

Sinikka Granqvist

**PUUKERROSTALOJEN TOTEUTUSTA-
VAT SUOMESSA, NORJASSA, KANA-
DASSA JA KESKI-EUROOPASSA**
Erot Suomen ja ulkomaiden välillä

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Juha Franssila
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Sinikka Granqvist: Puukerrostalojen toteutustavat Suomessa, Norjassa, Kanadassa ja Keski-Euroopassa - Erot Suomen ja ulkomaiden välillä (Construction systems of wooden multi-storey buildings in Finland, Norway, Canada and Central Europe - Differences between Finland and abroad)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2021

Rakentamisessa on käytetty puuta Suomessa pitkään, mutta puukerrostalo on suhteellisen uusi käsite. Puukerrostaloja rakennetaan ympäri maailmaa ja niiden rakentaminen on yleistynyt ekologisemman rakentamisen tavoitteiden vuoksi. Rakentamisen toteutustavat ovat kuitenkin erilaisia maiden välillä. Suomen puukerrostalorakentaminen on muuta Eurooppaa jäljessä katkonaisen puurakentamishistoriansa vuoksi. Eri maiden puukerrostalorakentamisen tapojen vertailu voisi kertoa puukerrostalojen asemasta ja suunnasta Suomessa.

Työssä tutkitaan Norjan, Kanadan ja Keski-Euroopan puukerrostalorakentamista ja verrataan sitä Suomen tapoihin. Norjan vastaavat ilmasto-olosuhteet ja edistyksellisempi puukerrostalorakentaminen antavat hyvän vertailukohteen Suomen puukerrostalorakentamiselle. Keski-Euroopassa Saksan ja Itävallan puukerrostalorakentamisen toteutustapoja on syytä tutkia, sillä näissä maissa rakentaminen on edistyksellistä ja puukerrostalot ovat vakaa osa maiden rakentamista. Kanadan puukerrostalorakentamisen esivalmistelu on Eurooppaa jäljessä, mutta puurakentaminen on siellä kuitenkin suosittua ja korkeita puukerrostaloja on rakennettu. Näitä maita tarkastellaan puukerrostalorakentamisen periaatteiden, sääntöjen sekä viimeaikaisten esimerkkihankkeiden avulla.

Yhtäläisyytenä maiden välillä on vahva halu lisätä puukerrostalorakentamista. Euroopan maiden keskuudessa on käytössä yhteiset rakentamisstandardit, jotka ohjaavat puukerrostalojen toteuttamista. Varsinaista rajaa puukerrostalon korkeudelle ei ole määritetty kyseisissä Euroopan maissa. Kanadassa on tarvetta tämän kaltaiselle standardisoinnille. Kanadassa on pohdittu Suomen mahdollista asemaa kansainvälisen standardisoinnin johtavana maana.

Puukerrostalojen rakennusmenetelmien valinnassa on maittain eroja. Norjassa suosittu hybridirakenne näkyy myös viimeaikaisissa hankkeissa. Kanada ja Keski-Eurooppa ovat viime vuosien hankkeissa käyttäneet hybridipuukerrostalossa betonia esimerkiksi hissi- ja porraskuiluissa. Toisin kuin vertailumaissa, Suomessa hybridirakentamista ei ole juurikaan tehty, mutta tilaelementtirakentaminen on ollut usean viimeaikaisen puukerrostalon rakenneratkaisu. Hybridirakenteinen tilaelementtipuukerrostalo voisi olla vaihtoehto Suomen tulevaisuuden puukerrostalorakentamiselle.

Suomi ei esimerkkihankkeiden perusteella tavoittele puukerrostalorakentamisessa ennätyskorkeuksia, kuten vertailumaat. Eikä Suomessa myöskään ole tarvetta erityisen korkealle puukerrostalorakentamiselle. Useiden vertailumaiden esimerkkihankkeet ovat maailman suurimpia puukerrostaloja, mikä kertoo korkean rakentamisen olevan näiden maiden puukerrostalorakentamisen suunta. Vertailumaiden hankkeiden tietolähteiden saatavuus painottuu kuitenkin korkeimpiin rakennettuihin puukerrostaloihin, eikä siten välttämättä anna realistista kokonaiskuvaa maiden tämänhetkisestä puukerrostalorakentamisesta. Puukerrostalorakentamisella on kuitenkin vahva asema tulevaisuuden ekologisessa rakentamisessa, joten voisiko eri maiden toteutustapojen pohjalta optimoida Suomen puukerrostalorakentamista?

Avainsanat: Puukerrostalo, Toteutustavat, Suomi, Norja, Kanada, Keski-Eurooppa.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tausta	1
1.2 Tavoite	1
2. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN TOTEUTUSTAVAT SUOMESSA	3
2.1 Yleistä puukerrostalorakentamisesta Suomessa	3
2.2 Suomessa käytetyt rakennusmenetelmät	4
2.2.1 Rankarakenteet	4
2.2.2 Massiivipuurakenteet	5
2.2.3 Pilari-palkkijärjestelmä	6
2.2.4 Tilaelementit	6
2.2.5 Rakennusmenetelmien edut ja haasteet	7
2.3 Hanke-esittely	8
2.3.1 Seminaarinmäki, Jyväskylä	8
2.3.2 Puukuokka, Jyväskylä	9
2.3.3 Lighthouse, Joensuu	10
3. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN TOTEUTUSTAVAT MAAILMALLA	11
3.1 Norja	11
3.2 Kanada	11
3.3 Keski-Eurooppa	12
3.4 Hankke-esittely	14
3.4.1 Mjøstårnet, Brumunddal, Norja	14
3.4.2 Brock Commons Tallwood House, Vancouver, Kanada	16
3.4.3 HoHo, Wien, Itävalta	17
3.4.4 Woodie, Hamburg, Saksa	20
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	21
LÄHTEET	24

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Seminaarinmäki, Jyväskylä (Puuinfo 2020b)</i>	8
Kuva 2.	<i>Puukuokka, Jyväskylä (OOPEAA 2021)</i>	9
Kuva 3.	<i>Lighthouse, Joensuu (Puuinfo 2020c)</i>	10
Kuva 4.	<i>Mjösa tornin mallinnus (Abrahamsen 2017, S. 3)</i>	15
Kuva 5.	<i>Brock Commons, Vancouver, Kanada (Naturally Wood 2017)</i>	17
Kuva 6.	<i>HoHo, Wien, Itävalta (Tulonen 2020 s. 17)</i>	19
Kuva 7.	<i>Woodie, Hamburg, Saksa (YOUNIQ 2021)</i>	20

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CLT	eng. Cross Laminated Timber, Ristiinliimattu puulevy
GLT	eng. Glue Laminated Timber, liimapuu
LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto ja sähkö
PSL	eng. Parallel-strand Lumber, rinnakkaissäkeinen puutavara
VDC	eng. Virtual Design and Construction, tapa hyödyntää tietomallin- nusta rakennusprojektissa

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Kandidaatintyöni aiheena on puukerrostalojen toteutustavat Suomessa, Norjassa, Kanadassa ja Keski-Euroopassa. Puukerrostalojen toteutustapojen kehittyminen vaikuttaa tulevaisuuden rakentamiseen. Rakentamisessa halutaan edetä ympäristöystävällisempään suuntaan. Puun on todettu olevan materiaalina ekologista, sillä se sitoo hiilidioksidia rakenteisiin ja toimii pitkäaikaisena hiilivarastona ja siten vähentää CO₂ päästöjä (Ympäristöministeriö 2020; Tuuva-Hongisto 2010. s. 46; Ympäristöministeriö 2016). Puu myös koetaan olevan miellyttävä rakennusmateriaali (Ympäristöministeriö 2020). Puukerrostalot ovat kuitenkin suhteellisen uusi käsite. Rakentamisperinteet voivat vaikuttaa tulevaisuuden rakentamiseen Suomessa, sekä ulkomailla. Kaupungistumisen vuoksi puukerrostalorakentaminen voisi olla tulevaisuuden suunta kerrostalorakentamiselle. Jotta puukerrostalorakentamisen optimaalinen toteutustapa voitaisiin selvittää, tulisi tarkastella muiden maiden puukerrostalorakentamisen toteutustapoja.

Puukerrostalorakentamisesta on tehty opinnäytetöitä lähivuosina esimerkiksi Kryssin (2013) Puukerrostalo ja Tuohimaan (2018) Puukerrostalojen rakennejärjestelmän valinta omaperusteisessa asuntotuotannossa. Nämä opinnäytetyöt painottuvat Suomen puukerrostalorakentamiseen. Kansainvälisyyttä ei kuitenkaan suomenkielisissä puukerrostalorakentamista käsittelevissä opinnäytetöissä ole käsitelty juurikaan.

1.2 Tavoite

Tavoitteena työssä on tutkia puukerrostalojen toteutustapoja ulkomailla sekä Suomessa. Tarkoituksena on kartoittaa olemassa olevien toteutusmallien perusteella puukerrostalorakentamisen eroavaisuuksia maittain. Tässä työssä tutkitaan, miten puukerrostaloja rakennetaan Suomessa, Norjassa, Kanadassa ja Keski-Euroopassa. Maita vertaillaessa hahmotellaan kunkin maan puukerrostalorakentamisen erityispiirteet ja merkittävimmät eroavaisuuden Suomen puukerrostalorakentamiselle.

Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Työssä käytetään suomalaisia ja ulkomaisia lähteitä puukerrostalorakentamisen toteutusmenetelmistä. Työn tavoitteesta johdettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

- Miten puukerrostaloja toteutetaan Suomessa?
- Miten puukerrostaloja toteutetaan ulkomailla?
- Mitä eroja puukerrostalorakentamisen toteutuksilla on Suomen ja muiden maiden välillä?

Aineistoja kerätään puurakentamiseen erikoistuneilta tahoilta Suomesta ja ulkomailta. Tietoa puukerrostalorakentamisesta haetaan Tampereen yliopiston kirjastosta, tieteellisistä lehtiartikkeleista ja julkaisuista.

Työn alussa käsitellään Suomen puukerrostalorakentamisen toteutustapoja pääpiirteittäin sekä tutkitaan joitakin uusimpia hankkeita. Tämä antaa vertailupohjan ulkomaisten puukerrostalorakentamisen toteutustavoille. Vertailukohteena Suomen puurakentamiselle toimivat Norjan, Kanadan ja Keski-Euroopan puukerrostalorakentamisen toteutustavat ja esimerkkihankkeet. Näiden maiden toteutustapoja verrataan Suomen menetelmiin ja esitellään niiden pohjalta päätelmät.

2. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN TOTEUTUSTAVAT SUOMESSA

2.1 Yleistä puukerrostalorakentamisesta Suomessa

Puu on vakaa osa Suomen rakentamisperinnettä ja merkittävä osa Suomeen pienistä rakennuksista on rakennettu puusta. Toisen maailmansodan jälkeen tullut teollistuminen sai aikaan Suomessa rankarakenteiden suosion nousun hirsirakenteiden tilalle ja kaupungistuminen loi tarvetta kerroksittaiselle rakentamiselle. (Kryssi 2013) Teollinen rakentaminen sai kuitenkin aikaan puun osuuden suosion vähentymisen kerrostalojen kantavana rakenteena. (Iljäs 2013, s. 57)

Suomessa puukerrostaloja on rakennettu 1990-luvulta asti. Tällöin rakennettiin pääosin kantavat seinät -järjestelmällä, mikä perustuu kerroksittaiseen rakentamiseen. Tällä menetelmällä kerroksien kantavat rakenteet rakennetaan alemman kerroksen välipohjatason päälle. Kantavat seinät ovat toteutettavissa massiivipuisella levyrakenteella tai kevyellä rakenteella, joka on ollut Suomessa tähän asti rakennettujen puukerrostalojen käytetyin runkojärjestelmä. (Heikinheimo 2012) 1990-luvulla puukerrostalorakentaminen toteutettiin lähinnä paikallaan rakentamisella. 2010-luvun puukerrostalorakentamisen ero aikaisempiin rakentamistapoihin on teollisesti esivalmistettujen ja pitkälle vietyjen rakennusosien käyttö. (Iljäs 2013, s. 72)

Ennen vuotta 1997 Suomessa ei saanut palomääräysten vuoksi rakentaa yli kaksikerroksisia puurunkoisia rakennuksia. Palomääräyksien muuttuessa vuonna 1997 puurunkoisia kerrostaloja sai rakentaa nelikerroksisiin rakennuksiin asti. Palomääräykset muuttuivat uudestaan vuonna 2011, mikä salli puukerrostalojen rakentamisen kahdeksaan kerrokseen asti. (Tolppanen et al. 2013)

Vuonna 2018 rakennusmääräykset uudistuivat viimeisimmän kerran sallien yli kaksikerroksisissa puukerrostaloissa taulukkomitoituksella jätettävän 20 % suojaverhoilematonta seinä- ja kattopinta-alaa näkyville kantavissa rakenteissa ilman erityisvaatimuksia. Taulukkomitoituksella voidaan jättää vielä enemmän puupintaa esille, mikäli kantavan rakenteen eristävyyttä, tiiveyttä ja kantavuutta parannetaan. Ei-kantavissa rakenteissa ei ole vaatimuksia suojaverhouksiin. Yli kaksikerroksisissa puukerrostaloissa sprinklerit ovat yhä vaadittu uudistuksen jälkeenkin. (Pirttinen 2018) Yli kahdeksankerroksisissa puukerrostaloissa on vaadittu tapauskohtaista palomitoitusta. Kun käytetään tapauskohtaista toiminnallista palomitoitusta, rajoituksia kerrosmäärästä ei ole. (Carvalho et al. 2020)

Tällöin tulee osoittaa, että rakennus täyttää rakentamismääräysten vaatimukset paloturvallisuudesta viranomaisten hyväksymällä tavalla. (Puuinfo 2020g)

Jokaisessa paloluokassa puuta voi käyttää runkomateriaalina kaksikerroksisissa puukerrostaloissa. Kahdeksanteen kerrokseen asti voi rakentaa P2-paloluokassa. Yli kaksikerroksisten puukerrostalojen puurakenteisiin tulee yleensä suojaverhous. (Puuinfo 2020h) Puukerrostaloissa voi käyttää julkisivuverhouksessa puuta, mikäli se täyttää pintaluokkavaatimuksen D-s2, d0. Alimman kerroksen puisen julkisivuverhousmateriaalin tulee kuitenkin olla palonsuojakäsitelty siten, että se vastaa paloluokkaa B-s2, d0. (Puuinfo 2020g)

Puukerrostaloja rakennetaan Suomessa nykyään pääosin elementeistä. Yleisimpiä puukerrostalojen rakennustapoja ovat rankarakenteiset taso- ja tilaelementit sekä massiivipuulevyrakenteiset tasoelementit ja massiivirakenteiset tilaelementit. (Puuinfo 2020g) Näistä yleisimpiä ovat rankarakenteet. Suomessa oli vuonna yhteensä 103 puukerrostaloa. (Puuinfo 2020d)

Ympäristöministeriön (2020) mukaan Suomessa pyritään kaksinkertaistamaan puun käyttö rakennusmateriaalina julkisessa uudisrakentamisessa vuosien 2019 ja 2023 välillä. Tähän sisältyy esimerkiksi opetusrakennuksia, hoitoalanrakennuksia ja asuinkerrostaloja. Puukerrostalojen määrä julkisissa hankkeissa pyritään saamaan vuoteen 2022 mennessä kattamaan 21 % asuinkerrostaloista ja vuoteen 2025 mennessä 46 %. Vuonna 2019 vastaava luku oli 3 %. Maankäytön, asumisen ja liikenteen sopimuksissa kannustetaan kaupunkeja taloudellisesti rakentamaan puusta. (Ympäristöministeriö 2020)

Puukerrostalot kahdeksankerroksisiin asti uskotaan yleistyvän, kun kustannuskilpailukyky paranee ja tulee enemmän kokemusta puukerrostalorakentamisesta. Yli kahdeksankerroksisten puukerrostalojen yleistymisen on epätodennäköistä vähäisen tarpeen vuoksi. (Tulonen 2020)

2.2 Suomessa käytetyt rakennusmenetelmät

2.2.1 Rankarakenteet

Suomessa käytetyin puukerrostalojen toteutustapa on kerroksittainen rankarakenne, joka perustuu kantaviin seiniin (Puuinfo 2020f). Rankarakenteisia puukerrostaloja rakennetaan paljon Suomessa ja ne kattavat 49 % Suomen puukerrostaloista (Puuinfo 2020d). Näissä kantavina rakenteina toimivat ulkoseinät ja jotkin väliseinät. Tällä toteutustavalla jännemitat voivat olla 4–6 m. Kevytrakenteisen suurelementin runko rakennetaan liimatai viilupuisista tolpeista, jotka ovat vakiomittaisia. Runkoon kuuluvat myös ala- ja

yläsidepuut sekä kehäpuut. Kantavilla ja ei-kantavilla seinillä ei ole rakenneperiaatteellisia eroja. Tällä menetelmällä rakennuskorkeus on helposti kuusi kerrosta. (Puuinfo 2020f)

Pystytys on nopeaa työmaalla esivalmistettujen elementtien vuoksi, ja kerros valmistuu työmaalla viikossa. Työmaalla asennus suoritetaan säältä suojassa, mikä mahdollistaa seuraavien työvaiheiden aloittamisen heti elementtien kiinnityksen jälkeen. (Puuinfo 2020f)

Rankarakenteinen puukerrostalo on energiatehokas sekä passiivitaso on saavutettavissa tällä menetelmällä. Rakenteella on hyvä ilmatiiviyys ja ominaisuudet ovat mukautettavissa eristeillä, jotka asennetaan rakenteen onteloihin (Puuinfo 2020f; Puuinfo 2020e).

Rankarakenteet ovat edullinen runkoratkaisu matalissa puukerrostaloissa. Rankarakenteisiin tarvitaan vähemmän puumateriaalia kuin esimerkiksi massiivipuurakenteisiin, minkä vuoksi rankarakenne on kustannustehokkaampaa. Pitkien perinteiden vuoksi rankarakenne on helppo toteuttaa. Haasteena rakenteelle tulee kerrosmäärän kasvaessa. Tällöin rakenne vaatii jäykistämistä levyrakenteilla sekä teräsrakenteita siirtämään kuormia. (Kryssi 2013)

2.2.2 Massiivipuurakenteet

Massiivipuurakenteella tarkoitetaan yleisesti tapaa tehdä kantavat seinät CLT-massiivipuulevystä (Puuinfo 2020f). CLT tarkoittaa ristiinliimattuja puulevyjä (eng. Cross Laminated Timber). Massiivipuulevyt, aukotukset sekä liitokset tehdään tehtaalla mittatarkasti (Puuinfo 2020e; Puuinfo 2020f). Elementit voidaan toimittaa työmaalle eristeet, pintamateriaalit ja ovet ja ikkunat asennettuina.

CLT-levyn kapasiteetti riittää 12-kerroksisiin rakennuksiin ja toimii seinissä ja välipohjissa kantavana ja jäykistävänä rakenteena. (Puuinfo 2020e) Ulkoseinärakenteessa levy on rakenteen sisäpuolella ja eriste asennetaan levyn ulkopuolelle. Taulukkomittauksessa massiivipuulevy suojaverhotaan palomääräysten mukaisesti. (Puuinfo 2020f)

Suomessa massiivipuurakenteiden käyttö kerrostaloista on vähäinen. Vain 7 % puukerrostaloista on toteutettu runkoratkaisuna massiivipuurakenne. (Puuinfo 2020d)

Massiivipuurakenteen etuna on sen monikäyttöisyys. CLT-levy voi toimia yhtäaikaaisesti kantavana ja jäykistävänä rakenteena, osittain lämmöneristeinä sekä höyryn- ja ilmansulkuna. (Sorri 2016) Vuoden 2016 laminoitujen puupylväiden ISO-standardien mukaisesti tehtyjen palotestien avulla todistettiin, että massiivipuinen laminoitu puupylväs kykenee sammuttamaan itsensä ja siten estämään talon sortumisen palotilanteessa (Hanuliak & Hartman 2021, s. 82–83).

Haasteena rakenteen käytössä on sen hinta ja saatavuus. Massiivirakenteissa on paljon puuta, mikä johtaa korkeisiin kustannuksiin. Saatavuus on haasteellista, koska Suomessa ei ole massiivipuutehtaita, eli massiivipuu jouduttaisiin hankkimaan ulkomailta, mikä lisäisi myös kustannuksia. (Kryssi 2013)

2.2.3 Pilari-palkkijärjestelmä

Pilari-palkkijärjestelmän mukaisen puukerrostalon runko koostuu viilupuisista pilareista ja palkeista ja niiden varaan ripustetuista väli- ja yläpohjatasoista sekä ulkoseinistä. Rungon jäykistävinä rakenteina toimii mastopilarit. Suuret aukot ovat mahdollisia pilari-palkkijärjestelmällä, ja ripalaattaelementillä saadaan 7 metrin jännemitta. (Puuinfo 2020f)

Rakentaminen työmaalla on nopeaa ja rakennus aloitetaan mastopilareiden pystytyksestä. Mastopilareiden varaan ripustetaan palkit ja loput pilarit, minkä jälkeen asennetaan vesikatto, mikä tuo rakenteelle sääsuojan. Rungon valmistumiseen kuluu muutama päivä. Ulkoseinät rakennetaan elementteinä, jonka ulkoverhous ja eristeet ovat valittavissa kohteen mukaan. (Puuinfo 2020f)

Suomessa rakennetaan pilari-palkkijärjestelmällä suhteellisen vähän. 8 % Suomen puukerrosaloista on toteutettu pilari-palkkimenetelmällä. (Puuinfo 2020d)

Etuna Pilari-palkkijärjestelmässä on avoin pohjaratkaisu sekä julkisivujen suuret aukotukset. Rakennetyyppi antaa myös mahdollisuuden muokkaa sisätiloja rakennuksen elinkaaren aikana, sillä kantavia väliseiniä ei ole. Haasteena kuitenkin on, että muokattavuus tulee tarkasti suunnitella värähtely- ja äänitekniikan vuoksi. (Tolppanen et al. 2013)

2.2.4 Tilaelementit

Tilaelementeillä tarkoitetaan tehtaalla valmiiksi rakennettuja tilayksiköitä, jotka koostuvat rungosta, seinistä, lattiasta ja katosta. Myös ikkunat ja LVIS-varustus, eli lämpö, vesi, ilmastointi ja sähkö -varustus, asennetaan sekä pinnat viimeistellään tehtaalla, missä elementit rakennetaan säältä suojassa. Tilaelementtitekniikalla kantavana rakenteena voi toimia pilari-palkkitekniikalla tehty tai ranka- tai massiivipuukurakenteinen suurelementti. Käytettäessä kaksoisrakennetta äänieristävyys paranee. (Puuinfo 2020f)

Elementin suunnittelussa otetaan huomioon kuljetuksen ja nostojen rajoitteet painolle ja mitoille. Enimmäismitat ovat tavallisesti 14 x 4,2 x 3,2 m, minkä vuoksi tilaelementit soveltuvat parhaiten pienasuntokohteisiin. Työmaavaihe tilaelementtitekniikalla on nopea, jopa kuusikerroksinen asuinkerrostalo voi valmistua kahdessa kuukaudessa. (Puuinfo 2020f)

Tilaelementti runkoratkaisuna on Suomessa toiseksi yleisin tapa toteuttaa puukerrostaloja. 32 % Suomen puukerrostaloista on toteutettu CLT- tai rankatilaelementeillä. (Puu-info 2020d)

Tilaelementtirakentaminen on tutkitusti perinteistä paikallarakentamista tehokkaampaa. Etuina on myös kustannustehokkuus sekä nopea toteutusprosessi. Tehdasoloissa voidaan myös taata laadukkaampi tulos kuin paikallarakentamisessa. Suomessa on paljon kokemusta tilaelementtirakentamisesta ja kokemusta on tullut puukerrostalojen lisäksi myös pientalorakentamisesta. Haasteena tilaelementtirakentamisessa on kuljetuksen aiheuttamat rajoitukset tilaelementtien koolle. (Hedman & Kotilainen 2015)

2.2.5 Rakennusmenetelmien edut ja haasteet

Eri rakennusmenetelmien edut ja haasteet vaikuttavat puukerrostalon rakennusmenetelmän valintaan (taulukko 1). Rakennusmenetelmän etuihin tai haittoihin vaikuttavat myös maan perinteet, kokemukset ja materiaalin saatavuus.

Taulukko 1 Rakennusmenetelmien edut ja haasteet (Hanuliak & Hartman 2021, s. 82–83; Sorri 2016; Hedman & Kotilainen 2015; Kryssi 2013; Tolppanen et al. 2013)

	Rankarakenteet	Massiivipuurakenteet	Pilari-palkkijärjestelmä	Tilaelementit
Edut	Vaatii massiivipuurakenteita vähemmän puutavaraa Kokemuksen vuoksi helppo toteuttaa	Toimii yhtäaikaisesti kantavana- ja jäykistävänä rakenteena, osittain lämmöneristeenä ja höyryn- ja ilmasulkuna Kykenee sammuttamaan itsensä palotilanteessa	Avoin pohjaratkaisu ja julkisivujen suuret aukotukset Mahdollisuus muokata sisätiloja rakenteen elinkaaren aikana	Perinteistä paikallarakentamista tehokkaampaa Suomessa paljon kokemusta tilaelementeistä
Haasteet	Korkeammissa rakennuksissa tarvitsee levy- ja teräsrakenteita jäykistämään ja siirtämään kuormia	Hinta ja saatavuus	Muokattavuus tulee tarkasti suunnitella rakennusaikana	Kuljetuksen aiheuttamat rajoitukset tilaelementtien koolle

Massiivipuurakenteella on monia hyviä ominaisuuksia. Rakenne toimii kantavana- ja jäykistävänä rakenteena. Rakenteella on myös rakennusfysikaalisia ominaisuuksia ja se voi toimia lämmöneristeenä sekä höyryn- ja ilmasulkuna. Massiivirakenteiden hinta ja saatavuus on Suomessa haaste massiivirakenteisille puukerrostaloille.

Rankarakenteista ja tilaelementeistä Suomessa on paljon kokemusta. Haasteena tilaelementtirakentamisessa on kuljetuksen aiheuttamat kokorajoitukset tilaelementeille.

Rankarakenteilla puolestaan korkeammassa rakentamisessa vaatii lisärakenteita jäykistämään ja siirtämään kuormia. Kokemuksen määrän vuoksi molemmilla rakennemenetelmillä on kuitenkin Suomessa sovelluskohteet ja ovat suosituimpia puukerrostalorakentamisen menetelmiä.

Enne 2010-lukua tilaelementeillä ollut nykyistä suosiota vaan koerakentamiskautena esivalmistelu painottui precut-, eli valmiiksi leikattuihin runkorakenteisiin. 2010-luvulla puukerrostalorakentamisen järjestelmät alkoivat painottua pitkälle vietyihin esivalmisteluihin. (Iljäs 2013, s. 72)

2.3 Hanke-esittely

2.3.1 Seminaarinmäki, Jyväskylä

Vuonna 2018 valmistuneet Keski-Suomen opiskelija-asuntosäätiön puukerrostalot Seminaarinmäellä Jyväskylässä on rakennettu lähes täysin puisista tilaelementeistä (Puuinfo 2020b). Puuta on myös jätetty näkyville julkisivuissa (kuva 1). Tilaelementit on rakennettu CLT-puulevyistä. Nämä kaksi puukerrostaloa ovat nelikerroksisia ja ovat Keski-Suomen opiskelija-asuntosäätiön ensimmäiset puukerrostalot. (Puuinfo 2020b)



Kuva 1. Seminaarinmäki, Jyväskylä (Puuinfo 2020b)

Tilaelementtirakentaminen on erittäin toimiva ratkaisu, kun kyseessä on opiskelija-asuntokohde, sillä rakennus koostuu monesta pienestä asunnosta. Tässä kohteessa tilaelementit toimivat kantavina rakenteina ja tilaelementit kannattelevat myös keskikäytäviä. Myös porrashuoneet ja hissikuilut on rakennettu tilaelementeistä sekä näissä on jätetty mahdollisuuksien mukaisesti puupintaa näkyviin. (Puuinfo 2020b)

2.3.2 Puukuokka, Jyväskylä

Puukuokka on 2018 Jyväskylään valmistunut kolmen puukerrostalon kokonaisuus. (OOPEAA 2021) Seminaarinmäen tavoin, puukuokassa on puuta julkiverhouksessa (kuva 2). Artikkelissa Plug-and-play multistory mass timber buildings: achievements and potential käytetään kyseisestä puukerrostalokokonaisuudesta nimitystä Puukokka. Puukerrostalokokonaisuuden ensimmäinen talo valmistui vuonna 2015 ja oli tällöin Suomen ensimmäinen kahdeksankerroksinen puukerrostalo. Rakennuksissa on yhteensä 150 asuntoa, joista 58 sijoittuu ensimmäiseen rakennukseen. (Carvalho 2020)



Kuva 2. Puukuokka, Jyväskylä (OOPEAA 2021)

Huoneistot koostuvat kahdesta CLT huoneryhmämoduulista. Yksi moduuli sisältää olohuoneen, makuuhuoneen ja parvekkeen, toinen keittiön, kylpyhuoneen ja eteisen. Rapukäytävän katot on rakennettu sillan kaltaisesti kahden huoneiston välille. Vastaavaa rakennemallia on nähty Saksassa. Puupintaa on jätetty näkyviin asuntojen katoissa ja porraskäytävän lattioissa. Seinissä on käytetty kipsilevyä palomääräysten vuoksi. (Carvalho 2020)

Tilaelementtien rakentamiseen kului tehtaassa aikaa 5 kuukautta ja niiden kokoamiseen työmaalla kului 2 kuukautta. Yhteensä rakentamiseen käytettiin aikaa 6 kuukautta. Rakentamisen nopeus katsotaan eduksi Suomen ilmasto-olosuhteissa. (Carvalho 2020)

2.3.3 Lighthouse, Joensuu

Hieman eroavana puukerrostalona aikaisempiin esimerkkeihin on Joensuuhun 2019 valmistunut Lighthouse. Lighthouse on Suomen korkein puukerrostalo, ja kerroksia siinä on 14. Opiskelija-asunnoiksi rakennetun talon ensimmäinen kerros ja väestönsuoja on rakennettu betonista, mutta muut rakenteet, myös hissikuilu, on rakennettu massiivipuusta. Jäykistys on toteutettu puurakenteiden sisällä olevilla terästangoilla, jotka ottavat vastaan vetoa. Paloturvallisuuden vuoksi verhoilu on toteutettu kipsilevyllä. (Puuinfo 2020c) Puukerrostalon ulkoverhouksessakaan ei puuta ole jätetty näkyviin (kuva 3).



Kuva 3. Lighthouse, Joensuu (Puuinfo 2020c)

Toteutustapa valittiin kilpailutuksella, jossa harkittiin tilaelementtiratkaisua, mutta päätettiin massiivirakenteeseen (Puuinfo 2020c). Erona aikaisemmin esiteltyihin hankkeisiin on, että tässä rakennuksessa ei paloturvallisuuden vuoksi haeta puista verhousta. Pui-
nen verhoilu on aikaisemmin esiteltyissä hankkeissa merkittävässä osassa hanketta. Lighthousen katsotaan olevan puukerrostalorakentamisen edistäjä, sillä siellä on käynnissä akustiikkatutkimukset ja siellä on mitattu hiilijalanjälkeä (Puuinfo 2020c).

3. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN TOTEUTUSTAVAT MAAILMALLA

3.1 Norja

Norjan ilmasto-olosuhteet vastaavat suomen olosuhteita paljon, mutta Norjassa puukerrostalorakentaminen on kilpailukykyisempää ja sitä tehdään laajemmalla mittakaavalla, kuin Suomessa (Koivunen 2013, s. 2). Norjassa on ollut katkeamaton perinne puurakentamisessa ja siellä on aina saanut rakentaa kolmikerroksisia puukerrostaloja. Vuonna 1997 Norjan palomääräykset muuttui. (Tolppanen et al. 2013) Tämän jälkeen Norjassa saattoi rakentaa yli viisikerroksisia puukerrostaloja ilman sprinklereitä (Källsner & Östman 2011, S. 9). Yli nelikerroksisissa puukerrostaloissa vaaditaan tapauskohtainen palomitoitus eikä rajoituksia kerrosmäärästä ei ole. (Carvalho 2020)

Suurimmassa osassa norjalaisia asuinrakennuksia on puuverhoilu (Tolppanen et al. 2013). Norjassa puuverhousta voi käyttää myös yli viisikerroksisissa puukerrostaloissa ilman sprinklereitä (Källsner & Östman 2011, S. 10). Perinteisesti rakennettuna norjalaiseen puukerrostalon julkisivurakenteeseen ei tule tuuletusrakoa (Tolppanen et al. 2013). Norjassa on jo vuoteen 2015 mennessä rakennettu 14 kerroksisia puukerrostaloja. Norjassa on myös perinteisen massiivisilla puumateriaaleilla rakentamisen lisäksi suosittu hybridirakenteita. (Hynynen et al. 2015) Hybridirakenteilla tarkoitetaan pilari-palkkijärjestelmän ja kantavien seinien yhdistelmää. Muunneltavuus sekä kantavien rakenteiden pieni tilakustannus ovat järjestelmän etuja. (Heikinheimo 2012)

Puuta on Norjassa käytetty kaikenlaiseen rakentamiseen ja Norjassa puukerrostalot ovat toimineet myös kouluina, päiväkoteina ja liikerakennuksina muiden julkisten rakennuksien lisäksi (Hynynen et al. 2015). Vaikka Norjassa rakennetaan asuinrakennuksia pääosin puurunkoisena, kaupunkialueilla kuitenkin harvoin rakennetaan puukerrostaloja. (Tykkä et al. 2009)

3.2 Kanada

Pohjois-Amerikassa puukerrostalorakentaminen on hyvin suosittua. Puurunkoisten asuinkerrostalojen määrä on 70 % asuinkerrostaloista. Länsirannikolla 3–5-kerroksisista asuinkerrostaloista 90 % on rakennettu puurunkoisina. (Tolppanen et al. 2013) Quebecissä 4–6 kerroksisten puukerrostalojen markkinaosuus on lähes 30 % (Laukkanen 2018). Kanadassa puurakentamisella päästään 20 %:n kustannusetuun betoniin verrattuna, mikä selittää puurakentamisen suosion (Tolppanen et al. 2013).

Hyvä markkinatilanne antaa mahdollisuuden siirtyä rankarakenteista massiivipuuelementteihin. Esivalmisteluissa Kanada on Eurooppaa jäljessä. (Laukkanen 2018) Laukkanen (2018) uskoo esivalmistuksen parantavan kilpailukykyä, mihin Kanadaan soveltuvaan käytäntöön on haettu malli Euroopasta. Kanadassa yritetään optimoida massiivipuun käyttö, mihin perustuvia uusia rakennusjärjestelmiä pyritään kehittämään tehokkaan rakentamisen saavuttamiseksi. Massiivipuun tuotanto on kuitenkin Kanadassa uutta ja massiivipuulevytehtaita on siellä neljä. (Laukkanen 2018)

Kanadassa yritykset eivät ole investoineet esivalmisteluun, minkä vuoksi puurakentaminen painottuu perinteisiin keinoihin. Esivalmistuksen kasvu saisi sijoittajat kiinnostumaan puurakentamisesta ja mahdollistaisi puurakentamisen järjestelmän kehittämisen. Kanadassa puurakentamisella ei ole standardia, mutta puurakentamisen säädöksiä on pyritty lähivuosina muutamaa, jotta puukerrostaloja voisi rakentaa 12 kerrokseen asti. (Laukkanen 2018)

Kanadan Brittiläisen Kolumbian provinssin rakennuskoodi sallii puukerrostalorakentamisen vain kuuteen kerrokseen asti. nämä puukerrostalot ovat tavallisemmin rakennettu kevyistä puurungoista ja harvoin massiivipuusta. Massiivipuulle ei ole rakenteellista tarvetta matalissa puukerrostaloista eikä massiivipuukerrostalorakentamiselle ei Kanadassa ole juurikaan kokemusta. (Fallahi 2017, s. 20)

Kanadalainen arkkitehti Michael Green toivoisi puukerrostalorakentamiseen maiden välistä yhteistyötä ja, että Euroopan puurakentamisratkaisuja tarjottaisiin Kanadaan. Hän uskoo maiden väliseen puurakentamisen yhtenäistymiseen ja, että Suomi voisi olla kansainvälisen standardoinnin johtava maa. (Laukkanen 2018)

3.3 Keski-Eurooppa

Keski-Euroopasta tutkitaan tarkemmin Itävallan ja Saksan puukerrostalorakentamista. Itävallassa ja Saksassa CLT-tekniikka on yleinen tapa toteuttaa puukerrostaloja (Puuinfo 2020e; Tolppanen et al. 2013). CLT-tekniikka on saksaksi KLH eli Kross Lamine Holz (Puuinfo 2020e).

Saksalla on suurin kysyntä EU:ssa teollisille puutuotteille, mutta vuosittain vain 2 % monihuoneistoista taloista on rakennettu puurunkoisena. Tämä osuus on pysynyt samana vuosina 2006–2012. Saksan monihuoneistosten talojen rakentamismäärä on ollut yleisesti laskussa tänä aikana, mikä tarkoittaa laskua myös puurunkoisten monihuoneistosten talojen rakentamisessa. Kuitenkin jatkuvan keskivertohuoneistojen kokojen pienenemisen vuoksi voidaan odottaa huoneistojen ja monihuoneistosten talojen määrän kasvua lähivuonna. (Mahapatra et al. 2012, s.68)

Saksan rakennuslaki on sallinut vuodesta 2002 lähtien rakentaa puurunkoisia kerrostaloja viiteen kerrokseen asti. Ylimmän asuinkerroksen lattia ei kuitenkaan saa olla 13 m korkeammalla maan tasalta. (Mahapatra et al. 2012, s.68–69) 19–22 m korkeita puukerrostaloja saa kuitenkin rakentaa, mikäli on käytetty tapauskohtaista palomitoitusta (Carvalho 2020).

Rakennusmateriaalien palonkestävyydelle on Saksassa kuitenkin tarkemmat säädökset tulen ja savun leviämisen suhteen varsinkin poistumisteillä. Hallinnon hankkimat puutuotteet on oltava peräisin laillisesta ja kestävästä metsänhoidosta, minkä tarjoajan tulee todistaa. Saksaan tuotavan puun on täytettävä myös useita säännöksiä, jotka perustuvat EU:n lakeihin. Näitä ovat esimerkiksi puun säilöntään ja tuoteturvallisuuteen liittyvät direktiivit. (Mahapatra et al. 2012, s.68–69)

Itävallassa kuudenteen kerrokseen asti voidaan rakentaa puukerrostaloja paloluokassa R 90, missä portaikko on paloluokassa A2 ja ylin kerros R 60. Yli kuusikerroksisiin puukerrostaloihin vaaditaan tapauskohtainen palomitoitus. Tapauskohtaisen palomitoituksen kanssa ei ole rajoitteita kerrosmäärässä. (Carvalho 2020)

Paloturvallisuuden kannalta Itävallan ja Saksan puukerrostalorakentamisella on keskenään eroja. Puukerrostalojen kerrosmäärät vaihtelevat verhousmateriaalin ja automaattisen sprinklerijärjestelmän mukaan (taulukko 2).

Taulukko 2 Saksan ja Itävallan puukerrostalojen paloturvallisuuden sallimat kerrosmäärät (Tolppanen et al. 2013, s. 23)

	Itävalta	Saksa
Kerrosmäärä ilman automaattista sprinklerijärjestelmää	3–4	5
Kerrosmäärä puuverhouksella ilman automaattista sprinklerijärjestelmää	1–2	3
Kerrosmäärä puisella lattialla tai sisäverhouksella ja sprinklerijärjestelmällä	∞	∞
Kerrosmäärä, kun poistumisteillä on puinen sisäverhous tai lattia	Ei saa toteuttaa	∞

Kerrosmäärä ilman automaattista sprinklerijärjestelmää on Saksassa 5 kerrosta ja Itävallassa 3–4 kerrosta. Vastaavat puisella ulkoverhouksella on Saksassa 3 ja Itävallassa 1–2. Lisäksi Saksalla on joitakin rajoituksia puun käytölle. Yhtäläisyytenä kuitenkin rajaton kerrosmäärä, kun asunnoissa puinen lattia tai sisäverhous sekä sprinklerijärjestelmä. Suurin ero on kerrosrajoituksissa, kun poistumisteillä on puinen sisäverhous tai puinen lattia. Saksassa näissä tilanteissa kerrosmäärä on rajaton, eikä ole paljoa rajoituksia puun käytölle. Itävallassa Näitä ei saa puukerrostalossa toteuttaa. (Tolppanen et al. 2013, s. 23)

3.4 Hankke-esittely

3.4.1 Mjøstårnet, Brumunddal, Norja

Mjøstårnet on Brumunddalissa Norjassa 2019 rakennettu puukerrostalo. Mjøstårnet on norjaa ja tarkoittaa Mjøsa-järven tornia. Tämä 18-kerroksinen puukerrostalo oli rakennushetkellä maailman suurin ja se sisältää asuntojen lisäksi myös toimistoja, hotellin, ravintoloita ja kattoterassi. (Abrahamsen 2017) Kattoterassi tuo ilmettä rakennukselle (kuva 4). Tällä hetkellä se on maailman toiseksi suurin puukerrostalo (Tulonen 2020). Abrahamsen mukaan (2017) hankkeen on tarkoitus toimia todisteena siitä, että korkeita rakennuksia voi rakentaa kestävästä puumateriaaleista.



Kuva 4. *Mjösa tornin mallinnus (Abrahamsen 2017, S. 3)*

Mjøstårnetin kantavat rakenteet on toteutettu isoista liimapuuristikoista, palkeista ja pila-reista (Abrahamsen 2017). Rakennus on perustettu kallioperälle paaluin (Hanuliak & Hartman 2021, s. 82). Ristikot kantavat rakenteeseen kohdistuvat ulkoiset vaaka- ja pystyvoimat sekä jäykistävät rakenteen. CLT seiniä käytetään kuitenkin ottamaan vastaan voimia hissien ja porraskuilujen osalta, mutta nämä eivät toimi jäykistävinä rakenteina. Päämateriaalina kantavissa rakenteissa toimii norjalainen käsittelemätön kuusi. Puiset lattiaelementit on eristetty kivivillalla ja on päällystetty ohuella betonikerroksella. (Abrahamsen 2017). Näitä lattiaelementtejä on käytetty 2.–11. kerroksissa. Kerroksissa 12–18 on käytetty 300 mm paksuisia betoni lattiaa, joka on osittain tehtaassa valmistettu. Nämä toimivat rakenteessa raskauttavina komponentteina vastustamassa vaakasuuntaisista voimista aiheutuvaa taipumaa. (Hanuliak & Hartman 2021, s. 82) Rakenteissa on myös hyödynnetty terästä liitännöissä (Abrahamsen 2017).

Kantavien päärakenteiden palonkestoajaksi on määritelty 120 minuuttia. Lattioille vastaava on 90 minuuttia. Palonkesto ja mitoittavat kuormat ovat eurokoodin mukaiset. (Abrahamsen 2017) Poistumisteiden paljaat puupinnat on maalattu tulenkestävällä maalilla ja porrashuoneiden seinät ovat päällystetty kipsilevyillä. Rakennuksessa on sprinklerijärjestelmä ja paloikkunat tulipalon leviämisen estämiseksi ylempiin kerroksiin. (Hanuliak & Hartman 2021)

Rakennus koottiin elementeistä työmaalla. Rakentamisen aikana rakennetta ei suojattu varsinaisesti säältä, vaan luotettiin rakenteen kykyyn kuivua lattioiden ja rakennuksen kuoren asentamisen jälkeen. Pinnat on kuitenkin suojattu maalilla sekä säälle alttiit sivut on suojattu. (Abrahamsen 2017)

3.4.2 Brock Commons Tallwood House, Vancouver, Kanada

Vuonna 2017 Vancouveriin Kanadaan valmistunut 18 kerroksinen Brock Commons oli ensimmäinen Brittiläisen Kolumbian yliopiston rakentama puukerrostalo. Rakennushetkellä 53 metrinen Brock Commons oli maailman korkein puukerrostalo. Rakennus toimii opiskelija-asuntolina sekä pohjakerroksessa kampuksen yhteisöllisiä tiloja. Brock Commons toimi esittelyhankkeena puisille kerrostaloille sekä puurakentamisen suunnittelulle ja tuotannolle Kanadassa. (Naturally Wood 2017) Brittiläisen Kolumbian salliessa rakentaa tavallisesti vain kuusikerroksisia puukerrostaloja, Brock Commonsia varten kehitettiin työmaakohtainen asetus. Tämä asetus osoitti rakenteen olevan kestävä ja turvallinen ja antoi poikkeusluvan 18 kerroksisen Brock Commonsin rakentamiselle. (Fallahi 2017, s. 20)

Brock Commons on toteutettu massiivipuuhybridinä. Perustukset, pohjakerros, toisen kerroksen laatta sekä porras- ja hissikuilut ovat rakennettu betonista. Rakenne muutoin koostuu GLT- eli liimapuusta (eng. Glue Laminated Timber) ja PSL- eli rinnakkaissäkeisistä puutavara (eng. Parallel-strand Lumber) pilareihin teräs liitoksin tuetuista CLT-lattiapaneeleista. Rakennuksen ulkokuori on toteutettu puukuitulaminoiduista teräspaneeleista. (Naturally Wood 2017) Porras- ja hissikuilun betoni näkyy puukuitulaminoidujen teräspaneelien lisäksi rakennuksen julkisivussa (kuva 5). CLT-paneelit sekä GLT- ja PSL-pilarit valmistettiin hyödyntäen VDC (Virtual Design and Construction) mallia eli tapaa hyödyntää tietomallinnusta rakennusprojektissa. (Staub-French et al. 2020)



Kuva 5. *Brock Commons, Vancouver, Kanada (Naturally Wood 2017)*

Rakennuksen paloturvallisuus taattiin automaattisella sprinklerijärjestelmällä. Vesisäiliön vuoksi sprinklerijärjestelmä tuottaa palotilanteessa vettä 30 minuuttia ja on lähes 100 % luotettava. Lisäksi neljä kerrosta palonkestävää kipsilevyä on asennettu seiniin tuomaan kaikille rakenteille ja huoneistoille kahden tunnin palonkestoajan. (Staub-French et al. 2020)

Hankkeen aikataulu oli tiukka. Suunnitteluvaiheeseen kului 8 kuukautta ja itse rakentamiseen 18 kuukautta. Betonitöihin kului aikaa 7 kuukautta ja ne oli ajoitettu siten, että puurakenteet voitaisiin rakentaa kuivimpina kuukausina. Massiivipuukomponentit esivalmistettiin betonitöiden aikana. Puurakenteiden ja ulkokuoren asennukseen kului 3 kuukautta, mikä oli 2 kuukautta suunniteltua nopeampi. (Naturally Wood 2017)

Brock Commonsissa käytetty menetelmä hyödyntää puu- ja betonirakentamisen hyviä puolia. Puu takaa kevyen rakenteen, vähäiset CO₂ päästöt ja vähentää rakennusaikaa. Betonin käyttö rakenteessa hyödyntää sen lujuutta. (Orta et al. 2020)

3.4.3 HoHo, Wien, Itävalta

Wienissä sijaitsee 24-kerroksisen maailman suurin puukerrostalo HoHo eli Holzhochhaus (Tulonen 2020). Tämän nimi tulee saksasta ja se tarkoittaa puista korkeaa taloa. HoHo valmistui vuonna 2019 (Carvalho 2020). HoHo:n tiloissa toimii liiketiloja, hotelli, ravintola ja huoneistoja (HoHo Wien a). Huoneistot sijaitsevat rakennuksessa 19.–22. kerroksessa (HoHo Wien b).

HoHo toteutettiin hybridirakenteena, eli rakenteessa on käytetty kantavia CLT-seiniä ja betonista rakennettua jäykistävää porrashuonetta. Puu-betoni-liittorakenteiset välipohjat tukeutuvat ulkoseiniin ja betoniseen porrashuoneeseen. Rakennus on 78 % puuta. (Tulonen 2020) Rakentamiseen kului kokonaisuudessaan 29 kuukautta. (Carvalho 2020) Hybridielementtikattorakenteet koostuvat 180 mm paksuisesta massiivi CLT-puisesta paneelista ja 120 mm paksusta betonikerroksesta. Katon ja seinien sisäpinnat ovat paljasta massiivipuuta. Ajatuksena puupintojen takana on sisäilmaston säätely sekä esteettiset ja psykologiset vaikutukset. (Hanuliak & Hartman 2021, s. 80–81)

Sillä rakennus on korkea puukerrostalo, ennakkoluulot sen paloturvallisuutta kohtaan tuli huomioida. Evakuointireittinä toimii Teräsbetoninen porraskuilu, missä ilman vaihtuvuus on varmistettu. Suunnitteluvaiheessa tehdyt palotutkimukset osoittivat palotilanteessa massiivipuuhun muodostavan hiilikerroksen takaavan 115 minuutin palonkestoajan, mikä ylittää vaaditun 90 minuutin palonkestoajan. Ulkoverhous on paloturvallisuuden vuoksi toteutettu kuitusementtipaneeleista. (Hanuliak & Hartman 2021, s. 81) Paneelien väreillä on tuotu yksityiskohtia rakennuksen julkisivuun (kuva 6).



Kuva 6. HoHo, Wien, Itävalta (Tulonen 2020 s. 17)

Brock Commonsissa käytettyä menetelmää hyödynnetään myös tässä hankkeessa. Betonin ja puun käytöllä hyödynnetään niiden hyviä puolia. (Orta et al. 2020) Hoho on korkeiden puukerrostalojen rakentamisen edelläkävijä, vaikka rakennusmenetelmänä oli tilaelementtien sijasta, rakenne koostuu lineaarisista rakenteista ja seinäelementeistä. (Carvalho 2020) Hanke on edelläkävijä kestävässä arkkitehtuurin ja CO₂ päästöjen minimoimisen vuoksi. (Hanuliak & Hartman 2021) CO₂ päästöjen minimoiminen on kuitenkin ollut muiden puukerrostalohankkeiden tavoite, kuten Mjøstårnetin ja Brock Commonsin. Näihin verrattuna Hoho on kuitenkin selvästi edelläkävijä kerrosmäärän suhteen.

3.4.4 Woodie, Hamburg, Saksa

Woodie on Saksassa 2017 rakennettu kuusikerroksinen opiskelija-asuntola, mikä koostuu 371 pienestä tilaelementtihuoneistosta. Huoneistot ovat kooltaan 22,44 m²-23,76 m². Kolme porras- ja hissikuilua sekä eteistä ovat rakennettu teräsbetonista. (Carvalho 2020) Rakennuksen julkisivu on epätyypillinen (kuva 7). Julkisivu toimii osana äänieristysjärjestelmää, mikä takaa alueen suurten akustisten vaatimusten täyttymistä. Akustiset vaatimukset ovat erittäin korkeita rakennuksen ikkunoille ja oville. (Carvalho 2020)



Kuva 7. Woodie, Hamburg, Saksa (YOUNIQ 2021)

Elementtien esivalmistamiseen kului 5 kuukautta ja työmaavaiheeseen vain 5 viikkoa. Yhden tilaelementin asentamiseen meni 3 minuuttia ja elementtejä asennettiin 18 päivässä. Rakennuksen suunnitteluvaihe oli pitkä. Hankkeeseen käytettiin kokonaisuudessaan aikaa 11 kuukautta, mikä on 8 kuukautta vähemmän, kuin perinteisessä rakentamisessa. (Carvalho 2020)

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Lähes puolet Suomen puukerrostaloista on rankarakenteisia. Rakennetyypistä päätellen, nämä painottuvat mataliin rakennuksiin, sillä niihin rankarakenteet soveltuvat parhaiten. Korkeampaan rakentamiseen voisi soveltua paremmin muut rakennemenetelmät kuin perinteiset rankarakenteet. Rankarakenteisten asuntojen painottuessa matalampiin puukerrostaloihin, voi asuntomäärältään esimerkiksi tilaelementit olla puukerrostaloissa ajateltua suositumpi ratkaisu.

Puurakentamisen historia on voinut vaikuttaa puukerrostalorakentamisen kehitykseen. Suomessa ja Norjassa on toisiaan vastaavat ilmasto-olosuhteet ja varhaishistoria, mutta Suomen puurakentamisen historia on katkonaisempaa toisen maailmansodan jälkeisen teollinen rakentamisen ja kaupungistuminen aiheuttaman puun käytön vähenemisen kerrostalon kantavana rakenneratkaisuna vuoksi. Norjan puukerrostalorakentaminen on myös kilpailukykyisempää Suomeen verrattuna. Suomessa suositaan perinteistä rakentamista puukerrostaloissa, mikä on katkonaisen historian kanssa vaikuttanut puukerrostalorakentamisen haasteelliseen asemaan. Kanadassa puukerrostalorakentaminen on yleistä, mutta painottuu perinteisiin ja mataliin puukerrostaloihin. Keski-Euroopassa puukerrostalorakentaminen on ollut jo vuosia vakaa osa rakentamista.

Suomen puurakentamisen historian katkonaisuuden vuoksi Suomi on puukerrostalorakentamisessa esimerkiksi Norjaa, Saksaa ja Itävaltaa jäljessä. Missä Norjassa, Kanadassa ja Keski-Euroopassa on rakennettu ennätyskorkeita puukerrostaloja, Suomessa kerroskorkeudet ovat hillitympiä. Suomen korkein puukerrostalo rakennettiin vuonna 2019, kun Norjassa ja Kanadassa on rakennettu tätä 4 kerrosta korkeampia puukerrostaloja ja Itävallassa rakennettu maailma korkein puukerrostalo on 10 kerrosta korkeampi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että Suomen tulisi ottaa mallia kerroskorkeuksista, sillä varsinaista tarvetta erittäin korkeille puukerrostaloille ei ole. Norjan, Kanadan ja Keski-Euroopan hankkeet eivät kuitenkaan suoraan kerro näiden maiden viimeaikaisten puukerrostalokorkeuksien korkeuksista yleisesti, sillä kansainvälisten tietolähteiden saatavuus painottuu mullistavimpiin hankkeisiin, mitä nämä ennätyskorkeat puukerrostalot ovat.

Paloturvallisuus vaikuttaa eniten puukerrostalorakentamisen kerroskorkeuksiin. Yhtäläisyytenä Suomessa, Norjassa ja Keski-Euroopassa on paloturvallisuuden suhteen se, että tapauskohtaisella palomitoituksella kerrosmäärissä ei ole rajoitteita. Tämä todennäköisesti johtuu siitä, että näissä maissa on käytössä yhteiset standardit eli eurokoodit.

Näistä standardeista Kanada jää ulkopuolelle, mikä on voinut vaikuttaa puukerrostalorakentamisen kehitykseen. Esimerkiksi Kanadan Brittiläisessä Kolumbiassa voi rakentaa vain kuusikerroksisia puukerrostaloja ilman poikkeuslupaa. Poikkeusluvan mahdollisuus kuitenkin kertoo halusta kehittää korkeampaa puukerrostalorakentamista ja standardisointia. Työmaakohtaisen asetuksen mahdollistaminen todennäköisesti antaa myös mahdollisuuden Kanadalle kehittää puukerrostalorakentamista, vaikka standardit eivät vielä muutoin salli korkeita puukerrostaloja. Tämä voisi myös edistää puukerrostalostandardointia Kanadassa.

Kanadassa elementtien esivalmistelut ja massiivipuun tuotanto on Eurooppaa jäljessä. Puurakentamisen säädöksiä muuttamistavoitteiden perusteella Kanadassa on halua kehittää puukerrostalorakentamista ja standardisointi voisi mahdollistaa puukerrostalorakentamisen kehittymisen laajemmassa mittakaavassa. Puukerrostalorakentamisen kansainvälinen standardisointi voisi olla tavoite puukerrostalorakentamisen tulevaisuuden aseman vahvistamiseksi. Standardointi toisi lisää osajia ja kehitysmahdollisuuksia ja toisi sijoittajille lisää kiinnostusta puukerrostalorakentamiseen. Kanadassa on pohdittu, että Suomi voisi olla johtava maa kansainvälisessä standardoinnissa. Tämä näkemys voi johtua Suomen edistyksellisestä elementtirakentamisesta, missä Kanadalla ei ole juurikaan kokemusta. Kanadan vaikuttaa haluavan siirtyä elementtirakentamiseen puukerrostaloissa ja Kanada hyötyisi Suomen asemasta standardisoinnin johtavana maana. Tämä voisi olla myös Suomen eduksi, sillä tämä voisi antaa sijoittajille luottoa Suomen puukerrostalorakentamiselle.

Tilaelementtien käyttö on viime aikoina ollut eri maissa yleistä. Tilaelementit ovat sopiva ratkaisu etenkin opiskelija-asunnoissa, niiden ollessa kooltaan pieniä ne ovat helposti toteutettavissa tilaelementeillä. Tämä on voinut johtaa siihen, että tilaelementtisiä puukerrostaloja on toteutettu opiskelija-asunnoiksi Suomessa, Saksassa ja Kanadassa. Suomen korkeimmassa puukerrostalossa Lighthouseessa oli vaihtoehtona tilaelementtirunko, vaikka päädyttiin massiivipuurakenteeseen. Kohteen ollessa opiskelija-asunto voi olettaa tilojen olevan pieniä, ja siksi toteutuksen vaihtoehdoksi on soveltunut myös tilaelementtirakentaminen. Lighthouseen edelläkävijästatuksesta huolimatta vaikuttaa, että lähiaikoina Suomessa rakennetaan enemmän matalia tilaelementtipuukerrostaloja. Suomessa on hyödynnetty tilaelementtejä myös muissa, kuin opiskelija-asunnoissa. Puukuokka on puinen asuinkerrostalo, missä on osoitettu tilaelementtien soveltuvuus myös muiden kuin pienten asuntojen rakentamiseen. Hankkeesta voi todeta, että Suomessa osataan soveltaa tilaelementtirakentamista, sillä tilaelementtien käyttö ei ole rajoittunut pieniin opiskelijahuoneistoihin vaan isommat huoneistot voivat koostuvat kahdesta tilaelementistä. Tilaelementtien valmius säältä suojassa ja nopea työmaavaihe ovat etuja

Suomen rakentamisessa. Tämän vuoksi voisi olla perusteltua kehittää tilaelementtirakentamista eteenpäin, kun on hyvät lähtökohdat suurempienkin huoneistojen tilaelementtirakentamiseen. Tilaelementtirakentamisen soveltaminen vaikuttaisi tämän perusteella olevan Suomessa suhteellisen edistyksellinen ja sen eteenpäin kehittäminen voisi tuoda Suomelle kansainvälistä kilpailukykyä.

Esimerkkihankkeiden perusteella Suomessa ei juurikaan rakenneta puukerrostaloja hybridirakenteisena, mutta Kanadassa ja Keski-Euroopassa niitä on käytetty sekä Norjassa se on hyvinkin suosittua. Mallia Suomi voisi ottaa muista maista hybridirakentamisessa. Norjassa suosittu hybridirakenne voisi olla hyvä soveltaa Suomessa vastaavien ilmasto-olosuhteiden vuoksi. Norjan Mjøstårnetin rakennusmenetelmä vastaisi Suomen halua lisätä puuta kerrostaloissa ja rakentaa kantavat rakenteet täysin puusta. Massiivipuun hankinnan ollessa kallista, vaihtoehtona voisi miettiä betonia. Kanadan, Itävallan ja Saksan esimerkkikohteiden hybridi rakenteiset puukerrostalot on toteutettu tekemällä porras- ja hissikuilu betonista. Tämä voisi olla hyvä tapa Suomessakin saada molempien, betonin ja puun, hyvät ominaisuudet käyttöön ja siten olla sijoittajille sekä ostajille lähesyttävämpi vaihtoehto puun lisäämiselle kerrostaloissa. Toisaalta betonin hyvät ominaisuudet ovat kriittisempiä korkeammassa rakentamisessa, mihin Suomessa ei kuitenkaan ole tarvetta.

Eroina puukerrostalorakentamisessa Suomen ja muiden maiden välillä on rakennusmenetelmän valinta. Suomessa nykyään rakennetaan paljon tilaelementtejä, kun taas Keski-Euroopassa on massiivipuu myös vahvasti käytössä. Vaikka massiivipuu on Suomessa epäedullinen toteuttaa, voi tämä olla toisissa maissa soveltuvampi menetelmä puukerrostalorakentamiselle sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Suomen kannalta olisi kannattavampaa valita rakennusmenetelmä, jossa tarvitaan vähemmän puutavaraa kuten rankarakenteet. Norjassa, Kanadassa ja Keski-Euroopassa on lähiaikoina rakennettu hybridirakenteita, mutta Suomessa ei. Toisin kuin vertailumaissa, Suomessa ei pyritä korkeaan rakentamiseen. Suomen palomääräykset vastaavat muiden eurokoodeja käyttävien maiden palomääräyksiä pääosin, minkä vuoksi kerrosmäärällä ei ole ylärajaa. Kanadalla on poikkeuksia lukuun ottamatta kerrosrajoitus. Puurakentamisella on kussakin maassa perinteitä, mutta puurakentamisen historian katkonaisuuden vuoksi Suomen puukerrostalorakentaminen on vähemmän kilpailukykyinen Euroopan muihin maihin verrattuna tällä hetkellä. Suomessa puukerrostalorakentamisen kilpailukykyä halutaan kuitenkin parantaa ja muiden maiden puukerrostalorakentaminen voisi antaa Suomelle suuntaa.

LÄHTEET

- Abrahamsen, R. (2017). Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building. In Internationales Holzbau-Forum IHF (pp. 1-12)
- Orta, B., Martínez-Gayá, J., Cervera, J. & Aira, J. (2020). Timber high rise, state of the art. *Informes de la Construcción*, Vol. 72 (558)
- Carvalho, L., Jorge, L. & Jerónimo, R. (2020). Plug-and-Play Multistory Mass Timber Buildings: Achievements and Potentials. *Journal of architectural engineering*, Vol 26
- Fallahi, A., (2017). Innovation in Hybrid Mass Timber High-rise Construction: A Case Study of UBC's Brock Commons Project. University of British Columbia.
- Hanuliak, P. & Hartman, P. (2021). Modern wooden buildings in Slovakia and abroad. Aspect of sustainable architecture.
- Hedman, M. & Kotilainen, S. (2015). Asukaslähtöinen puukerrostalokortteli tilaelementeistä: Esimerkkinä Kokkolan Nukkumatin tontin suunnitelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laitos. Asuntosuunnittelu. Julkaisu; Nro 17. Tampere.
- Heikinheimo, A. (2012). Puukerrostalo. Rakennustieto.
- HoHo Wien (a). Property | Apartments Saatavissa (viitattu 15.4.2021): <http://www.hoho-wien.at/Mietflächen/Apartments>
- HoHo Wien (b). Property | Apartments | Apartments – detail. Saatavissa (viitattu 15.4.2021): <http://www.hoho-wien.at/Mietflächen/Apartments/Apartments-detail>
- Hynynen, A., Panu, A-M., & Taanila, T. (2015). Puu-Hubi: Perinteestä uusiin innovaatioihin. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laitos.
- Iljäs, V. (2013). Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laitos. Tampere. 275 s.
- Koivunen, J. (2013). Vertaileva tutkimus puukerrostalojen perustuksista Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Talouden ja rakentamisen tiedekunta. Tampere. 55 s.
- Kryssi, E. (2013). Puukerrostalo. Diplomityö Tampereen teknillinen yliopisto, Talouden ja rakentamisen tiedekunta. Tampere. 88 s.
- Källsner, B., Östman, B. (2011). National building regulations in relation to multi-storey wooden buildings in Europe. SP Trätek and Växjö University. 26 p.
- Laukkanen, M. (2018). Puurakentamisen hyvät käytännöt Euroopassa 2. Puu-lehden erikoisnumero 2018.
- Mahapatra, K., Gustavsson, L. & Hemström K. (2012). Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK. *Construction innovation*, Vol 12, No. 1, pp. 62-85.

Naturally Wood (2017). Construction of a Tall Wood Building: Brock Commons Construction Overview. The University of British Columbia.

OOPEAA (2021). Puukuokka housing block. Saatavissa (viitattu 24.4.2021): [OOPEAA | Puukuokka Housing Block](#)

Pirttinen, V. (2018). Rakennusmääräyskokoelman uudistuksen vaikutukset puurakentamiseen. Lumen.

Puuinfo (2020a). Arkkitehtuuri | Asuinkerrostalot As Oy Kirkkonummen Tinankartano. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/as-oy-kirkkonummen-tinankartano/>

Puuinfo (2020b). Arkkitehtuuri | Asuinkerrostalot KOAS Seminaarinmäki. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/koas-seminaarimaki/>

Puuinfo (2020c). Arkkitehtuuri | Asuinkerrostalot Lighthouse Joensuu. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/lighthouse-joensuu/>

Puuinfo (2020d). Arkkitehtuuri | Asuinkerrostalot Suomessa toteutetut puukerrostalot. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/suomessa-toteutetut-puukerrostalot/>

Puuinfo (2020e). Puutieto | Puun käyttö rakentamisessa Yleisimmät rakennejärjestelmät. Saatavissa (viitattu 20.2.2021): <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/>

Puuinfo (2020f). Rakenteet | Puukerrostalot runkojärjestelmät. Saatavissa (viitattu 20.2.2021): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-runkojarjestelmat/>

Puuinfo (2020g). Rakenteet | Puukerrostalot Suunnittelu. Saatavissa (viitattu 20.2.2021): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>

Puuinfo (2020h). Suunnittelu | Määräykset Paloturvallisuus. Saatavissa (viitattu 20.2.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/paloturvallisuus/>

Sorri, S., (2016). CLT-tilaelementtikerrostalon rakennussuunnitteluohjeistus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Talouden ja rakentamisen tiedekunta. Tampere. 129 s.

Staub-French, S., Pilon, A., Poirier, E., Fallahi, A., Kasbar, T., Calderon, F., Twshnizi, Z. & Froese, T. (2020). Construction process innovation on Brock Commons Tallwood House. Emerald Publishing Limited. ISSN 1471-4175

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viikainen, M. (2013) Suomalainen puukerrostalo: rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus.

Tulonen, L. (2020). KORPUT Korkeiden puukerrostalojen tutkimus. Diplomityö. Tampereen yliopisto- Rakennetun ympäristön tiedekunta. Tampere. 138 s.

Tuohimaa, L. (2018). Puukerrostalojen rakennejärjestelmän valinta omaperusteisessa asuntotuotannossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Talouden ja rakentamisen tiedekunta. Tampere. 105 s.

Tuuva-Hongisto, S. (2010). Puu asumisessa – kuluttajanäkökulma puurakentamiseen. Metsäalan ennakointiyksikkö. Joensuu. s. 58. ISBN: 978-952-61-0158-3

Tykkä, S., McCluskey, D., Nord, T., Ollonqvist, P., Hugosson, M., Roos, A., Ukrainski, K. Nyrud, A. & Bajric, F. (2009). Development of timber framed firms in the construction sector — Is EU policy one source of their innovation? Forest Policy and Economics, Vol. 12 (3), p. 199–206

Ympäristöministeriö (2020). Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet Puurakentamisen toimenpideohjelma 2016–2022

Ympäristöministeriö (2016). Puuta kerrostaloihin - rakentamismääräyksistä puretaan puurakentamisen esteitä. Saatavissa (viitattu 27.4.2021): https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Puuta_kerrostaloihin_rakentamismaarayks

YOUNIQ (2021). My way of living. Saatavissa (viitattu 27.4.2021): [Hamburg - YOUNIQ - My way of living \(youniq-living.com\)](https://www.youniq-living.com)