rakentamismääräysten paloturvallisuusvaatimukset. (Puuinfo 2020b)

Puukerrostalon suunnitteluun vaikuttaa keskeisesti puukerrostalon vaatimat rakenteiden paksuudet ja puurakenteisten välipohjarakenteiden enimmäisjännemitat, mikä poikkeaa tavanomaisen kerrostalon suunnittelusta. Välipohjarakenteiden enimmäisjännemittojen takia puukerrostaloon tulee enemmän kantavia linjoja verrattu tavanomaiseen kerrostaloon. Käytettävien välipohjien jännemitat ovat 5–7 m:n välillä sekä välipohjien rakennepaksuus jänne- mitasta riippuen on 450–600 mm:n luokkaa. Yleensä seinärakenne huoneistoväliseissä on tavanomaisen kerrostalon huoneistoväliseinäitä paksumpi, kun taas puukerrostalon ulkoseinä- rakenteet ovat tavanomaisen kerrostalon ulkoseiniä ohuemman. Rakenteiden paksuudet riippuvat kuitenkin käytetystä rakennejärjestelmästä ja muun muassa halutuista energiate- hokkuus- ja ääneneristystasoista sekä käytetyistä verhouksista. (Puuinfo 2020b)



Ääneneristämässä pyritään estämään askel- ja ilmaäänien siirtyminen rakenteiden läpi ja johtuminen rakenteissa. Puurakenteet, jotka eristävät ääntä tulee tällöin suunnitella kerrokselliseksi ja rakenteiden tiivyyteen tulee kiinnittää huomiota. Puurakenteiset huoneistojen väliset rakenteet tulee olla erotettuina toisistaan ja vaakarakenteet eivät saa jatkoa huoneistosta toiseen, jotta ääni ei siirry runkorakenteita pitkin. Runkorakenteiden pystysuuntainen ääneneristys toteutetaan kantavien seinien tärinävaimentimilla. Puukerrostalorakentamisessa välipohjarakenteiden kantavat rakenteet ylimitoitetaan, jotta askeleista aiheutuva värähtely voidaan poistaa. Rakenteiden mahdolliset ontelot täytetään villalla ja rakenteeseen lisätään massaa verhouslevyillä ääneneristyksen parantamiseksi. (Puuinfo 2020b)

Puu materiaalina vaikuttaa palonkestävyyden, ääneneristävyyden ja rakenteiden mittojen lisäksi rakennuksessa vaikuttaviin painumiin, pitkäaikaiskestävyyteen sekä energiatehokkuuden ja taloteknisten järjestelmien suunnitteluun. Puun painuminen tulee ottaa huomioon painuvien ja painumattomien rakenteiden liitoksien sekä taloteknisten järjestelmien linjavetojen suunnittelussa. Energiatehokkuusvaatimukset eivät riipu käytettävistä materiaaleista, mutta puurakenteiden palomääräysten mukaiset eristeet asettavat rajoituksia käytettäville eristeille. Puukerrostaloissa talotekniset järjestelmät eivät eroa toiminnaltaan tavanomaisen kerrostalon järjestelmistä, mutta suosituksia talotekniikan ratkaisuista puukerrostalorakentamiseen on monia. Tavallisten taloteknisten järjestelmien lisäksi puukerrostaloissa käytetään automaattista sammutusjärjestelmää, jolla tulee olla pumppuasemalla ja vesisäiliössä oma tilavaraus. (Puuinfo 2020b)

### 3.2.3 Rakentaminen

Puukerrostalotyömaalla käytetään rakennusaikaista kosteussuojausta elementtien asennusvaiheessa, jotta rakenteiden kosteusriskit pystytään minimoimaan. Kosteussuojausta tulee käyttää myös elementtien varastoinnissa sekä kuljetuksen aikana. Tavallisesti tasoelementtirakenteista puukerrostaloa rakennettaessa käytetään telttasuojausta, jolloin rungon pystyttämiseen tarvittavia nostureita käytetään eri tavoin. (Puuinfo 2020d) Teltan sisällä voi olla siltanosturi, jonka avulla telttaa nostetaan kerroksien lisääntyessä (Tolppanen et al. 2013, s. 172). Teltta voi olla myös valmiiksi niin iso, että teltan sisällä voi toimia nosturiauto. Nosturi voi olla myös teltan ulkopuolella, jos teltassa on avattava katto, mutta tällöin sää vaikuttaa siihen, milloin runkoasennusta voidaan tehdä. (Puuinfo 2020d)

Teltan sijasta kosteussuojaus voidaan toteuttaa myös siirrettävällä suojakatolla, joka toimii suojauksena rakennuksen päällä. Suojakatto nostetaan pois tieltä runkoasennustöiden aikana ja työvaiheiden edetessä se asennetaan takaisin paikalleen. Suojakatto soveltuu sekä

tasoelementti- että tilaelementtirakentamiseen. Suojakaton käyttäminen suojausmenetelmänä soveltuu tilaelementtirakentamiseen paremmin kuin telttasuojauksen käyttö, koska tilaelementit ovat asennettu tavallisesti nopeammin kuin telttasuojaus sekä tilaelementit vaativat suurempaa nostokapasiteettia kuin mihin suojateltan siltanosturilla pystytään. Pilari-palkkirunkoisessa puukerrostalossa työmaa-aikainen sääsuojaus ennen vesikaton asennusta voidaan toteuttaa rakennusosakohtaisella kosteussuojalla. Suojatelttaa tai -kattoa käytettäessä voidaan rakennusosakohtaista kosteussuojaa myös tarvita asennuksen aikana. (Puuinfo 2020d)

Työmaan perustamisen ja maarakennustöiden jälkeen rakennettavat myös perinteiselle rakentamiselle tutut betoniperustukset sekä betonisten kellari- ja väestönsuojat ovat hitaimpia työvaiheita puukerrostalojen rakentamisessa. Runkovaihe on nopea elementtirakentamisen ansiosta ja koska puurakentamisessa ei tarvitse odottaa rakennusmateriaalien kuivumista. Runkovaiheen nopeus kuitenkin vaihtelee käytettävän rakennejärjestelmän mukaan, mutta elementtien asennuksessa pyritään järjestykseen, jolla vesikatto saadaan rakennuksen päälle nopeinten. (Tolppanen et al. 2013, s. 172, 174)

Kantavaseinäisessä järjestelmässä rakennuksen runko pystytetään kerros kerrokselta. Runkorakenteisista rakennuksista on pitkäaikaista kokemusta ja sellaisia on melko helppo rakentaa kuusikerroksisiksi. (Puuinfo 2020a) CLT-levyisien rakenteiden kapasiteetti voi riittää jopa 30-kerroksisiin taloihin, ja CLT onkin hyvin kilpailukykyinen korkeissa puukerrostaloissa. Elementtien korkealla esivalmistusasteella saavutetaan työmaalla nopea pystytys: kerros viikossa. Tehtaalla tehty kiinnitysruuvien esiporaus sujuvoittaa elementtien liittämistä työmaalla. (Tolppanen et al. 2013, s. 42, 44)

Pilari-palkkijärjestelmällä rakennuksen runkovaihe on hyvin nopea. Pilari-palkkirungon mastopilarit pystytetään ensimmäisenä, minkä jälkeen muut pilarit pystytetään ja palkit ripustetaan pilareiden varaan. Vesikatto asennetaan pilari-palkkirungon valmistuttua, jolloin talolle saadaan sääsuoja. (Puuinfo 2020a) Rungon pystytykseen ja vesikaton asentamiseen kuluu pari viikkoa ja vesikatto voidaan asentaa jopa muutamassa päivässä (Tolppanen et al. 2013, s. 172, 175). Vesikaton asentamisen jälkeen asennetaan välipohjaelementit palkkien varaan ja ulkoseinät keveinä suurelementteinä. (Puuinfo 2020a)

Tilaelementeillä rakentaessa työmaavaiheesta tulee erittäin nopea. Kun tilaelementit on asennettu työmaalla paikoilleen, puukerrostalo on voinut saavuttaa jopa 90 prosentin valmiusasteen. (Tolppanen et al. 2013, s. 49) Kuusikerroksisen asuinkerrostalon työmaan läpimeno voi nopeimmillaan kestää vain kaksi kuukautta (Puuinfo 2020a).

Puuelementtien asentaminen on nopeaa ja sujuvaa, vaikka puurakentamisen asennustoleranssit ovat tavanomaisen rakentamisen toleransseja tarkemmat. Tähän vaikuttaa se, että puuelementit ovat hyvin mittatarkkoja ja niiden käyttöön soveltuu helppoja liitostekniikoita. Kun puukerrostalon runko on pystytetty sekä vesikatto asennettu, rakennustöitä pystytään

tekemään lähes samanaikaisesti, mikä osaltaan vauhdittaa puukerrostalon rakentamista. (Tolppanen et al. 2013, s. 49)

Logistiikka puukerrostalotyömaalla tulee huomioida erityisesti, sillä materiaalinimikkeitä on yleensä enemmän kuin mitä betonirakentamisessa on. Puukerrostaloelementit on kannattavinta toimittaa työmaalle vaiheittain, jolloin ne voidaan asentaa kuljetuksesta suoraan paikalleen asennusten edistymisen mukaan. Materiaalit pyritään toimittamaan juuri, kun niitä työmaalla tarvitaan eli työmaalla pyritään JOT-toimituksiin (just on time). Tarvikkeet ja materiaalit on myös kannattavinta toimittaa kerroksellisina nippuina, jolloin kussakin kerroksessa tarvittavat materiaalit pystytään nostamaan sisälle ennen seuraavan välipohjan paikalleen asentamista. Kun materiaalit toimitukset pystytään sovittamaan siten, että työmaa-aikaiset materiaalien suojaukset ja varastoinnit minimoituu, voidaan puukerrostalo toteuttaa ahtaallekin tontille. Tämän mahdollistaa myös puukerrostalorakentamisen keveys, kun rakennusosien ja tarvikkeiden nostoon ja siirtoon soveltuvat kevyet autonosturit sekä kurottajat. (Tolppanen et al. 2013, s. 49)

## 4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tavoitteena oli tutkia, millainen puukerrostalorakentamisen prosessi on ja min-kälaisia ominaispiirteitä siihen liittyy. Tavoitteen saavuttamista varten tutkimukselle asetettiin kolme tutkimuskysymystä, joihin vastattiin kirjallisuuden ja tieteellisten tutkimuksien perusteella. Toisessa luvussa selvitettiin, millaista esivalmisteinen rakentaminen on puukerrostalorakentamisessa. Kolmannessa luvussa selvitettiin, miten puukerrostalorakentaminen eroaa perinteisestä rakentamisesta sekä puukerrostalorakentamisen ongelmakohtia että miten korkea esivalmistusaste vaikuttaa rakentamisen prosessissa.

Esivalmisteisessa rakentamisessa rakennukseen tulevia osia valmistetaan tehdasolosuhteissa, jolloin sääolosuhteet eivät vaikuta rakentamisen laatuun. Esivalmistuksessa myös rakentamisen tuottavuutta pystytään parantamaan, kun tehdasoloissa pystytään takaamaan parempi työturvallisuus ja tasaisempi työnkulku. Rakentamisen esivalmistusaste vaihtelee käytettävän esivalmistustyyppin mukaan. Puukerrostalorakentamisessa tyypillisimmät esivalmistustyyppit ovat rankarakenteiset ja massiivipuiset taso- ja tilaelementit, joissa rakennuksen kantava rakenne muodostuu kantavista seinistä. Saman esivalmistustyyppin esivalmistusaste voi kuitenkin vaihdella elementtitoimittajan ratkaisujen mukaan. Paremman laadun ja esivalmistuksessa toistolla saavutettavan tehokkuuden myötä esivalmisteisen rakentamisen katsotaan olevan asuinrakentamisen tulevaisuutta.

Puukerrostalorakentamisessa ratkaisut ovat yrityskohtaisia eikä rakentamisen prosessiin ole muotoutunut käytäntöjä, kuten perinteisessä rakentamisessa on. Tavanomaiseen betonikerrostalohankkeeseen käytettävät toteutusmuodot eivät sovellu hyvin puukerrostalorakentamiseen sen erityispiirteiden vuoksi. Puukerrostalorakentamiselle tyypillistä on tuoteosakauppa osana rakentamisen prosessia. Tuoteosakaupassa osa rakennushankkeen toteutuksesta annetaan toteutettavaksi tuoteosatoimittajalle, joka tällöin toteuttaa tarjoamansa kokonaisuuden suunnittelun rakennuttajan antamien lähtötietojen mukaan, toteuttaa elementtien valmistuksen sekä asentaa elementit työmaalla.

Puukerrostalorakentaminen vaatii enemmän suunnittelua perinteiseen rakentamiseen verrattuna puukerrostalon erityispiirteiden takia ja esivalmistuksen käytön myötä. Puukerrostalorakentaminen vaatii myös aikaisemman suunnittelun aloituksen hankkeen suunnittelussa sekä suunnitelmien suurta valmiutta ennen rakentamisen aloittamista. Tuoteosakaupassa osa suunnitteluvastuusta siirtyy tuoteosatoimittajalle, jolloin myös hankkeen suunnittelun järjestäminen eroaa perinteisestä rakentamisesta. Suunnittelun sisältö eroaa perinteisestä rakentamisesta eniten palonkestävyyden ja äänieristävyyden toteuttamisen sekä rakennepak-suuksien ja jännemittojen osalta.

Työmaalla toteutettava rakentaminen on vähäisempää puukerrostalorakentamisessa. Rakennuksen osien esivalmistus vie suuren osan rakentamisesta työmaalta tehtaaseen. Käytännöt puukerrostalotyömaalla eroavat selvästi perinteisestä rakentamisesta. Puukerrostalorakentaminen on käytännössä kuiva rakentamistapa, sillä työmaalla käytetään rakennusaikaista kosteussuojausta koko ajan elementtien asennuksen aikana ja sääsuoja poistetaan vasta, kun taloon saadaan asennettua vesikatto. Tällä tavalla puurakentamisen kosteusriskit työmaalla pystytään minimoimaan. Myöskään betonirakentamiselle ominaista rakenteiden kuivumista ei kuulu puukerrostalorakentamiseen muuten kuin kerrostalon betonipohjan osalta.

Rakentamisen nopeus työmaalla riippuu käytettävästä esivalmistustyyppistä. Esivalmistustyyppistä riippumatta esivalmistuksella lyhennetään huomattavasti työmaa-aikaa perinteiseen rakentamiseen verrattuna. Nopeimmin työmaavaihe toteutuu tilaelementtitekniikalla toteutettavalla puukerrostalolla. Vesikatto saadaan asennettua nopeiten elementtien suojaksi pilari-palkkirunkoisella puukerrostalolla. Elementtien valmiusasteesta riippuen työmaalla tehtävien sisätöiden laajuus vaihtelee. Tilaelementeillä voidaan saavuttaa sisätöiden kannalta muuttovalmis ratkaisu, kun taas tasoelementeillä rakennettaessa työmaalla rakentamisen lähtöpisteinä voi olla pelkkä rakennuksen kantava runko.

Puukerrostalorakentamisessa haasteeksi tarkastelun perusteella osoittautui hankkeen toteutusmuodon valinta ja sen soveltuvuus puusta rakentamiseen, sillä toteutusmuotojen käytännöt perustuvat perinteiseen rakentamiseen, eikä pitkälle vietyä esivalmistaisuutta oteta niissä huomioon. Vastuun jakautuminen osapuolien kesken on hyvin keskeinen pohdittava asia puukerrostalorakentamisessa, kun suuren esivalmistuksen myötä suuri osa rakennushankkeen vastuusta siirtyy tuoteosakaupassa tuoteosatoimittajalle. Puukerrostalorakentamiselle ei pääse muodostumaan siihen tarvittavia hyviä käytäntöjä, jos puukerrostalorakentaminen on vain yrityskohtaista ja kun yritysten käyttämistä käytännönratkaisuista ei jaeta tietoa avoimesti.

Puukerrostalorakentamisen prosessi on erittäin laaja kokonaisuus ja tässä työssä keskityttiin pääasiassa rakennushankkeen toteutustapaan, suunnittelun sisältöön ja työmaatoteutukseen. Työn perusteella puukerrostalorakentamisen prosessi saatiin selvitettyä pääperiaatteiltaan. Työn rajaus ja tutkimuskysymykset osoittautuivat laajoiksi, joten työtä olisi voinut rajata tarkemmin. Työssä tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta, mikä osoittautui välillä haasteelliseksi vähäisen lähdemateriaalin vuoksi. Työn aiheesta olisi voinut saada enemmän tietoa tekemällä haastattelututkimusta tai tapauskohtaista tutkimusta. Jatkotutkimuksina voitaisiin tutkia sitä, millainen toteutustapa soveltuisi hyvin puukerrostalorakentamiseen sekä syvemmin sitä, miten korkea esivalmistusaste käytännössä vaikuttaa rakentamisen prosessissa vastuun jakamiseen.

# LÄHTEET

Elementti Sampo. (2021). Tuotteet. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): <https://www.elementti-sampo.fi/tuotteet/>

Emmitt, S. & Gorse, C.A. (2010). Barry's advanced construction of buildings. 2nd edition. Wiley-Blackwell, Chichester. 582 p.

Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T.D., Manalo, A. & Mendis, P. (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. Engineering Structures. Vol.183, pp. 883-893.

Haaranen, H. (2017). Puukerrostalo asuntotuotannossa: Selvitys taloudellisesta kannattavuudesta. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. 90 s.

Harmet. (2021). Harmet Modular Houses | Production. Saatavissa (viitattu 14.5.2021): <https://www.harmet.ee/production/?lang=en>

Ijäs, V. (2013). Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet – keskeisten suomalaisten rakentamis- ja kiinteistöalan sidosryhmien vertaileva asennemittaus. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. 275 s.

Junnonen, J. & Kankainen, J. (2020). Rakennuttaminen. 6. painos. Rakennustieto Oy, Helsinki. 129 s.

Karjalainen, M (2020). Tehdään talot taas puusta – kansantalous, työllisyys ja kamppailu ilmastomuutosta vastaan kiittävät. Tekijä, Teollisuusliitto. Saatavissa (viitattu 5.5.2021): <https://teki-jalehti.fi/2020/02/12/tehdään-talot-taas-puusta-kansantalous-työllisyys-ja-kamppailu-ilmastonmuutosta-vastaan-kiittavat/>

Kaufmann, H., Krötsch, S. & Winter, S. (2018). Manual of Multistorey Timber Construction. English translation of the 1st German edition. Detail Business Information GmbH, Munich. 273 p.

Kotilainen, S. & Hedman, M. (2015). Asukaslähtöinen puukerrostalokortteli tilaelementeistä – esimerkkinä Kokkolan Nukkumatin tontin suunnitelma. Selvitys. Tampereen teknillinen yliopisto. 213 s.

Kryssi, E. (2014). Puukerrostalo. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 88 s.

LapWall. (2018). LEKO®-tuotteet | LEKO® Seinäelementit. Saatavissa (viitattu 13.5.2021): <http://www.lapwall.fi/leko-tuotteet/seinaelementti/>

Laukkanen, M. (2017). Puurakentamisen hyvät käytännöt Euroopassa. Puu, Puuinfo Oy. 52 s.

Laukkanen, M. (2018). Puurakentamisen hyvät käytännöt Euroopassa 2. Puu, Puuinfo Oy. 36 s.

Laukkanen, M. (2019). Puurakentamisen hyvät käytännöt Kanadassa. Puu, Puuinfo Oy. 40 s.

Metsä Wood. (2021). Media | Referenssit | Harmet. Saatavissa (viitattu 14.5.2021): <https://www.metsawood.com/fi/media/referenssit/Pages/Harmet.aspx>

Oiva Wood Solutions. (2021). Tuotteet | Puutuoteosat rakentamiseen. Saatavissa (viitattu 12.5.2021): <https://oivawood.com/tuotteet/>

Puuinfo (2020a). Rakenteet | Puukerrostalo – Runkojärjestelmät. Saatavissa (viitattu 27.2.2021): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-runkojarjestelmat/>.

Puuinfo (2020b). Rakenteet | Puukerrostalot. Saatavissa (viitattu 27.2.2021): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/>.

Puuinfo (2020c). Suunnittelu | Ohjeet – RunkoPES 2.0. Saatavissa (viitattu 6.3.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/runkopes-2-0/>.

Puuinfo (2020d). Suunnittelu | Tekniset tiedotteet | Kosteudenhallinta puurakentamisessa. Saatavissa (viitattu 10.4.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/>.

RT 10-11222 (2016). Talonrakennushankkeen kulku: Rakennushankkeen osapuolet. Rakennustieto. 6 s.

RT 10-11223 (2016). Talonrakennushankkeen kulku: Toteutusmuodot. Rakennustieto. 9 s.

RT 10-11224 (2016). Talonrakennushankkeen kulku: Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Rakennustieto. 4 s.

RT 103087 (2019). Rakennesuunnittelun tehtävälueetelo RAK18. Rakennustieto. 19 s.

Stora Enso. (2016). Building Systems by Stora Enso | Residential multi-storey buildings. Building Concept Manual. Version 1.4. 85 p.

Svenskt Trä (2021). Träbyggsystemen i byggprocessen. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): <https://www.svensktra.se/bygg-med-tra/byggande/bygga-i-tra/trabyggsystemen-i-byggprocessen/>.

Thai, H., Ngo, T. & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. Structures (Oxford). Vol.28, pp. 1265-1290.

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen, M. (2013). Suomalainen puukerrostalo – rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. 1. painos. Opetushallitus, Helsinki. 194 s.

Tuohimaa, L. (2018). Puukerrostalojen rakennejärjestelmän valinta omaperusteisessa asuntotuotannossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 106 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201810262485>.

Woodcomp. (2021a). Puukerrostalo. Saatavissa (17.5.2021): <https://www.woodcomp.fi/puukerrostalo/>

Woodcomp. (2021b). Puuelementit ja valmisosat. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): <https://www.woodcomp.fi/woodcomp-tuotteet/#tuotteet2>

Ympäristöministeriö (2016). Puurakentaminen. Saatavissa (viitattu 24.3.2021): <https://ym.fi/puurakentaminen>.