

Antti Oiva

CLT:n hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa

CLT:n hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa

Antti Oiva
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakentamistekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakentamistekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Antti Oiva

Opinnäytetyön nimi: CLT:n hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa

Title of thesis: CLT in Multi-Storey Buildings

Työn ohjaaja: Pekka Kilpinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 76 + 8 liitettä

Suomessa on pitkään painotettu vahvasti betonin käyttöä kerrostalojen runkomateriaalina. Uudistuneet palomääräykset, puurakentamisen nopea teollistuminen sekä ekologisten arvojen korostuminen ovat kuitenkin tuomassa puuta varteenotettavaksi vaihtoehdoksi kerrostalojen rakennusmateriaalina. Tämän myötä myös CLT:tä eli ristiinlaminoitua massiivipuulevyä on alettu hyödyntää kerrostalojen runkomateriaalina.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja selventää CLT:n soveltuvuutta kerrostalorakentamiseen sekä luoda kattava tietokokonaisuus niin rakennusalan toimijoille kuin rakennusalan ulkopuolisille henkilöille ja näin parantaa materiaalin tunnettavuutta. Työssä käsiteltiin CLT:n reitti valmistuksesta tilaelementtituotantoon ja asennukseen ja tarkasteltiin CLT:n yleisimpiä ominaisuuksia sekä puukerrostalojen paloturvallisuutta. Lisäksi luotiin katsaus esimerkkikohteeseen, 8-kerroksiseen CLT-rakenteiseen puukerrostalo DAS Keroon. Työhön on haettu tietoa kirjallisuus- ja verkkolähteiden ohella työmaa- ja tehdasvierailujen sekä haastattelujen kautta.

Tämän työn tulosten perusteella voidaan todeta, että CLT soveltuu erittäin hyvin kerrostalojen sekä runko- että pintamateriaaliksi. CLT:n etuina voidaan mainita ainakin tilaelementtitekniikan ja helpon työstettävyyden mahdollistama korkea esivalmistusaste, yksinkertaiset liitostekniikat ja rakenteet, ympäristöystävällisyys sekä hyvät sisäilmasto-ominaisuudet. CLT:stä rakennettu kerrostalo on myös erittäin paloturvallinen.

CLT:n käytöllä on kuitenkin myös joitain haasteita. Uutuutensa vuoksi puukerrostalojen rakenneratkaisut eivät ole vielä vakiintuneet ja suunnittelijoilta vaaditaan suurta ammattitaitoa esimerkiksi palo- ja värähtelymitoituksen suunnittelussa. Ammattitaitoisia suunnittelijoita on vielä vähän, samoin CLT:n ja tilaelementtien tuottajia ja urakoitsijoita. Myös hinta on ollut rajoittava tekijänä CLT:n yleistymisessä, mutta lisääntyneen käytön ja kokemuksen karttumisen myötä kustannustehokkuus on parantunut huomattavasti. Haasteista huolimatta CLT on erittäin varteenotettava vaihtoehto kerrostalojen rakennusmateriaaliksi ja tulee tulevaisuudessa kasvattamaan jalansijaansa suomalaisessa kerrostalorakentamisessa.

Asiasanat: CLT, puukerrostalo, DAS Kelo, tilaelementtitekniikka, paloturvallisuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Production Technology

Author: Antti Oiva

Title of thesis: CLT in Multi-Storey Buildings

Supervisor: Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 76 + 8 appendices

In Finland, concrete has been heavily used as construction material for multi-storey buildings. However, the renewed fire safety regulations, the rapid industrialization of wood construction and the emphasis on ecological values are making wood into a viable alternative to concrete. As a result, CLT, or cross-laminated timber, has also been used more commonly as a building material in multi-storey buildings.

The aim of this thesis was to sort out and clarify the suitability of CLT for multi-storey building construction, and to create a comprehensive data set of this topic, thus also improving material awareness. The work focused on CLT's route from manufacturing to modular unit production and installation, as well as the most common features of the CLT and the fire safety of wooden multi-storey buildings. In addition, an exemplary structure, an 8-storey CLT-structured wooden high-rise DAS Kelo, was created. In addition to literature and online sources, the information was searched through site and factory visits and interviews.

Based on this work, it can be stated that CLT is very suitable for both frame and surface material in high-rise buildings. Maybe the most important benefit of CLT is a high degree of prefabrication thanks to modular unit- technology and easy workability. Other benefits include simple joining techniques and structures, environmental friendliness, and good indoor climate. A block of flats built with CLT is also very fire-safe.

However, the use of CLT also presents some challenges. Due to novelty of material, the structural solutions of wooden multi-storey buildings have not yet stabilized, and designers are required to have a high level of expertise, for example in fire and vibration design. There are still only few professional designers, as well as producers and contractors of CLT and the modular units. The price has also been a limiting factor in the growth of CLT, but with increased experience, cost efficiency has improved significantly. Despite of the challenges CLT is a very viable option for building blocks of flats, and will in the future grow its foothold in Finnish multi-storey buildings.

Keywords: CLT, DAS Kelo, wooden high-rise building, modular unit, fire safety

ALKUSANAT

Opinnäyte suoritetaan itsenäisesti tehtävänä työnä, mutta se ei silti tarkoita että olisin joutunut suorittamaan koko työn aivan yksin. Useat henkilöt ansaitsevat vähintäänkin kiitoksen tämän työn saattamisesta siihen muotoon kuin se lopulta asettui.

Ensiksi haluan kiittää Pauli Moilasta, joka alun perin ohjasi minut CLT:n ja puukerrostalojen pariin. Suuret kiitokset myös kaikille asianosaisille mielenkiintoisista työmaa- ja tehdasvierailuista sekä haastatteluista, näillä oli työn sisältöön merkittävä vaikutus. Kiitän myös tämän työn ohjaajaa, Pekka Kilpistä arvokkaista neuvoista ja palautteesta joskus pitkiksikin venähtäneiden palaverien aikana sekä Soili Fabritiusta tarkasta kielenohjauksesta.

Lopuksi kiitän perhettäni, läheisiäni sekä opiskelu- ja työtovereitani koko opiskelujeni aikaisesta tuesta. Kiitos kaikesta.

Oulussa 7.5.2019

Antti Oiva

SISÄLLYS

| | |
|-------------------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ALKUSANAT | 5 |
| SISÄLLYS | 6 |
| 1 JOHDANTO | 8 |
| 2 PUUKERROSTALOT SUOMESSA | 9 |
| 2.1 Historia | 9 |
| 2.2 Nykytila ja tulevaisuus | 10 |
| 3 CLT:N VALMISTUS | 13 |
| 3.1 Raaka-aine | 13 |
| 3.2 Liimaus ja puristus | 14 |
| 3.3 Työstäminen | 15 |
| 3.4 Viimeistely ja pinnan käsittely | 16 |
| 4 CLT:N OMINAISUUDET | 18 |
| 4.1 Rakenne ja lujuusominaisuudet | 18 |
| 4.2 Kosteusteknisyys ja halkeilu | 20 |
| 4.3 Lämpötekniikka ja ilmatiiveys | 21 |
| 4.4 Äänitekniikka | 22 |
| 4.5 Visuaalisuus | 24 |
| 4.6 Ekologisuus ja hiilijalanjälki | 25 |
| 4.7 Terveysvaikutukset | 27 |
| 5 CLT-RAKENTEISET TILAELEMENTIT | 29 |
| 5.1 Valmistus ja suunnittelu | 29 |
| 5.2 RunkoPES 2.0 | 30 |
| 5.3 Rakenteet | 31 |
| 5.4 Kosteudenhallinta | 37 |
| 5.5 Kuljetus ja asennus | 38 |
| 6 PALOTURVALLISUUS PUUKERROSTALOSSA | 41 |
| 6.1 Palomääräykset | 41 |
| 6.2 CLT:n palo-ominaisuudet | 43 |
| 6.3 Palomitoitus | 46 |

| | |
|--|----|
| 6.3.1 Mitoitusperiaatteet | 46 |
| 6.3.2 Toiminnallinen palomitoitus | 47 |
| 6.4 Palonsuojamenetelmät | 48 |
| 6.4.1 Passiiviset palonsuojamenetelmät | 48 |
| 6.4.2 Aktiiviset palonsuojamenetelmät | 50 |
| 7 DAS KELO | 53 |
| 7.1 Lähtökohdat ja suunnittelu | 53 |
| 7.2 Kohteen kuvaus | 55 |
| 7.2.1 Kohteen ominaispiirteet | 55 |
| 7.2.2 Rakenteiden kuvaus | 56 |
| 7.2.3 Ekologisuus | 57 |
| 7.3 Paloturvallisuuden toteutus | 58 |
| 7.4 Työmaa- ja asennustoiminta | 60 |
| 7.5 Kustannukset | 62 |
| 7.6 Tiivistelmä DAS Kelosta | 63 |
| 8 YHTEENVETO | 65 |
| LÄHTEET | 67 |
| LIITTEET | |

1 JOHDANTO

Suomessa kerrostalorakentaminen on painottunut menneisyydessä vahvasti betonirunkoiseihin kerrostaloihin. Puun käyttö kerrostalojen runkomateriaalina on kuitenkin valtaamassa alaa perinteiseltä betonirakentamiselta. Vuosina 1997, 2011 ja 2018 uudistuneet palomääräykset ja myös osittain CLT:n yleistyminen ovat mahdollistaneet puurunkoisten, jopa yli kahdeksankerroksisten kerrostalojen rakentamisen Suomessa. CLT:tä eli ristiinlaminoitua massiivipuuta käytetäänkin nykyään varsinkin näiden korkeiden kerrostalojen runkomateriaalina. Yleistymässä CLT-rakenteisissa kerrostaloissa on myös tilaelementtitekniikka, jossa tilaelementit rakennetaan tehtaalla valmiiksi asti ja kuljetetaan asennusvalmiina työmaalle. Tällöin saadaan työmaan läpivientiaikaa merkittävästi vähennettyä ja rakentamista siirrettyä parempiin olosuhteisiin sisätiloihin.

Vaikka CLT:n käyttö yleistyy ja alalta löytyy Suomestakin jo useita toimijoita, on se vieläkin esimerkiksi betoniin verrattuna uusi materiaali ja sen tunnettavuus on vielä heikkoa ja käyttöaste alhainen. Rakennushankkeita suunniteltaessa ei välttämättä oteta edes huomioon mahdollisuutta käyttää CLT:tä runkomateriaalina. Tämän opinnäytetyön tavoitteena onkin selvittää ja selventää CLT:n käyttömahdollisuuksia erityisesti kerrostalorakentamisessa sekä luoda kattava, luotettava lähteisiin perustuva tietokokonaisuus niin rakennusalan toimijoille kuin rakennusalan ulkopuolisille henkilöille ja näin parantaa materiaalin tunnettavuutta.

Opinnäytetyössä käsitellään CLT:n reitti valmistuksesta tilaelementtituotantoon ja asennukseen sekä tarkastellaan CLT:n olennaisimpia ominaisuuksia ja puukerrostalojen paloturvallisuutta. Työssä perehdytään myös Rovaniemelle kesällä 2019 valmistuvaan DAS Kelo -puukerrostalokohteeseen ja arvioidaan tämän esimerkkikohteen avulla CLT:n soveltuvuutta kerrostalorakentamiseen. Tehtäväalueen laajuuden rajaamiseksi työssä tarkastellaan CLT:n ominaisuuksia ja tarkoituksenmukaisuutta lähinnä kerrostalorakentamisen näkökulmasta sekä arvioidaan kriittisesti sen soveltuvuutta kerrostalojen runko- ja pintamateriaaliksi. CLT:n soveltuvuutta pientalorakentamiseen ei siis tässä työssä käsitellä. Myöskään rakenteiden mitoitusta ja kustannusvertailua muihin materiaaleihin näiden ei käsitellä.

2 PUUKERROSTALOT SUOMESSA

2.1 Historia

Suomea pidetään perinteisesti puurakentamisen maana, mikä näkyy erityisesti pientalorakentamisessa. Kerrostalorakentamisen näkökulmasta puun käytöllä on kuitenkin vain lyhyt historia. 1800-luvulla rakennettiin paljon kokonaisia kaupunkeja puusta, ja suuret tulipalot, suurimpana Turun palo vuonna 1827, aiheuttivat palomääräysten tiukentumisen. Tuolloin voimaan tulleet rakentamismääräykset kielsivät puurunkoiset ja puuverhoillut yli kaksikerroksiset rakennukset 1800-luvulta lähtien aina vuoteen 1997 asti. 1990-luvulle asti lähes kaikki suomalaiset kerrostalot olivatkin kivitaloja, lukuun ottamatta muutamia poikkeuksia 1940-luvulla, jolloin rakennettiin sodan jälkeisinä poikkeusoloina myös muutamia tolpparunkoisia puukerrostaloja. (1; 2, s. 6, 84.)

1990-luvulla ympäristötietoisuus lisääntyi ja ekologisia arvoja alettiin korostaa myös rakentamisessa. Puulle alettiin tällöin etsiä uusia käyttökohteita. Kun Euroopan Unioniin liittyminen toi vielä mukanaan palomääräysten yhteneväisyystavoitteet, alettiin suunnitella ensimmäisiä koerakentamishankkeita puukerrostaloille. Vuosina 1996–1997 toteutettiin kolme koerakentamishanketta, joissa pyrittiin kehittämään tarvittavia rakenteellisia ja rakennusfysikaalisia ratkaisuja puukerrostalorakentamiseen sekä testattiin työmaa- ja asennustekniikkojen soveltuvuutta suomalaisiin olosuhteisiin. (3, s. 16-17.)

Onnistuneiden koerakentamishankkeiden ja niistä saadun tiedon pohjalta palomääräykset uudistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1997. Uudistus mahdollisti puun käytön runko- ja julkisivumateriaalina nelikerroksisiin rakennuksiin saakka. Tämän myötä toteutettiin jo kahdeksan yli kaksikerroksista puukerrostalohanketta vuosina 1996–2006. Hankkeet olivat vielä kokeiluluontoisia, mutta hiljalleen kokemus alkoi lisääntyä ja tekniset ratkaisut vakiintua. (3, s. 16-17.)

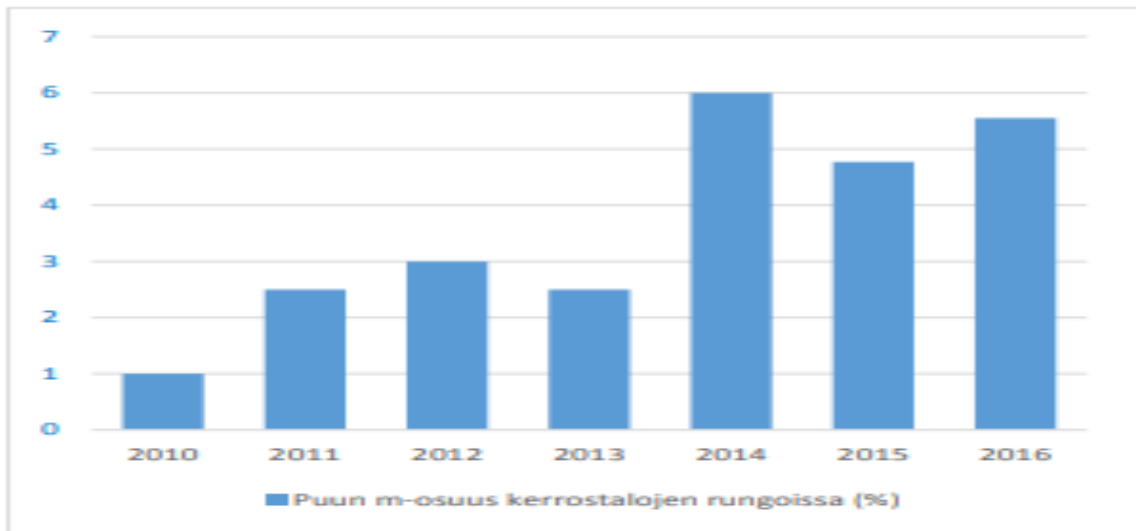
Muutaman hiljaisemman vuoden jälkeen Ruotsista kuultiin hyviä kokemuksia puukerrostalorakentamisesta, metsäteollisuus kiinnostui puurakenteiden järjestelmien kehittämistä ja puurakentaminen alkoi myös nopeasti teollistua. Rakentamismääräyksiä uudistettiin toistamiseen vuonna 2011. Uudistus mahdollisti toiminnallisella palomitoituksella jopa kahdeksankerroksisten puukerrostalojen rakentamisen sekä helpotti puun asemaa runkomateriaalina betoniin nähden. Vuoden 2018 alussa tulivat voimaan viimeisimmät

palomääräykset, jotka sallivat enimmillään kahdeksankerroksisten puurakenteisten kerrostalojen palomitoituksen taulukkomenetelmällä sekä yli kahdeksankerroksisten puukerrostalojen mitoituksen toiminnallisella paloturvallisuustarkastelulla. (3, s. 17-19; 4.)

Ensimmäiset Suomeen rakennetut puukerrostalot olivat lähinnä ranka- tai liimapuurunkoisia, mutta 2010-luvulla CLT alkoi nousta vaihtoehdoksi runkomateriaalina. Alun perin CLT-rakentamista Suomessa vei eteenpäin Stora Enso, jonka tehtailta Itävallasta tuotiin Suomeen CLT-elementit vuoteen 2014 asti. Tällöin Kuhmoon perustettiin Suomen ensimmäinen CLT-tehdas Oy CrossLam Kuhmo Ltd:n toimesta. Tämän jälkeen alalle on tullut lukuisia muitakin toimijoita sekä CLT-levyjien että CLT-rakenteisten tilaelementtien tuotannon pariin. (5.)

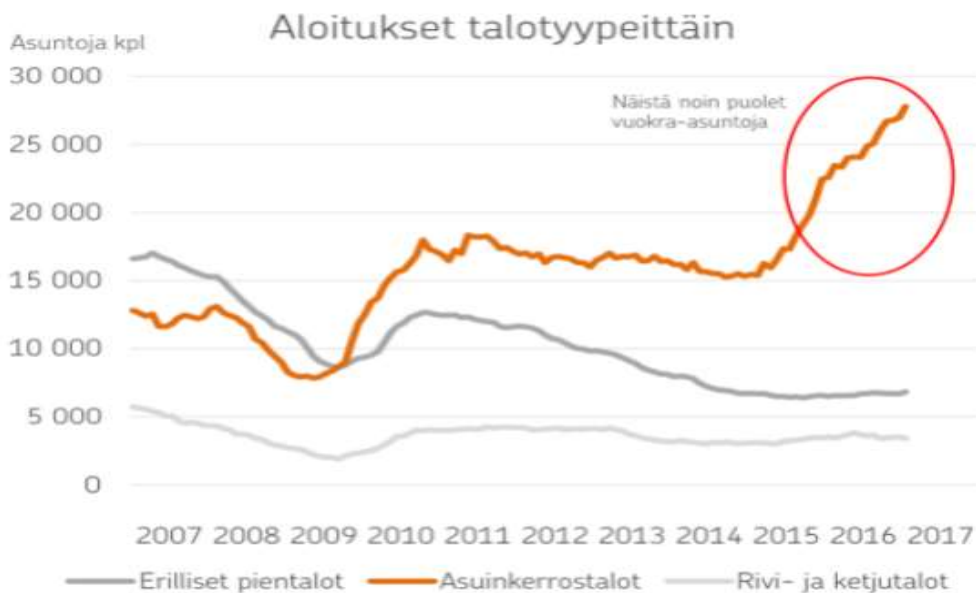
2.2 Nykytila ja tulevaisuus

Puun käyttö kerrostalorakentamisessa on ollut viime vuodet selkeässä kasvussa (kuva 1). Vaikka kasvu on selkeää, on puukerrostalokanta Suomessa silti vielä vähäistä, mistä johtuvat suuret vaihtelut tilastoissa vuosittain. Viimeaikaisten tilastojen valossa puukerrostalot kasvattavat markkinaosuuttaan myös tulevaisuudessa. Vuoden 2018 loppuun mennessä Suomeen oli valmistunut 65 yli kaksikerroksista asuinpuukerrostaloa sekä neljä toimistopuukerrostaloa. Tällä hetkellä uusia puukerrostalokohteita on varmistettu 10, todennäköisiä kohteita 28 sekä mahdollisia kohteita 13. Asuntojen lukumäärissä ilmaistuna jo olemassa olevissa puukerrostaloissa on 1 673 asuntoa ja kymmenessä uudessa, jo varmistuneessa kohteessa asuntoja tulee olemaan noin 1 350 kappaletta. Puukerrostaloasuntojen määrä tulee siis lähes kaksinkertaistumaan lähivuosina. (6, s. 111-114; 7, s. 3.)



KUVA 1. Puun markkinaosuus kerrostalojen rungoissa vuosina 2010–2016 (7, s. 3)

Vaikka puukerrostalorakentaminen on selkeässä kasvussa, nähdään kerrostaloissa vielä paljon kasvupotentiaalia puun käytölle. Viimeisten kymmenen vuoden aikana kerrostalorakentaminen on kasvattanut suosiotaan ja elää nyt poikkeuksellisen vahvaa nousukautta. Samalla pientalorakentaminen on kääntynyt laskuun (kuva 2).



KUVA 2. Eri talotyyppien hankealoitukset vuosina 2007–2017 (8, s. 2)

Markku Karjalaisen vuonna 2002 ja Tampereen Teknillisen Yliopiston vuonna 2017 puukerrostaloissa suorittamien asukaskyselyiden mukaan ihmiset suhtautuvat myös entistä myönteisemmin kerrostaloasumiseen. Vuonna 2002 pienkerrostalon tai kerrostalon olisi

valinnut mieluisimmaksi asuinmuodokseen vain 13 % vastaajista, kun vuonna 2017 vastaava luku oli jo 68 %. Kasvu on merkittävä. Tutkimuksen mukaan asukkaat myös suhtautuvat positiivisesti puukerrostaloihin. Puukerrostalojen eduksi mainittiin muun muassa hyvä sisäilma, paloturvallisuus, viihtyisyys sekä ekologisuus. (9, s. 3.)

Tulevaisuudessa myös ilmastotavoitteet tulevat ohjaamaan rakentamista yhtä enemmän. Jotta Suomi täyttäisi sovitut ilmastotavoitteet, tulee nykyisiä rakennusmateriaaleja korvata vähemmän kasvihuonekaasuja aiheuttavilla materiaaleilla. Puu on ainut uusiutuva materiaali, josta voidaan rakentaa massiivisia, monikerroksisia rakennuksia, ja se toimii merkittävänä hiilivarastona elinkaarensa ajan. Suomessa on myös vielä paljon potentiaalia kasvattaa puun korjuuta ja käyttöä, sillä vuotuinen poistuma metsistämme jää huomattavasti pienemmäksi kuin vuotuinen kasvu. Myös kuluttajat tiedostavat ekologiset seikat. Vuonna 2017 tehdyn kyselyn vastaajista 76 % arvioi, että ekologisilla seikoilla on vaikutusta heidän ja muiden ihmisten asuntovalintoihin joko merkittävästi tai jonkin verran. (9, s. 3; 10.)

3 CLT:N VALMISTUS

Tässä luvussa esitellään CLT:n tyypilliset valmistusvaiheet. Yksinkertaistaen CLT eli ristiinlaminoitu massiivipuulevy valmistetaan nimensä mukaisesti liimaamalla vähintään kolme erillistä kerrosta puulamelleja ristikkäin, jolloin saadaan CLT:lle ominainen jäykkä ja ristiinkantava massiivipuurakenne. CLT:n yksityiskohtainen valmistusprosessi on aina valmistajasta riippuvainen, mutta siinä on kuitenkin tunnistettavissa selkeät vaiheet, jotka valmistuksessa käydään läpi. Lopputuotteen ominaisuudet ja laatu ovat vahvasti riippuvaisia valmistusprosessista. (11, s. 77.)

3.1 Raaka-aine

CLT:n valmistus tehtaalla alkaa raaka-aineen valinnalla ja hankinnalla. Yleisimmin käytettävä materiaali on kuusi, mutta myös mäntyä sekä muita puulajeja käytetään. Valmistajasta riippuen myös eri puulajien yhdistäminen rakenteessa on mahdollista. Pintalamelikerros voidaan valmistaa esimerkiksi koivusta tai muusta halutusta puutavarasta visuaalisen ilmeen muokkaamiseksi. Myös lämpökäsiteltyä puuta voidaan erikoistilauksesta käyttää esimerkiksi ulkokäyttöön suunniteltuihin levyihin. (12; 13.)

Sahatavara vastaanotetaan yleensä valmiiksi kuivattuna oikeaan kosteusprosenttiin. CLT-tehtaat voivat myös itse kuivata hankitun puutavaran haluamaansa kosteuspitoisuuteen, jolloin haluttu laatu on vahvemmin tehtaan käsissä sekä puutavaran hankintakin on vapaampaa. Yleensä sopivana kosteuspitoisuutena lamelleille voidaan pitää ei-näkyvällä pinnalla 11 % ja näkyvällä pinnalla 9 %, valmistajasta riippuen noin kolmen prosenttiyksikön toleranssilla. Oikein suoritettu kuivaus parantaa merkittävästi lopputuotteen laatua vähentämällä kosteuselämistä ja näin halkeilua sekä luomalla sopivat olosuhteet liimauksen onnistumiselle. (12; 13, s. 8.)

Puutavara vastaanotetaan sahalta yleensä valmiiksi lujuuslajiteltuna luokkaan C24, mutta myös muut lujuusluokat ovat tilauksesta mahdollisia. Lujuuslajitellulla puutavaralla tulee olla CE-merkintä, joka osoittaa sahatavaran olevan harmonisoidun tuotestandardin mukainen. Raaka-aineen lajittelu suoritetaan lujuuslajittelun lisäksi usein myös visuaalisesti tehtaalla ennen liimausta, yleensä vähintään luokkiin näkyvä sekä ei-näkyvä pinta. CLT:n pinnanlaatuluokitukset vaihtelevat eri valmistajien mukaan. Pinnan laatuluokitusta on käsitelty tarkemmin luvussa 4.5. (13, s. 12, 7; 14.)

CLT-levyjen pituus voi olla jopa 16 m, joten pituussuuntaisiin lamelleihin tehdään usein sormijatkoksia. Leveyssuuntaisiin lamelleihin ei yleensä tehdä sormijatkoksia tehtaan rajallisen kapasiteetin vuoksi, jossa usein sormijatkaminen nousee tuotantoa rajoittavaksi tekijäksi. Sormijatkokset toteutetaan visuaalisuuden vuoksi varsinkin näkyville jääviin lamelleihin lappeen suuntaisina, jolloin näkyville jää viivamainen sauma. Koska CLT valmistetaan rakenteelliseen käyttöön, on lamellien sormijatkaminen luvanvaraista toimintaa ja edellyttää käytettävän tuotestandardin mukaista leimaa sekä jatkuvaa laaduntarkkailua. (13, s. 12-14; 15.)

3.2 Liimaus ja puristus

Kuivatut, lajitellut ja tarpeen mukaan sormijatkettut lamellit ohjataan höyläyksen kautta liimaukseen. Lamellit tavallisesti höylätään ennen liimausta, jotta liiman tartuntapinnoista saadaan tasaisia ja elementeistä mittatarkkoja. Liimaukseen on kaksi menetelmää, syrjä- ja lapeliimaus. Lapeliimaus on yleisempi liimaustapa helpon toteutettavuutensa vuoksi, mutta myös syrjäliimausta käytetään. (12; 16, s. 12-14.)

Lapeliimauksessa lamellit ladotaan rinnakkain, liima levitetään lamellien lappeille ja seuraava kerros ladotaan ristiin liimakerroksen päälle. Lamelleja ladotaan tavallisesti 3-8 kerrosta. Tämän jälkeen ladelma ajetaan puristimella, joka puristaa levyn tiiviiksi elementiksi. Puristamisvaiheessa tärkeää on luoda tasainen ja sopivan suuruinen paine, jolloin liima-sauma saadaan tasavahvaksi ja koskettamaan koko haluttua pinta-alaa. Keski-Euroopassa yleinen tapa on myös vakuumiliimata levyt toisiinsa tyhjiön avulla, mutta Suomessa mekaaninen puristin on yleisempi. Liimausvaiheessa voidaan myös käyttää mekaanisia liittimiä, kuten nauvoja tai ruuveja. (12; 16, s. 12-14.)

Syrjäliimauksessa lamellit liimataan ensin syrjistään yhtenäisiksi levyiksi, jotka sitten liimataan keskenään ristiin. Syrjäliimaus tekee levyn pinnasta täysin yhtenäisen ja tiiviin, mutta se on työläämpi ja monivaiheisempi toteuttaa. Syrjä- ja lapeliimausmenetelmät voidaan myös yhdistää esimerkiksi liimaamalla pintakerrokset ensin syrjistään valmiiksi levyiksi, joiden väleihin ladotut lamellit liimataan syrjäliimattuihin pintakerrokseen lapeliimauksella. (12; 16, s. 12-14.)

Suomessa yleisimmin käytetyt liimatyytit CLT:n valmistuksessa ovat polyuretaaniliima, lyhennettynä PUR, sekä kaksikomponenttinen EPI-liima. PUR ja EPI ovat formaldehydivapaita liimoja. Pohjois-Amerikassa yleisiä CLT:n liimaukseen käytettyjä liimatyyttejä

ovat PRF (fenoliresorsinoliformaldehydi) sekä MUF-liima (melamiiniureaformaldehydi). PRF-liima kovettuu korkeassa lämpötilassa ja muodostaa lujan liimasauman. PRF-liimaa ei Suomessa käytetä sen formaldehydipitoisuuden vuoksi. Lisäksi sen väri on rusehtava, joka ei välttämättä sovellu näkyville jäävän CLT-pinnan liimaksi. PUR-liima kovettuu pääasiassa puussa olevan kosteuden vaikutuksesta ja muodostaa värittömän liimapinnan. PUR-liiman huonona puolena on sen heikompi korkeiden lämpötilojen kestävyys verrattuna PRF-liimoihin. Kaikilla liimoilla tulee olla liimatyypin mukainen standardimerkintä, joka osoittaa sen soveltuvaksi rakenteelliseen liimaukseen. (11, s. 72, 81; 16, s. 8-9; 17.)

3.3 Työstäminen

Liimauksen ja puristuksen jälkeen CLT-elementti on käytännössä valmis raakaelementti haluttuine lujuusominaisuuksineen. Raakaelementin työstötoimenpiteet riippuvat elementin käyttökohteesta sekä asiakkaan vaatimuksista. Työstöt, kuten reunojen tasaukset, aukotukset ja roilotukset, tehdään useimmiten CNC-koneella (kuva 3). CNC-kone (Computer Numerical Controlled) on tietokoneohjattu työstöalusta, jolla voidaan hyvin mittatarkasti työstää CLT-raakalevyä. CNC-koneen mittatarkkuus on periaatteessa millimetrin murto-osia tietokoneohjauksen ansiosta, mutta käytännön toteutuksessa päästään tavallisesti 1-2 mm:n tarkkuuteen. CNC-koneen suurena etuna on sen yhteensopi vuus tietomallien kanssa. Nämä voidaan yleensä aina lähettää suoraan työstöasemalle, jolloin suunnitellut työstöt tulevat tehtyä juuri niin kuin rakennesuunnittelijan tai arkkitehdin laatimassa tietomallissa on esitetty. (12; 18, s. 23-24; 19, s. 6-7.)



KUVA 3. CNC-työstöasema (19, s.7)

CNC-koneella pystytään työstämään levyyn monipuolisesti upotuksia, pontteja, aukotuksia sekä viisteitä. CNC-kone työstää raakalevyä joko sirkkelin tai jyrsimen avulla. Nopeutensa takia suuret aukot ja reunojen tasaukset tehdään sirkkelillä. Tappi- tai kiekkojyrsintä käytetään, kun halutaan tehdä uria sekä kaarevia ja monimutkaisia muotoja. Tappijyrsimellä yleensä myös viimeistellään sirkkelillä tehdyt sahaukset, jos työstetty pinta jää lopputuotteessa näkyviin. Esimerkiksi ikkuna- ja oviaukkojen nurkissa tämä jättää nurkka-alueelle tappijyrsimen aiheuttaman pyöristyksen. Myös käsitöinä tehtävät työstöt ovat mahdollisia esimerkiksi pyöristysten ehkäisemiseksi, mutta käsityöt tyypillisesti veloitetaan lisätöinä. Suunnitteluvaiheessa tulisikin suosia tehtaan ilmoittamia vakiotyöstöjä työstöistä aiheutuvien kustannusten minimoimiseksi. (19, s. 6-7.)

CLT-levyjä valmistettaessa syntyy yleensä aina jonkin verran hukkaan menevää materiaalia. CLT valmistetaan kokonaisina levyinä, joihin tehdään tarpeelliset työstöt ja leikkaukset jälkikäteen. Myös levyistä, joihin ei tule aukotuksia tai muita varauksia, syntyy yleensä hieman hukkaa, sillä liimauksen jälkeen vähintäänkin reunat työstetään tasaisiksi CNC-koneella. Huolellisella suunnittelulla voidaan vähentää hukkaan menevää materiaalia huomattavasti, kun huomioidaan levyjen vakiomitat, muoto sekä elementtijako jo arkkitehtisuunnittelussa. Hukkaprosentilla on merkitystä kustannusten lisäksi tuotannon ympäristöystävällisyyteen. (19, s. 5.)

3.4 Viimeistely ja pinnan käsittely

Kun CLT-levyyn on tehty tarvittavat työstöt CNC-koneella, vaatii se vielä joissain tapauksissa viimeistelytoimenpiteitä ennen pakkausta ja kuljetusta asiakkaalle. Mahdollisia toimenpiteitä ovat hionta, erilaiset pintakäsittelyt sekä lamellisaumojen urittaminen. Urittaminen voidaan tosin suorittaa tuotantolinjasta riippuen jo tuotannon alkuvaiheessa, kuten lamellien höyläyksen tai sormijatkamisen yhteydessä. (13.)

CNC-koneelta tulevia levyjä ei tavallisesti ole tarpeen enää höylätä, mutta varsinkin näkyville jäävät pinnat vähintäänkin karkeahiotaan tehtaalla. Yleistä on suorittaa näkyvien pintojen hienohionta vasta työmaalla asennuksen jälkeen, jolloin on samassa yhteydessä käytännöllistä paikata ja hioa kuljetuksen ja asennuksen aikana mahdollisesti syntyneitä virheitä levyjen pinnoissa. Ei-näkyville pinnoille ei tavallisesti aseteta visuaalisia vaatimuksia, ja ne voidaan jättää liimausta edeltäneelle höyläpinnalle. (19, s. 17.)

CLT voidaan yleensä käsitellä samoin kuin muutkin puupinnat. Käsittelemättömät puujulkisivut tavallisesti harmaantuvat auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta. Ultraviolettisäteilyä vastaan pinta kannattaa suojata ulkokäyttöön soveltuvilla suoja-aineilla. Homekasvua voidaan ehkäistä erilaisilla homeenestoaineilla. Muita vaihtoehtoja ovat esimerkiksi sävyttävät pintakäsittelyt, petsaus, lakkaus ja palonsuojakäsittelyt. (19, s. 18; 20.)

Huomioitavaa pintakäsittelyä suunniteltaessa on CLT:n taipumus kosteuselämiseen ja tästä johtuvaan pinnan halkeiluun, mikä kannattaa huomioida pintakäsittelyaineiden valinnassa varsinkin sisätiloissa. Peittävilla pintakäsittelyaineilla voidaan jopa kokonaan estää kosteuden siirtyminen huoneilman ja puupinnan välillä, mikä teoriassa vähentää halkeilua. Samalla kuitenkin heikennetään puun kykyä tasata huoneilman kosteutta ja täten myös sisäilman laatua. Puun pinnan peittävilla pintakäsittelyillä mahdollinen halkeilu myös usein korostuu ja puun luontainen syykuvio peittyi. Hengittävät ja läpikuultavat pintakäsittelyaineet sallivat puun luontaisen kosteuselämisen huoneilman kosteuden mukaan ja jättävät puun luontaisen pinnan näkyviin. Hengittäviksi pintakäsittelymateriaaleiksi suositellaan esimerkiksi vahoja, jotka eivät muodosta kalvoa puun pintaan. (20; 21, s. 109.)

On havaittu, että CLT-levyn halkeamat keskittyvät pääosin pintalamellien välisiin saumoihin. CLT-levyn halkeilua voidaankin vähentää ja visuaalisuutta parantaa mikroviisteillä, eli urittamalla lamellien saumoja. Pinnan urittaminen voidaan suorittaa tuotantolinjasta riippuen valmistuksen eri vaiheissa. Emil Jansson (2015) on tutkinut diplomityössään urituksen mahdollisuuksia levyn halkeilun hallinnassa. Työssä tutkittiin pyöreän, pintaan nähden kohtisuoran sekä vinon uran vaikutuksia halkeiluun ja visuaalisuuteen. (21, s. 111-112.)

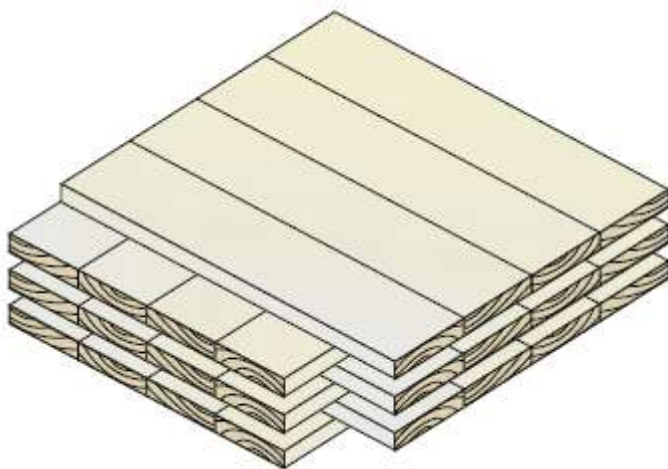
Tuloksien perusteella halkeilua pystyttiin vähentämään parhaiten pinnan suhteen vinoon työstetyllä uralla. Suoraan työstetyn uran ei havaittu vähentävän halkeilua, mutta halkeilun havaitsemisen teki vaikeammaksi halkeilun keskittyminen uran pohjalle. Pyöreän uran taas havaittiin jopa lisäävän halkeilua eikä se estänyt halkeaman havaitsemistakaan suoran uran tavoin, joten tätä uritusvaihtoehtoa ei voida suositella. Koska eri valmistajat suorittavat erityyppisiä urituksia vaihtelevasti, tulee tilaajan aina varmistua mahdollisuudesta haluamiinsa urituksiin. Pintakäsittelyä tehtäessä uritetulle pinnalle tulee huomioida käsittelyn toteutustapa, jotta vältetään urien tukkeutumiselta. (21, s. 111-112.)

4 CLT:N OMINAISUUDET

CLT:n ominaisuuksia tutkittaessa on huomioitava, että tekniset ja rakenteelliset ominaisuudet ovat aina valmistajakohtaisia, sillä CLT:lle ei kirjoittamishetkellä ole olemassa eurooppalaista harmonisoitua tuotestandardia. Levyt voidaan kuitenkin CE-merkitä eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan. Luvuissa 4.1–4.7 käsitellään CLT:n yleisiä ominaisuuksia, valmistajakohtaisista ominaisuuksista tulee aina varmistua erikseen. Esimerkiksi levyjen vakio- ja maksimitat sekä visuaaliset seikat voivat vaihdella huomattavasti eri valmistajien välillä. (12.)

4.1 Rakenne ja lujuusominaisuudet

CLT:n rakenne koostuu vähintään kolmesta eri lamellikerroksesta, jotka on ladottu toisiinsa nähden ristiin, tavallisesti kohtisuoraan toisiinsa nähden. Tavallisesti lamellit valmistetaan lujuusluokkaan C24 lajitellusta sahatavarasta, muut lujuusluokat tulee tilata valmistajalta erikseen. Kerrosrakenteen sekä ristiinliimauksen johdosta CLT:llä on hyvin muotopysyvä, jäykkä sekä molempiin suuntiin kantava rakenne. Kuvassa 4 on havainnollistettu kuusikerroksisen CLT-levyn rakennetta. Lamellien kerroksia on tavallisesti pariton määrä ja uloimmat lamellikerrokset suunnataan levyn käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi kantavassa seinärakenteessa uloimmat lamellikerrokset suunnitellaan kuorman suuntaisesti vertikaalisiksi sekä kantavassa välipohjassa suurimman jännemitan suuntaiseksi. (11, s. 17; 22.)



KUVA 4. CLT-levyn rakenne (11, s. 20)

CLT-levyn suurimmat maksimitat ovat valmistajasta riippuen pituuden suhteen 12–20 m, paksuuden suhteen 300–500 mm sekä leveyden suhteen 2 900–3 200 mm. Maksimitoihin vaikuttavat olennaisesti myös kuljetuksen tuomat rajoitteet, joita on käsitelty luvussa 5.5. Kantavan välipohjan suurimman mahdollisen jännemitan määräävinä tekijöinä ovat tavallisesti värähtelymitoituksen tuomat rajoitukset. (22; 23.)

CLT:n ristiinkantavuuden ja massiivirakenteen ansiosta levyn jäykkyys on erittäin hyvä, joten se soveltuu hyvin rakennusten runkomateriaaliksi toimien kantavan rakenteen ohella jäykistävänä rakenneosana. Rakenteen johdosta myös kuormat jakautuvat kahden suuntaan samaan tapaan kuin teräsbetonirakenteissa. Etuna betoniin verrattuna on CLT:n huomattavasti pienempi ominaispaino, joka on noin viidenneksen betonin ominaispainosta. CLT:n ominaispainona käytetään tavallisesti arvoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. (24.)

Pienemmän ominaispainonsa ansiosta myös rakennuksen perustusten mitoituksessa voidaan säästää joskus huomattavastikin. Suurin säästö saadaan silloin kun rakennuksen pienemmän kokonaispainon avulla rakennus päädytään perustamaan esimerkiksi paaluperustuksen sijasta pintaperustuksella. (24.)

CLT:n muotopysyvyydestä kertoo esimerkiksi Riku Varosen opinnäytetyö vuodelta 2017. Varonen käsitteli opinnäytetyössään CLT-rakenteisen puukerrostalon painumia. Painumiksi saatiin kuusikerroksisessa kohteessa noin 1 mm/kerros, josta kuitenkin arviolta 80 % koostui kerrosten välisen elastisen tärinäeristelevyn painumisesta. CLT:n osuudeksi painumisesta jäi noin 0,2 mm/kerros. Mittaus- ja laskentatulosten perusteella voidaan näin todeta, että CLT:n painumat kerrostalorakentamisessa ovat hyvin vähäiset. (25, s. 36.)

CLT:tä voidaan myös helposti yhdistää muihin rakennusmateriaaleihin. Esimerkiksi välipohjissa riittävän jännemitan toteuttamiseksi voidaan käyttää yhdistettyä CLT-betoniliittorakennetta, jolloin vetopuolella käytetään CLT:tä ja puristuspuolella betonia. Näin hyödynnetään CLT:n hyvä vetolujuus sekä betonin hyvä puristuslujuus. Välipohjan mitoituksessa usein määrääväksi tekijäksi nousevaa värähtelyä voidaan myös tehokkaasti ehkäistä käyttämällä CLT-betoniliittorakennetta. Myös askelääneneristävyttä saadaan parannettua käyttämällä betonia välipohjan massaa lisäävänä materiaalina. (26; 27, s. 41.)

CLT-rakenteiden mitoittamiseen ja lujuuslaskentaan ei kirjoittamishetkellä ole olemassa yhtenäistä mitoitusohjetta, sillä CLT eroaa ristiinlaminointinsa takia yhtenäisestä täyspuurakenteesta sekä esimerkiksi liimapuusta. CLT-rakenteiden mitoituksessa tulee kuitenkin noudattaa niihin soveltuvia euronormeja. Useat CLT-valmistajat ovat myös laatineet laajalti valmiita mitoitustaulukkoja sekä suunnitteluohjeita, joita voi käyttää apuna rakenteiden esisuunnittelussa sekä mitoituksessa. (24; 28; 29, s. 15-16.)

4.2 Kosteusteknisyys ja halkeilu

Puu on hygroskooppinen materiaali, minkä takia se pyrkii kosteutta vastaanottamalla ja luovuttamalla pääsemään tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Tästä ilmiöstä johtuen puu tasaa huoneilman kosteutta, mikä koetaan parempana sisäilman laatuna. Tämä myös vähentää koneellisen ilmanvaihdon tarvetta ja näin energiankulutusta. Esimerkiksi VTT:n toteuttamassa tutkimushankkeessa vuodelta 2001 havaittiin, että makuuhuoneessa puupinnat tasaavat vuorokausivaihtelun aiheuttamia ilmankosteuden muutoksia. Tutkimuksessa haitallinen ilmankosteuden pitoisuus ylitettiin huomattavasti harvemmin kuin vertailutapauksessa, jossa pinnat oli käsitelty vesihöyryä läpäisemättömiksi. Samoin haitallisen kuiva ilmankosteus saavutettiin harvemmin puupintojen ollessa kosteuksissa huoneilman kanssa. (30, s. 6-8; 31.)

Hygroskooppisuuden aiheuttama kosteuspitoisuuden vaihtelu aiheuttaa myös CLT:ssä muodonmuutoksia, jotka ovat kuitenkin varsinkin syiden suunnassa varsin vähäisiä. Esimerkiksi Stora Enso ilmoittaa levyjensä muodonmuutokseksi syiden suunnassa 0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden. Vastaava arvo syitä vastaan kohtisuorassa on 0,24 %. Muodonmuutokset ovat tavallisella sahatavaralla samaa suuruusluokkaa, mutta paksuuden ohella myös leveyden muodonmuutos on 0,24 % yhden kosteusprosentin muutosta kohti. Ristiinliimatun rakenteensa ansiosta CLT-levyn etu tavalliseen puutavaraan verrattuna onkin se, että muodonmuutos on sekä levyn pituus- että leveys-suunnassa syysuunnan mukainen 0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden. (22; 32, s. 4.)

Puun kosteuseläminen aiheuttaa puuhun sisäisiä jännityksiä, mikä näkyy sahatavarassa esimerkiksi halkeiluna sekä kieroutumisena. Kuusi, josta Suomessa valmistettu CLT tavallisesti laminoidaan, reagoi kuitenkin ympäristönsä kosteuden vaihteluihin mäntyä hitaammin johtuen kuusen suljetummasta solurakenteesta. CLT:llä ei rakenteensa ansiosta

ole taipumusta vääntymiseen, mutta varsinkin pintalamellien halkeilua sekä lamellien välistä rakoilua tapahtuu. Oikein valittu ja suoritettu sahatavaran kuivausmenettely sekä huolellinen kuivaketjun noudattaminen kuljetuksen ja asentamisen aikana vähentävät näitä haittoja huomattavasti. CLT:n halkeilun hallintaa urittamalla on käsitelty luvussa 3.4. (33, s. 2.)

4.3 Lämpötekniikka ja ilmatiiveys

CLT:n lämpötekniisiä ominaisuuksia voidaan verrata puuhun. Puuaineksen huokoisuuden takia sen lämmönjohtavuus on melko huono, jolloin vastaavasti lämmönläpäisykerroin puulla on verrattain hyvä. CLT:n lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo, ilmoitetaan valmistajasta riippuen 0,11–0,13 W/mK. Stora Enson valmistaman CLT:n lämmönläpäisykerroin on tutkimuksin varmistettu 0,11 W/mK. Lämmönläpäisykerroin on hieman pienempi kuin esimerkiksi männyllä, jota voidaan selittää CLT:n tiiviillä rakenteella. (34; 35.)

CLT:n lämpökapasiteetiksi, eli kyvyksi varastoida lämpöä lämpötilan muuttuessa, ilmoitetaan 1 600 J/kgK. Tämä vastaa keskimäärin puun lämpökapasiteettia, joka vaihtelee kosteuden, tiheyden ja lämpötilan mukaan. CLT siis varaa ja luovuttaa tehokkaasti lämpöä ja tasaa näin myös huonetilan lämpötilan vaihteluita. (34; 35.)

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta säädetään rakennusosien suurimmat sallitut lämmönläpäisykerroin. Esimerkiksi ulkoseinällä tämä arvo on 0,17 W/m²K ja yläpohjalla 0,09 W/m²K. Vaikka CLT:llä onkin melko alhainen lämmönjohtavuuskyky, pelkällä CLT-massiivirakenteella ei voida järkevästi toteuttaa esimerkiksi ulkoseinän lämmöneristävyysvaatimuksia, sillä tällöin seinän tulisi olla noin 600 mm paksu (36, s. 19). Tämän takia CLT-rakenteinen ulkoseinä tavallisesti lisäeristetään. Esimerkiksi rakenteella, jossa on 100 mm paksu CLT-levy sekä 200 mm mineraalivillaeristettä, päästään laskennallisesti U-arvoon 0,17 W/m²K. Laskennassa mineraalivillan U-arvona on käytetty arvoa 0,04 W/mK. (34; 37, s. 11-12.)

CLT on erittäin tiivis materiaali johtuen vähintään kolmen lamellikerroksen muodostamasta kerrosrakenteesta. Syrjäliimaus parantaa ilmatiiveyttä entisestään. Itävaltalaisen tutkimuskeskuksen vuonna 2012 suorittamien tutkimusten mukaan Stora Enson syrjäliimattujen CLT-levyjen ilmatiiveys oli niin hyvä, että mittaustulokset jäivät mitta-asteikon ulkopuolelle. Ilmatiiveyden ansiosta CLT:llä toteutettu rakennus ei välttämättä tarvitse

erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta. CLT:n hyvä tiiveys parantaa myös rakennuksen lämmöneristävyyttä. Vaikka pelkän CLT-levyn ilmatiiveys onkin erinomainen, on kuitenkin muistettava, että koko rakenteen ilmatiiveyteen vaikuttavat myös esimerkiksi liitosten ja läpivientien toteutus. (34, s. 3.)

Lapin ammattikorkeakoulu on suorittanut Kemin CLT-koetaloon standardin SFS-EN 13892 mukaisia tiiveysmittauksia vuosina 2014–2015. Tiiveysmittausluokitukseksi saatiin luokka B arvosteluasteikon ollessa A–G. Luokituksessa A on ilmatiivein luokka. Tuloksista voidaan todeta, että rakennuksen ilmanvuotoluku on huomattavan riippuvainen läpivientien, liittyvien rakennusosien ja liitosten tiiviistä toteutuksesta. Mittaustulosten perusteella itse CLT:n todettiin muodostavan koetaloon käytännössä tiiviin ulkovaipan, sillä koetaloa kokonaisuudessaan tarkasteluna vähäiset ilmapuodot pystyttiin lämpökuvauksin paikallistamaan läpivienteihin, oviaukkojen tiivisteisiin sekä elementtien liitoskohtiin. (38, s. 23-25.)

4.4 Äänitekniisyys

Asuinrakennusten ääneneristysvaatimukset määritellään vuoden 2018 alussa voimaan tulleessa Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä. Asetus määrittelee uudisrakennuksissa pienimmäksi sallituksi äänitasoeroluvoiksi $D_{nT,w} < 55$ dB, sekä suurimmaksi askeläänitasoluvoiksi $L'_{nT,w} + C_{I, 50-2500} > 53$ dB eri asuntojen välillä. Äänitasoeroluvoilla kuvataan huonetilojen välistä ilmaääneneristävyyttä ja askeläänitasoluvoilla huonetilojen välistä askelääneneristävyyttä. Ulkovaipalle ei ole asetuksessa annettu erityisiä ääneneristävyyksivaatimuksia. (39.)

CLT:n ääneneristävyyttä voidaan pitää heikkona verrattuna esimerkiksi betoniin. Betonin ja CLT:n kaltaisissa massiivirakenteissa rakenteen massa nousee ratkaisevaksi tekijäksi ääneneristävyydessä. CLT-levyn paino on noin viidenneksen vastaavan betonirakenteen painosta, joten sen ääneneristävyys on huomattavasti heikompi. Jani Brännaren opinnäytetyössään vuonna 2012 tekemien laskelmien mukaan massiivisella, 600 mm paksulla CLT-levylläkin päästään vain 54,7 dB:n ilmaääneneristävyyteen, joka ei vielä täytä ääneneristävyyksivaatimuksia. On myös huomioitava läpivientien ja rakennusosien liitosten heikentävä vaikutus ääneneristävyyteen, kun suunnitellaan rakennuksen äänitekniikkaa. (36, s. 72; 40.)

Puurakennusten riittävän ääneneristävyyden saavuttamiseksi käytetään tavallisesti huoneistojen välisissä seinissä kaksoisrunkorakennetta. Esimerkiksi CLT-tilaelementtitekniikkaa käytettäessä tämä rakenne on helposti toteutettavissa. CLT-rakenteinen seinä on myös ilmatiivis, mikä osaltaan parantaa ilmaääneneristävyyttä. Kaksoisrakenteen väliin jätettävään ilmatilaan asennetaan tavallisesti pehmeää materiaalia, kuten mineraalivillaa, joka vaimentaa ääniaaltojen liikettä seinärakenteiden välillä. (3, s. 161-164.)

CLT:tä voidaan käyttää myös kantavana välipohjarakenteena, mutta se tarvitsee riittävän äänieristyksen takaamiseksi ympärilleen myös muita rakenteita. Välipohjissa riittävän askeläänieristyksen saavuttamiseksi käytetään tavallisesti jousirankarakenteita, välipohjan massaa lisääviä betonisia pintavalukerroksia ja alakattolevytyksiä sekä joustavan kerroksen päälle asennettuja, niin kutsuttuja kelluvia pintalattioita. Toimivien massojen väliin jätetään tavallisesti ilmatila, joka toimii ilmajousen tapaan ääniaaltoja vaimentaen. (3, s. 164-166; 40.)

Mielenkiintoinen ilmiö CLT-rakenteessa on sen taipumus aiheuttaa paukemelua. Ilmiö syntyy tavallisesti lämpötilan ja ilmankosteuden vaihdellessa, jolloin lamelleihin kosteuselämisen myötä muodostuu jännitteitä. Jännitteiden äkillisesti lauettessa lamelli tavallisesti halkeaa tai paikallisesti irtoaa liimasaumasta aiheuttaen terävän, paukahdusmaisen äänen. Ilmiö on havaittu yleisesti esimerkiksi hirsirakenteissa, mutta sitä on tietävästi tutkittu varsin vähän. Lapin ammattikorkeakoulun suorittamassa paukemelututkimuksessa Kemin CLT-koetalossa tätä ilmiötä haluttiin valottaa. (38, s. 37-38.)

Tutkimuksessa todettiin, että suurilla lämpötilan ja kosteuden muutoksilla oli merkitystä paukemelun yleisyyteen. Vastaavasti paukkeen esiintymistiheys väheni, kun olosuhteet pysyivät pitkään stabiileina. Stabiileissa olosuhteissa mittauksia tuli muutamia päivässä, mutta olosuhteiden äkillisesti muuttuessa oletettua paukemelua esiintyi kymmeniä kertoja päivässä. Mittausajanjakson alussa havaittu suuri esiintymistiheys pieneni tarkasteluajanjakson loppua kohti, mikä viittaa siihen, että kosteusolosuhteet tasoittuvat rakenteissa ajan myötä. Tuloksia analysoitaessa tulee muistaa, ettei koetalo ollut asuttu ja sen kalustus oli puutteellinen. Näin ääniä vaimentavat pinnat olivat koetalossa vähäiset, eikä tuloksia voida täysin verrata normaalisti asuttuun ja kalustettuun asuntoon. (38, s. 27, 37-38.)

4.5 Visuaalisuus

CLT:n pinnan visuaalisuutta ja laatuluokitusta on tarkoituksenmukaista tarkastella sen valmistukseen käytettävän sahatavaran kannalta. Rakenteelliseen käyttöön tarkoitettun CLT:n valmistukseen käytettävä sahatavara tulee aina lujuuslajitella. Lujuuslajittelu voidaan suorittaa koneellisesti esimerkiksi mekaanisin taivutuskokein sekä röntgen- tai ultraäänimittauksin. Lujuuslajittelu voidaan tehdä myös visuaalisesti tarkastelemalla silmämääräisesti erityisesti oksien määrää, kokoa ja sijaintia. Muita lajitteluun vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi vääryys, lenkous, lahous sekä muut lujuuteen vaikuttavat viat. (32, s. 4.)

Sahatavaran laatuluokitus tehdään vain visuaalisin perustein joko silmämääräisesti tai koneellisesti, sillä ulkonäkö ratkaisee laatuluokan. Laatuluokittelussa tarkastellaan pääosin samoja asioita kuin visuaalisessa lujuuslajittelussa oksien ollessa oleellisimpina tekijöinä laadun arvioinnissa. Pohjoismaissa on yhteneväiset sahatavaran lajitteluohjeet, joiden mukaan havupuusahatavara lajitellaan laatuluokkiin US, V, VI sekä VII. Luokat ovat paremmuusjärjestyksessä luokan US ollessa visuaalisesti laadukkain luokka. Laatuluokkia voidaan myös yhdistää tilaajan toiveiden mukaan. Esimerkiksi kuusisahatavaara lajitellaan myös luokkaan ST, joka on yhdistelmä laatuluokkien US sekä V sahatavarasta. CLT voidaan valmistaa joko suoraan näiden laatuluokkien mukaan luokitellusta sahatavarasta, tai se voidaan lajitella tehtaalla vielä erikseen halutulla tavalla. (32, s. 9-10.)

Eri CLT-valmistajat luokittelevat tuotteensa pinnanlaadullisesti omiin luokkiinsa eri kriteerein. Hankintavaiheessa tilaajan on syytä tutustua huolellisesti näihin luokituksiin ja kriteereihin, jotta halutusta laadusta ollaan yhteisymmärryksessä valmistajan kanssa eikä ristiriitatilanteita pääse syntymään myöhemmässä vaiheessa. CLT:n pinta luokitellaan tavallisesti vähintään kahteen visuaaliseen luokkaan, näkyvään sekä ei-näkyvään pinnanlaatuun. Kuvassa 5 on esitetty Stora Enson valmistaman CLT:n pinnanlaadun luokitukset. Stora Ensolla on kuvan mukaisesti kolme laatuluokkaa: näkyvä pinta, teollinen näkyvä pinta sekä ei-näkyvä pinta. Liitteessä 1 on esitetty näiden laatuluokkien kriteerit. (41.)



KUVA 5. Stora Enson esimerkkiotokset eri pinnanlaaduista (41)

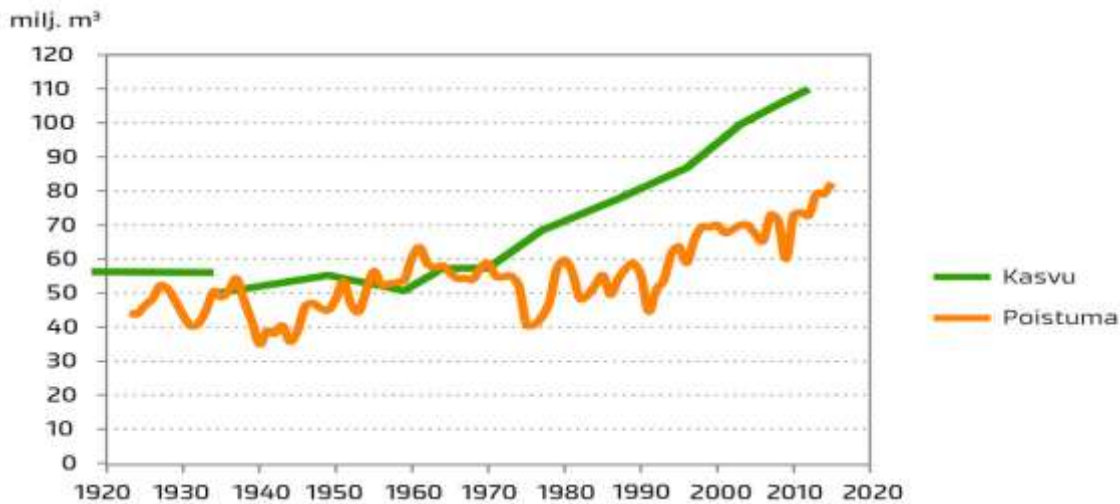
Yksi suurimmista visuaalisista tekijöistä CLT:n pinnanlaadun luokittelussa on tavallisesti kosteuselämisen aiheuttama pinnan halkeilu sekä lamellien välinen rakoilu. Näitä seikkoja on käsitelty aiemmin luvuissa 3.4 sekä 4.2. Muita huomioitavia tekijöitä ovat esimerkiksi erilaatuiset oksat, sydänjuovat, värivirheet, korot ja rosot, pihkataskut, lamellien suurimmat sallitut leveydet sekä sallitut työstötavat ja hiontakarkeudet. Karkeahionta suoritetaan tavallisesti karkeudella P60 sekä hienohionta karkeudella P100. Pinnan viimeistely ja pintakäsittely voidaan tehdä valmistajasta riippuen myös työmaalla asennuksen jälkeen. (23; 41.)

4.6 Ekologisuus ja hiilijalanjälki

Rakentamisen merkitys ympäristöön ja hiilidioksidipäästöihin on merkittävä. Rakentaminen kuluttaa Euroopassa enemmän raaka-aineita kuin mikään muu teollisuuden ala. Rakentaminen ja rakennusten purkaminen tuottaa lisäksi noin 40–50 % jätteiden määrästä. Euroopassa valtaosa rakentamiseen käytetyistä raaka-aineista on uusiutumattomia puun osuuden ollessa noin 4 %. Vaikka Suomessa puun käytön osuus rakentamisessa on huomattavasti suurempi, noin 40 %, aiheuttaa silti sementin ja teräksen valmistaminen yli 90 % rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Kokonaisuudessaan rakennustuotteiden valmistuksen osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä ja energiankulutuksesta on noin 5–12 %. Rakennusten käytön osuus energiankulutuksesta on noin 39 % ja hiilidioksidipäästöistä 30 %. (10.)

Suomessa voitaisiin lisätä merkittävästi puun käyttöä rakentamisessa. Suomen metsissä puuston poistuma jää huomattavasti pienemmäksi kuin vuosittainen kasvu (kuva 6). Suomen metsissä kasvaa alle kymmenessä tunnissa puumäärä, joka tarvittaisiin, jos koko Suomen vuotuinen asuntotuotanto rakennettaisiin kokonaan puusta. Myös hiilivarasto, joka tällä hetkellä Suomen metsistä poistuu vuosittaisiin rakentamistarpeisiin viedyn puun

mukana, kasvaa noin päivässä takaisin. Suomalaisia metsiä hoidetaan kestävästi, sillä talouskäytössä olevista metsistä 95 % on PEFC-sertifioitu (42). (10.)



KUVA 6. Puuston vuosittainen kasvu ja poistuma (43)

Puutuotteista voidaan puhua hiilivarastoina. Puu hyödyntää kasvaessaan hiilidioksidia, jolloin hiiltä varastoituu puuhun. Keskimäärin puu sitoo ilman hiilidioksidia noin 1 000 kg jokaista kasvamaansa kuutiometriä kohden. Kun puuta korjataan ja valmistetaan rakennustarpeiksi, säilyy sen hiilivarasto materiaalin käyttöajan ajan ja uusi puusto alkaa varastoida hiiltä. (44.)

Puutavaran käyttöikä vaihtelee käyttökohteittain, mutta esimerkiksi CLT:tä käytettäessä rakennuksen runkomateriaalina sen käyttöikä on keskimäärin 75 vuotta. Rakenteen käyttöajan tullessa täyteen puu voidaan joissain tapauksissa kierrättää, mutta poltettaessa sen sisältämä hiilidioksidi palautuu luontoon. Toisaalta puuta voidaan poltettaessa käyttää energianlähteenä korvaamaan fossiilisia polttoaineita, joiden poltosta vapautuisi huomattavasti enemmän hiilidioksidia. Tällöinkin ehkäistään merkittäviä määriä hiilidioksidipäästöjä. Samoin korvaamalla puutuotteilla rakennusmateriaaleja, joiden valmistamisessa vapautuu huomattavia määriä hiilidioksidia, vähennetään kokonaisuudessaan kaikkein tehokkaimmin hiilidioksidipäästöjä. (44; 11, s. 480-481.)

Eri rakennusmateriaalien ilmastovaikutuksista on tehty maailmalla lukuisia tutkimuksia. Aiheesta 2000-luvulla tehtyjä tutkimuksia on vertaillut esimerkiksi Matti Kuittinen vuonna 2014 julkaistussa selvityksessä. Selvityksessä käsiteltävissä tutkimuksissa on vertailtu

eri runkomateriaalien vaikutuksia rakennuksen ilmastovaikutuksiin. Vertailussa keskityttiin lähinnä kasvihuonekaasupäästöihin sekä primäärienergian tarpeisiin. Tutkimukset on tehty eri tavoittein ja eri olosuhteissa perustumatta välttämättä standardien mukaisiin rakennustuotteiden ympäristöselosteisiin, joten niiden suora vertailu keskenään on haasteellista. Laskentatavasta riippumatta voidaan kuitenkin kiistatta todeta puurunkoisten rakennusten ilmastovaikutusten olevan pienimmät verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. (45, s. 4-5, 9.)

CLT:n valmistuksen hiilijalanjälki on esimerkiksi betoniin verrattuna vähäinen. Esimerkiksi Lontoon Bridport-kerrostalohankkeessa vuonna 2013 vertailtiin betonirungon ja CLT-rungon kasvihuonekaasupäästöjä materiaalien valmistusvaiheessa. CLT-rungon päästöt olivat noin 23 % vastaavan betonirungon päästöistä. Lontoon Murray Grove -kerrostalohankkeessa vuonna 2011 taas laskettiin, että CLT-rakenteisena toteutettu runko varastoisi hiiltä noin 188 tonnia, kun taas vastaavan betonirungon valmistus tuottaisi noin 124 tonnia fossiilisia hiilipäästöjä. On kuitenkin huomioitava, että vaikka tutkimusten valossa CLT:n valmistuksen ekologiset edut muihin materiaaleihin verrattuna ovat selkeät, tulisi rakennusmateriaalin ympäristövaikutuksia laskettaessa aina huomioida rakentamisen ja rakennuksen koko elinkaari. (45, s. 12-13.)

CLT:tä ei voida ekologiselta kannalta rinnastaa suoraan puuhun, sillä CLT:n laminointiin käytetyillä erityyppisillä liimoilla on omat ympäristövaikutuksensa. Nämä vaikutukset ovat tosin verrattain vähäisiä puun muihin ekologisiin etuihin verrattuna. Biopohjaisia, ekologisempia liimoja on tulossa markkinoille, mutta tässä vaiheessa niiden lujuusominaisuudet eivät vielä riitä CLT:n valmistukseen. (46, s.27.)

Lisäksi CLT:n valmistuksessa syntyy usein merkittävä määrä hukkaan menevää materiaalia massiivirakenteeseen suoritettavien työstöjen takia. Tätä voidaan tehokkaasti ehkäistä huolellisella suunnittelulla. Tavallisesti hukkamateriaali poltetaan, mutta esimerkiksi ikkuna- ja oviaukoista leikattujen, isokokoisten CLT-palojen sormijatkaminen on mahdollista. Hukkapaloista on myös mahdollista valmistaa esimerkiksi lastulevyjä tai puukuitutuotteita. (46, s. 28-29; 16, s. 17.)

4.7 Terveysvaikutukset

Puun terveysvaikutuksista on tehty lukuisia tutkimuksia. Tutkimusten mukaan rakennusmateriaalina puuhun reagoidaan myönteisesti sekä fysiologisesti että psykologisesti. Puu

koetaan lämpimänä, kodikkaana ja rauhoittavana. Puun käyttö sisätiloissa voi jopa auttaa vähentämään elimistön stressitasoja, nukkumaan paremmin ja parantamaan sosiaalista kanssakäymistä. Myös kouluissa on havaittu puun suotuisia psykologisia vaikutuksia oppilaisiin. Merkillepantavaa on, ettei samanlaisia vaikutuksia ole voitu osoittaa puuta jäljittelevillä materiaaleilla. On kuitenkin huomioitava, että vaikka tutkimuksissa on saatu selviä viitteitä edellä mainituista vaikutuksista, on monissa toteutetuissa tutkimuksissa ollut puutteita esimerkiksi tutkimusasetelmissa ja koehenkilöiden valinnoissa. Puun fysiologisista ja psykologisista vaikutuksista tarvitaankin lisätutkimuksia näiden tulosten varmistamiseksi. (47; 48, s. 6.)

Tiina-Vailio Kaila on selvittänyt vuonna 2017 julkaistussa väitöskirjassaan puun antibakteerisia ominaisuuksia, jotka tutkimustulosten mukaan ovat merkittäviä ja saattavat vähentää pintojen kautta tapahtuvan kontaminaation todennäköisyyttä. Puun antibakteerisuuden todettiin johtuvan useista eri puun sisältämistä aineista ja tehoavan useisiin eri bakteereihin. Erityisesti männyn, mutta myös kuusen, uuteaineiden todettiin ehkäisevän useiden tautia aiheuttavien bakteereiden kasvua. Puupinnan todettiin olevan antibakteerinen myös silloin, kun uuteaineet oli poistettu, vaikka vaikutus heikkenikin. Myös puusta haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä (VOC) havaittiin antibakteerisia ominaisuuksia. (49, s. 6.)

FBInnovations testasi vuonna 2012 viiden eri CLT-kappaleen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjä, mukaan lukien formaldehydin ja asetaldehydinin päästöjä. Koe-kappaleet olivat vaihtelevan paksuisia ja sisälsivät vaihtelevan määrän liimasaumojia. Tutkimuksessa havaittujen VOC-pitoisuuksien todettiin olevan pääasiassa puusta luontaisesti haihtuvia päästöjä eikä liimasaumojen määrän havaittu korreloivan päästöjen suuruuteen. Mitkään mitatut päästöt eivät ylittäneet tiukimpiakaan raja-arvoja, eikä niiden voitu katsoa vaikuttavan sisäilman laatuun heikentävästi. On kuitenkin huomioitava, että koe-kappaleisiin käytetty CLT oli valmistettu kanadalaisista puulajeista polyuretaaniliimoja käyttäen. VOC-päästöjen ollessa vahvasti käytetystä puulajista ja liimatyypeistä riippuvaisia ei tuloksia voida yleistää koskemaan kaikkia CLT-tuotteita. (11, s. 456, 493.)

5 CLT-RAKENTEISET TILAELEMENTIT

Puukerrostalojen rakentamisessa painotetaan yhä enemmän teollista rakentamista. Tällä hetkellä yleisesti käytetyille puukerrostalojen rakennejärjestelmille on yhtenäistä pitkälle viety esivalmistusaste sekä elementointi niin taso- kuin tilaelementeilläkin toteutettuna. (3, s. 30.)

Luvuissa 5.1–5.5 käsitellään CLT-rakenteisten tilaelementtien valmistusta, yleisimpiä rakenteita ja liitoksia sekä kuljetusta ja asennusta. Tilaelementit ovat tehtaalla valmistettuja, itsenäisiä valmiin rakennuksen lohkoja. Tilaelementit sisältävät tavallisesti vähintään valmiin lattian, seinät ja katon, mutta ne voidaan valmistaa myös tilaajan toiveiden mukaisesti esimerkiksi täysin valmiiksi asuntolohkoiksi talotekniikka ja kalusteet mukaan lukien. Tilaelementtitekniikka soveltuu erityisen hyvin kerrostalorakentamiseen, jossa samanaisten lohkojen toistuvuus on suurta. (3, s. 48.)

5.1 Valmistus ja suunnittelu

Tilaelementit valmistetaan tehtaalla kuivissa sisätiloissa vakio-olosuhteissa, jolloin saavutetaan useita merkittäviä etuja. Työmaavaiheen läpivienti on huomattavasti nopeampaa tilaelementeillä rakennettaessa, riski kosteusvaurioiden syntymiselle pienenee merkittävästi sekä laaduntarkkailu ja dokumentointi ovat vaivattomampia sekä riskittömämpiä toteuttaa hallituissa olosuhteissa. Kun laaduntarkkailu pystytään tehtaalla vakioimaan, tuotteelle saavutetaan parempi ja tasaisempi laatu. Myös materiaalihukkaa pystytään optimoimaan paremmin tehtaalla. (50.)

Esivalmistusasteen ollessa korkea korostuu myös suunnittelun merkitys. Tilaelementeillä toteutettavassa hankkeessa suunnittelijoiden yhteistoiminta on tärkeässä asemassa ja myös tilaelementtisuunnittelijan on syytä olla mukana suunnittelussa hankkeen arkkitehtivaiheesta alkaen. Suunnittelutyö vaikuttaa myös oleellisesti tilaelementtien kustannuksiin. CLT-tilaelementtitekniikan uutuudesta johtuen rakenneratkaisut eivät ole vielä vaikiintuneet, mikä tuo omat haasteensa suunnitteluun. CLT:n ominaisuuksia ei ole myöskään eri valmistajien kesken vakioitu, jolloin käytetyn CLT:n ominaisuuksista tulee suunnittelussa aina varmistua. (50; 51.)

Tilaelementtien maksimimittoja rajoittavat joissain määrin tehtaan tuotannolliset syyt, mutta lähinnä kuljetuksien tuomat rajoitukset. Tilaelementit on kustannustehokasta suunnitella ja valmistaa siten, että ne voidaan mahdollisuuksien mukaan toimittaa ilman tarvetta erikoiskuljetuksille. Kuljetuksien tuomia rajoitteita on käsitelty luvussa 5.5. Rajoituksia tuovat myös itse CLT-levyjen maksimi- sekä optimimitat. Suosimalla CLT-levyjen valmistajan ilmoittamia levyjen vakiomittoja parannetaan kustannustehokkuutta. Tilaelementit tulee myös suunnitella kestävästi kuljetuksesta ja nostoista aiheutuvat kuormat. (52.)

Esimerkiksi Elementti Sampo Oy ilmoittaa elementtiensä maksimimitoiksi korkeudelle 3,4 m, leveydeksi 5,5 m sekä pituudeksi 12,0 m kuitenkin niin, että koko elementin pinta-ala on alle 46 m² (53). Celt Oy taas ilmoittaa omien tilaelementtiensä maksimimitoiksi korkeudelle 5,5 m (optimi 3,0 m), leveydelle 5,5 m (optimi 4,0 m) sekä pituudelle 12,0 m (54).

5.2 RunkoPES 2.0

Teollisen puurakentamisen ongelmana on ollut, että jokaisessa hankkeessa on käytetty omanlaisiaan rakenneratkaisuja eivätkä osaaminen ja kokemus ole siirtyneet seuraaviin hankkeisiin. Betonirakentamisessa ratkaisuna tähän ongelmaan kehitettiin jo 1960-luvun lopulla avoin Betonielementtistandardi BES, josta vielä jatkokehitettiin 1980-luvulla Runko-BES-järjestelmä käsittäen toimitila- ja teollisuusrakentamisen. Vastaava puuelementtirakentamisen standardi RunkoPES esiteltiin ensimmäistä kertaa vasta vuonna 2012 Finnish Wood Research Oy:n toimesta. Standardi on osa yhtiön laajempaa Teollisen puuelementtirakentamisen tutkimushanketta (TEPUTU). Puuelementtistandardin kehittämisen taustalla ovat olleet hyvät kokemukset betonielementtistandardista, mikä osaltaan mahdollisti 1970-luvulla ennätysmäisen asuntotuotannon. (55.)

RunkoPES 2.0 on avoin puuelementtistandardi, joka pyrkii vakioimaan puuelementtirakentamista asuntotuotannossa. Vaikka RunkoPES on kohdistettu erityisesti suurelementtituotantoon, voidaan sitä soveltaa myös tilaelementtirakentamiseen sekä pien- että kerrostalotuotannossa. Vaikka rakenteet ja detaljit mitoitetaan aina tapauskohtaisesti, antaa RunkoPES hyvät lähtökohdat suunnittelulle jo arkkitehtivaiheessa. Standardin käyttö yhtenäistää eri valmistajien käyttämiä rakenneratkaisuja, jolloin suunnittelussa ei vielä ole tarpeellista ottaa kantaa elementtien valmistajaan. Standardi mahdollistaa näin myös eri

elementtivalmistajien ratkaisujen yhdistelemisen. Standardi pyrkii vakioimaan rakenneratkaisuja, eikä se rajoita arkkitehdin suunnitteluvapautta eikä yksityiskohtien muokkaamista ja kehittämistä. (55.)

RunkoPES 2.0 sisältää 12 eri osaa mukaan lukien rakennetyyppi- sekä liittymädetaljikirjaston, joiden tavoitteena on ohjeistaa suunnittelijoita, rakennusliikkeitä sekä rakennuttajia puukerrostalon suunnittelussa ja toteutuksessa. Kirjastot käsittävät laajan kokoelman esimerkkirakenteita sekä liitostekniikoita selventäen niiden olennaisimmat tehtävät ja vaatimukset Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimusten mukaisesti. Rakennetyypit ja liittymädetaljit on laadittu paloteknisiltä ominaisuuksiltaan täyttämään RakMK:n osan E1 taulukkomitoituksen vaatimukset P2-luokan asuinkerrostaloissa. Rakennetyypikirjasto antaa myös suositukset rakenteiden vakiopaksumuksille ja esittää keinot suoja-verhousvaatimusten toteuttamiseen. Kirjastojen vakioituja rakenteita, rakennepaksumuksia sekä suurimpia sallittuja jännemittoja käyttämällä suunnittelutyö selkeytyy ja helpottuu jo arkkitehtivaiheessa. (56; 57.)

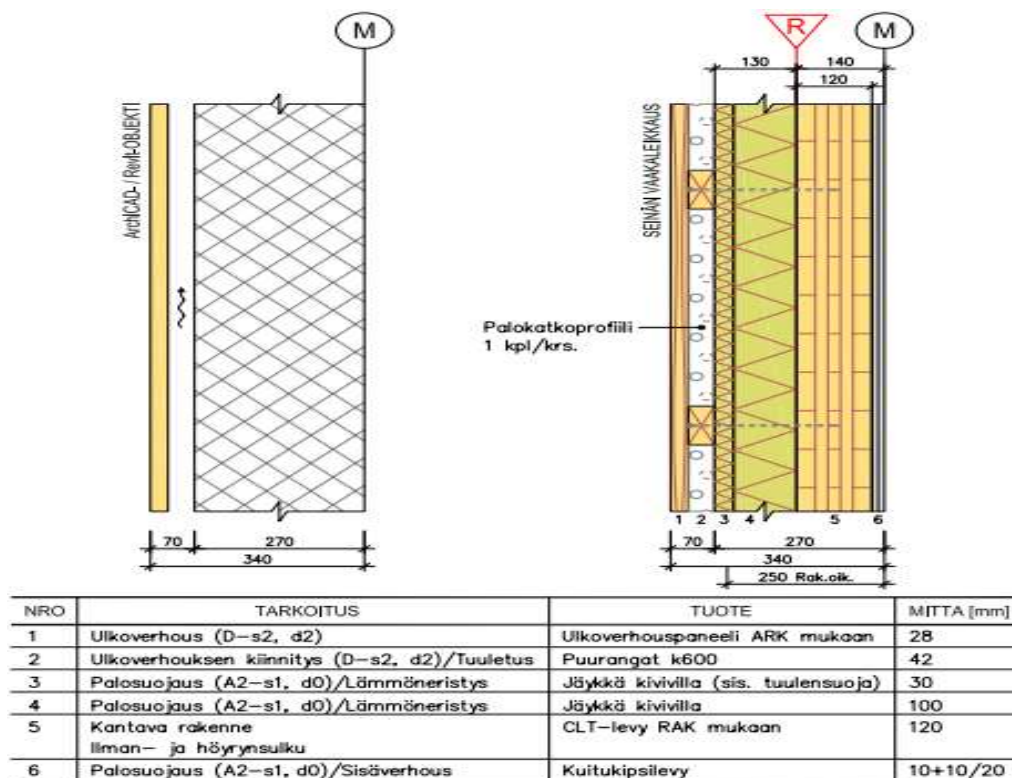
5.3 Rakenteet

Luvussa 5.3 käsitellään CLT-tilaelementtirakentamisessa tyypillisiä rakenneratkaisuja sekä niiden suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttavia seikkoja. Jokaiseen osioon on valittu yksi esimerkkirakenne, jolla kyseinen rakennusosa voidaan toteuttaa. Rakenteet on mitoitettu R60-palonkestoajalle, ja kaikkia esitettyjä esimerkkirakenteita voidaan hyödyntää enintään kahdeksankerroksisissa kerrostaloissa.

Ulkoseinät

CLT toimii seinärakenteissa sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena, jolloin erillistä jäykistystä ei tarvita. Levyn kerrosleveys ja paksuus määräytyvät lähinnä kantavuuden sekä palonkestovaatimusten mukaan. Tavallisesti myöskään erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta ei levytyypistä riippuen tarvita. Levymäinen rakenne myös vähentää liitosten määrää ja parantaa näin ilmatiivyyttä. CLT-levyillä saavutettava yhtenäinen vaipparakenne vähentää myös määrällisesti kylmäsiltoja, joihin kosteus tavallisesti tiivistyy, ja varmistaa näin rakenteen kosteusteknistä toimintaa. (3, s. 44; 38, s. 14.)

CLT-runkoisessa ulkoseinärakenteessa eristekerros sijoitetaan aina kantavan CLT-rungon ulkopuolelle, jolloin estetään kosteuden tiivistyminen kantavan rakenteen ja eristeiden väliin. CLT toimii osaltaan myös lämmöneristeenä, joten eristekerrokseksi riittää jonkin verran ohuempi kerros kuin ranka- tai betonirunkoisessa rakenteessa. Kovat eristeet voidaan liimata suoraan levyn pintaan ja koolauspuut ruuvataan tavallisesti eristeiden läpi levyyn kiinni kuvan 7 mukaisesti. (3, s. 56.)



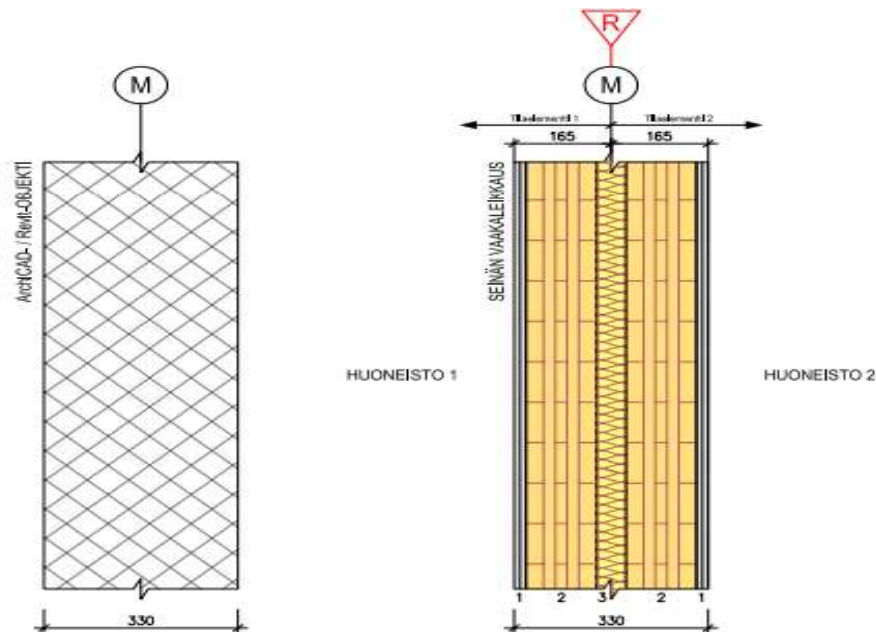
KUVA 7. CLT-rakenteinen ulkoseinä (56, s. 105)

Palomääräysten mukaan, tapauksesta riippuen, CLT-levy voidaan sisäpuolella jättää joko näkyviin tai peittää tavallisesti kipsilevytyksellä. Puu-ulkoverhousta käytettäessä tuuletusrakoon tulee asentaa kerroksittain palokatkot, kuten reikälevy, joka kuristaa tuuletusaukkoa mutta mahdollistaa silti ulkoverhouksen tuuletuksen. (3, s. 56.)

Kantava väliseinä

Tilaelementtirakentamisessa tavallisesti myös väliseinät ovat kantavia rakenteita, jotka on yksinkertaista toteuttaa CLT-tilaelementeillä. Ääneneristävyden vuoksi väliseinä rakenne vaatii tavallisesti kaksinkertaisen rakenteen, joka toteutuu tilaelementeillä usein

automaattisesti (kuva 8). Tilaelementtien väliin sijoitetaan ääneneristysyistä eriste, tavallisesti pehmeä mineraali- tai kivivilla. Palomääräysten mukaan seinät voidaan joko levyttää tai jättää CLT näkyviin. Kerrostaloissa on joissain tapauksissa mahdollista pienentää CLT:n vahvuutta ylöspäin mentäessä kantavuusvaatimusten pienentyessä. Tällöin on muistettava huomioida myös palotilanteen vaatima kestävyys. (3, s. 61.)



| NRO | TARKOITUS | TUOTE | MITTA [mm] |
|-----|-------------------------------------|---------------------|------------|
| 1* | Palosuojaus (A2-s1, d0)/Sisäverhous | Kuitukipsilevy | 10+10/20 |
| 2* | Kantava rakenne | CLT-levy RAK mukaan | 100 |
| 3 | Ääneneristys (A2-s1, d0) | Mineraalivilla | 50 |

*) Toimita myös rakenteen ääniteknisenä massana

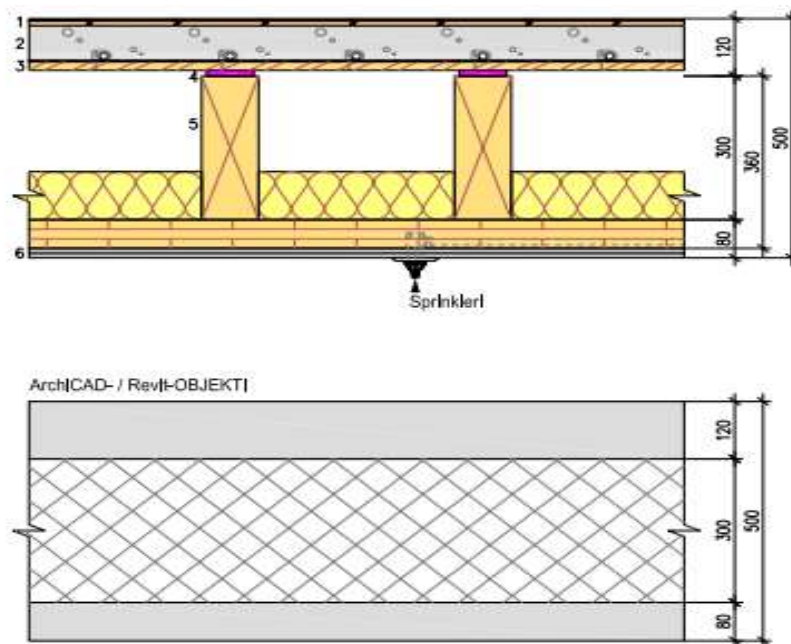
KUVA 8. CLT-rakenteinen kantava väliseinä (56 s. 138)

Välipohja

Puisia, kantavia vaakarakenteita suunniteltaessa rajoittavia seikkoja ovat tavallisesti taipuma sekä varsinkin värähtely, jonka kriteerit Suomessa ovat tiukat. Puukerrostaloissa kerroskorkeus on tavallisesti noin 3 200 mm johtuen puisten välipohjien vaatimista suuremmista paksuuksista verrattuna betonirakenteisiin. (3, s. 62.)

CLT:tä voidaan käyttää myös välipohjissa kantavana rakenteena, mutta tavallisesti tämän ratkaisun vaatima massiivinen CLT-levy varsinkin pitkillä jänneväleillä tekee rakenteesta hintavan. Ääneneristyksen vuoksi pelkkä CLT tarvitsee myös tuekseen muitakin raken-

teita. Tavallista onkin toteuttaa CLT-välipohja kuvan 9 mukaisesti ripalaattana, jolloin kantavana rakenteena toimivat esimerkiksi LVL- tai liimapuupalkit. Rakenteen väliin jää ilmajousena toimiva ilmatila, johon asennetaan samoin ääneneristävyyden vuoksi kerros pehmeää mineraalivillaa. Ilmatila on myös luonteva asennuspaikka talotekniikan vaatimille asennuksille. Välipohjan alapinnassa voidaan käyttää esimerkiksi CLT-levyä tai kipsilevytystä, jonka ääneneristävyyttä voidaan parantaa entisestään joustavalla jousirankakiinnityksellä. (3, s. 167.)



| NRO | TARKOITUS | TUOTE | MITTA [mm] |
|-----|---|---|------------|
| 1 | Lattiapinnoite | Parketti ARK mukaan | 15 |
| 2* | Palosuojaus (A2-s1, d0)/Lattialämmitys Valusuoja | Betonivalu RAK mukaan Polypropeenikangas | 75 |
| 3 | Kantava rakenne/Lämmitysputkien kiinnitys | Puulevy RAK mukaan | 18 |
| 4 | Ääneneristys | Tärinäeristimet RAK mukaan | 12 |
| 5 | Kantava rakenne (CLT-laippa*) Ääneneristys (A2-s1, d0) | Ripalaatta RAK mukaan Mineraalivilla | 360 100 |
| 6* | Palosuojaus (A2-s1, d0)/Sisäverho | Kipsilevy | 10+10/20 |

*) Toimii myös rakenteen ääniteknisenä massana

KUVA 9. Välipohjarakenne (56, s. 146)

Välipohjan pintarakenteena käytetään usein ääneneristävyyden takia kelluvia pintalattioita. Kelluvina pintalattioina voidaan käyttää esimerkiksi betonivalu-, kipsivalu- tai plaanotasoitekerrosta, johon on helppoa asentaa esimerkiksi lattialämmitys ja LVS-asennukset. Myös esimerkiksi kovan villaeristeen päälle asennetut levyrakenteet ovat toimivia ratkaisuja, joskin ääneneristävyydeltään heikompia pienemmän massansa takia. (3, s. 65.)

Välipohjissa on myös mahdollista toteuttaa CLT-betoniliittorakenteita. Liittorakenteissa betoni liitetään kiinteästi puuhun liittimillä ja raudoituksilla jolloin rakenne on yhtenäinen, toisin kuin kelluva betonilaatta. Puun ja betonin välinen liitos voidaan toteuttaa esimerkiksi puuhun työstettyihin urituksiin liimatuilla teräsverkoilla. Liittorakenne on näin betonirakennetta kevyempi mutta eristää ääntä ja kestää värähtelyä ja taipumia paremmin kuin massiivipuinen välipohja. Myös välipohjan korkeus saadaan pidettyä alhaisena. (26.)

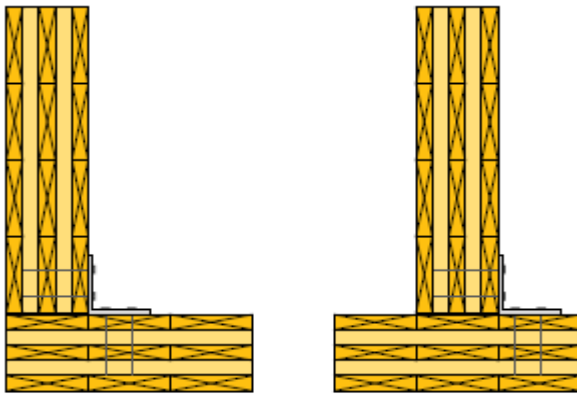
Liitokset

CLT-levyn ollessa itsessään erittäin jäykkä ja käytännössä ilmatiivis materiaali nousee liitosten merkitys jäykistyksessä ja ilmatiiveydessä merkittävään asemaan. Tilaelementtien liitosten tulee ottaa vastaan myös kuljetuksen ja asennuksen tuomat kuormitukset. Liitosten toteuttamiseen käytetään useita erityyppisiä liittimiä eri käyttötarkoituksiin, kuten puikkoliittimiä, pontituksia, metallilevyjä sekä palkkikenkiä. Liitosten toteuttamista helpottaa CLT:n helppo työstettävyys CNC-koneella, jolla liitosten edellyttämät varaukset ja pontitukset ovat vaivattomia toteuttaa. Toisaalta tämä asettaa erityisiä vaatimuksia liitosten huolelliselle suunnittelulle. Huomiota tulee myös kiinnittää liitosten mitoittamiseen ja sijoitteluun palonkestävyyden kannalta. Käytettävien liitostapojen tulisi myös olla työmaatoiminnan kannalta nopeita ja yksinkertaisesti toteutettavia. (11, s. 187.)

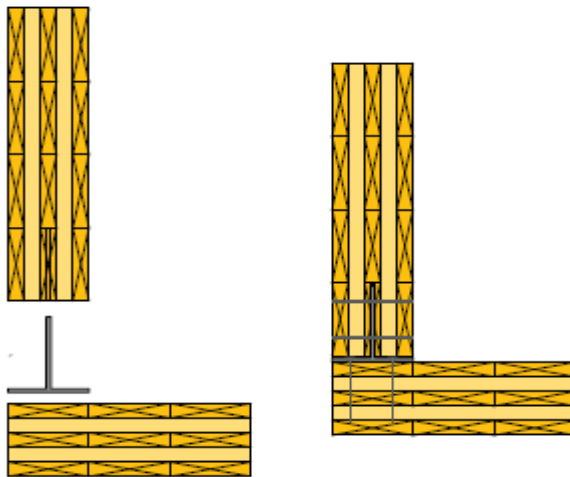
Puikkoliittimet, kuten ruuvit, pultit, vaarnat ja naulat, ovat yleisimpiä käytettyjä liitostyyppisiä. Liitoksissa voidaan käyttää joko pelkkiä puikkoliittimiä tai niitä voidaan hyödyntää yhteistoiminnassa esimerkiksi pontitusten tai metallilevyjen kanssa. Ruuvit ovat asennettavuudeltaan yksinkertaisia ja ne ottavat vastaan sekä leikkaus- että normaalivoimia. Naulat eivät ole yhtä yleisiä kuin ruuvit, sillä ne eivät ota normaalivoimaa vastaan yhtä hyvin, varsinkaan syiden suuntaisesti käytettyinä. Esimerkiksi ankkurinauloja voidaan kuitenkin hyödyntää erityyppisiä metallilevyjä kiinnitettäessä. (11, s. 189.)

CLT:n liitoksissa käytettävien puikkoliittimien mitoitus eroaa hieman tavalliseen massiivipuuhun käytettävistä liittimistä laminoidun rakenteensa takia. CLT:n lamellien välissä voi olla joko kuivumisen aiheuttamia rakoja tai lamelleihin on voitu tarkoituksella leikata uria kosteuselämisen ja halkeilun hallitsemiseksi. Nämä seikat tulee ottaa huomioon käytettäessä varsinkin ohuita puikkoliittimiä, jotka asennetaan kohtisuoraan pintaan nähden. Puikkoliittimet suositellaankin usein asennettavaksi vinoon kulmaan, jolloin saadaan lähes aina aikaan paremmat olosuhteet liitoksen toimivuudelle. (11, s. 135; 58, s. 9.)

Yhteistyössä puikkoliittimien kanssa voidaan käyttää erityyppisiä metallilevyjä sekä palkkikenkiä. Näitä liittimiä voidaan käyttää joko rakenteen ulkopuolella (kuva 10), tai ne voidaan asentaa levyihin valmiiksi CNC-koneella työstettyihin uriin (kuva 11). Rakenteen sisälle jäävä liitin on paloturvallisuuden kannalta parempi ratkaistu puurakenteen suoja- tessa liitintä palolta. Ulkopuolisia metallilevyjä käytettäessä levyyn voidaan myös työstää loveus, joka peitetään myöhemmin esimerkiksi vanerilevyllä palosuojauksen toteutta- miseksi. (58, s. 10-14.)



KUVA 10. Puskuliitos toteutettuna kulmaraudalla (11, s. 197)



KUVA 11. Puskuliitos toteutettuna piilotetulla teräslevyllä (11, s. 198)

CLT-levyjen liitokset voidaan toteuttaa suoraan puskuliitoksin, jossa pelkät liittimet ottavat liitosta kuormittavat voimat vastaan (kuvat 10 ja 11). Usein tehokkaampaa on kuitenkin työstää levyihin pontteja tai uria, jolloin levyt menevät osittain sisäkkäin tai limittäin ja

osallistuvat näin liitosten toimintaan. Välikappaleena pontissa voidaan käyttää esimerkiksi kertopuuta. Kuvassa 12 on esimerkki tällaisesta liitoksesta. Mekaanisten liittimien lisäksi liitoksissa voidaan käyttää myös liimoja, jotka samalla lisäävät liitoksen ilmatiiveyttä. Liimauksella voidaan saada aikaan jopa täysin momenttijäykkä liitos. (11, s. 191; 59, s. 12.)



KUVA 12. Ponttiliitos (11, s. 192)

Rakenteen ilmatiiveyden varmistamiseksi liitosten saumat voidaan teipata asennuksen jälkeen sauman ulkopuolelta. Itse liitoksissa käytetään yleisesti liimaantuvia saumanauhoja sekä tavallisia eristevilloja, jotka sijoitetaan liitoksien sisään liittyvien puupintojen väliin. Erityistä huomiota on kiinnitettävä tiivistysnauhojen ja eristeiden ehjänä säilymiseen asennuksien aikana. Tämän varmistamiseksi liitoksiin voidaan tehdä työstöt myös eristeille. (59, s. 12.)

5.4 Kosteudenhallinta

Tilaelementeissä CLT ei itsessään ole erityisen kosteusarka materiaali. Puun hetkellinen altistuminen kosteudelle ei ole haitallista, kunhan huolehditaan rakenteen kunnollisesta kuivumisesta tämän jälkeen. Tilaelementeissä kosteusarimmat materiaalit ovatkin kipsilevy sekä eristeet, jotka voivat helposti vahingoittua kosteudesta sekä myös varastoida kosteutta valmiiden rakenteiden sisään. (51.)

Tilaelementtitekniikan ansiosta suurin osa rakentamisesta suoritetaan sisätiloissa hallituissa ja kuivissa olosuhteissa, jolloin kosteusvaurioiden riski pienenee merkittävästi.

Puurakenteet eivät myöskään vaadi betonirakenteiden tapaan kuivumisaikoja tai asennusten jälkeisiä juotosvaluja, joten rakenteisiin mahdollisesti jäävää rakennusaikaista kosteutta ei käytännössä esiinny. Myös itse työmaavaihe on nopea, mikä vähentää kokonaistarvetta sääsuojauksille. Riskit kosteusvaurioiden synnylle sijoittuvat siis lähinnä kuljetuksiin, työmaalla varastointiin sekä pystytyksessä vaiheeseen, jolloin suojaukset elementeistä poistetaan. (3, s. 172.)

Kuljetuksien ja varastoinnin ajaksi luontevinta on pakata elementit tehtaalla muoviin, joka poistetaan vasta juuri ennen asennusta. Ulkoseinien suojaukset voidaan tosin jättää paikalleen asennuksen ajaksikin tarpeen niin vaatiessa. Työmaalle varastoitaessa elementit tulee tukea irti maasta. Asennukset ja toimitukset on järkevää tahdistaa siten, että pitkiltä varastointiajoilta työmaalla säästytään. (3, s. 173.)

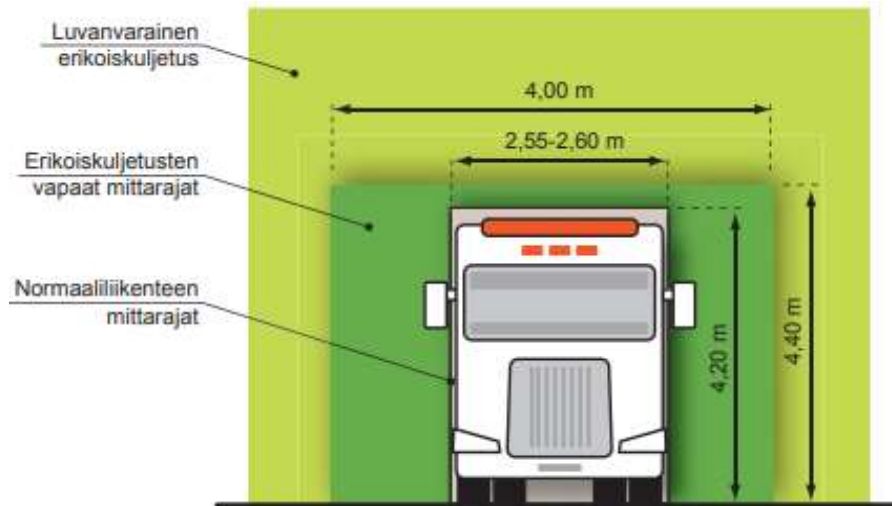
Työmaalla tehokkain tapa minimoida kosteusriskit on käyttää sääsuojana telttaa, jonka sisällä rakentaminen tapahtuu. Teltta voidaan toteuttaa nostettavaksi rakennustöiden edetessä nosturin avulla. Teltalla toteutettu sääsuojaus on Suomessa hyvin yleistä ja varsinkin puurakentamisessa hyväksi todettu ratkaisu. Telttasuojaus kuitenkin nostaa työmaakustannuksia tapauksesta riippuen merkittävästikin. (60.)

Sääsuojaus voidaan toteuttaa myös liikuteltavilla kattoelementeillä. Kattoelementit rakennetaan perustusten päälle ja nostetaan pois asennusten ajaksi. Elementit nostetaan takaisin asennusten päätyttyä tai sääolosuhteiden niin vaatiessa. Kattoelementit on suunniteltava siten, että ne kestävät toistuvista nostoista aiheutuvat kuormat. Hyviä puolia kattoelementeissä ovat yksinkertaisuus sekä kustannustehokkuus. Toisaalta taas, toisin kuin telttasuojauksessa, asennukset ovat sääolosuhteista riippuvaisia, jolloin huonolla säällä asennuksia ei voida tehdä. (61.)

5.5 Kuljetus ja asennus

Tilaelementtien kuljetukset ovat usein erikoiskuljetuksia, sillä varsinkin tilaelementin leveys tulee kuljetusrajoituksissa helposti vastaan. Erikoiskuljetuksille on kuitenkin olemassa vapaat mittarajat, joiden puitteissa ei tarvita maksullista erikoiskuljetuslupaa. Nämä mittarajat käyvät ilmi kuvasta 13. Korkeudessa tulee muistaa ottaa huomioon auton lavan tuoma lisäkorkeus. Pituuden vapaa mittaraja on lisäksi 30 m. Vapaat mittarajoituk-

set alittavissa kuljetuksissakin tulee kuitenkin noudattaa erikoiskuljetuksien merkitsemisestä ja varoitustoimenpiteistä annettuja määräyksiä. Keveytensä vuoksi CLT-tilaelementtien kuljetuksissa paino ei ole tavallisesti rajoittava tekijä. (62, s. 3-8.)



KUVA 13. Kuljetusrajoitukset ETA-alueella (62, s. 5)

Kuljetukset on tarkoituksenmukaista tahdistaa siten, että elementit voidaan asentaa suoraan kuormasta paikoilleen. Jos tämä ei ole mahdollista, on kuitenkin pyrittävä mahdollisimman lyhyeen varastointiaikaan työmaalla. Näin vältytään tilaa vievältä välivarastoinnilta ja edistetään kuivaketjun toimivuutta. Välivarastoitavat tilaelementit sijoitetaan tukevalle maaperälle paikkaan, josta ne voidaan turvallisesti nostaa asennettaessa paikoilleen. (63, s. 9.)

CLT-levyjen kiinnikkeille nostoja varten on olemassa useita eri vaihtoehtoja. Yleinen ja turvallinen tapa on koko levyn lävistävä kiinnike, joka tukeutuu levyn alapintaan. Myös ruuvattavia kiinnikkeitä käytetään. Kiinnikkeet tavallisesti poistetaan noston jälkeen, minkä jälkeen myös kiinnikkeiden aiheuttamat reiät tulee paikata. Käytännöllistä on hyödyntää kiinnikkeissä ja nostolenkeissä taipuisia teräsvaijereita, jotka nostettaessa sallivat kiertymisen ja taipumisen nostopisteen ympäri. Itse nostot kiinnikkeistä voidaan suorittaa ketteingeillä tai pehmeillä kuormaliinoilla ja niiden apuna voidaan käyttää levittämiä sekä nostopalkkeja. (11, s. 512, 522.)

Tilaelementit on käytännöllisintä nostaa ilman turhia kiinnikkeitä yksinkertaisesti tilaelementin alta kierrettävillä liinoilla, joiden molemmat päät kiinnitetään nostopalkkiin elementin yläpuolelle. Nosto suoritetaan näin kahdella kuormaliinalla nelipistenostona. Tärkeää

tämän tapaisissa nostoissa on varmistaa, että elementti nousee tasapainossa asentamisen helpottamiseksi sekä työturvallisuuden takaamiseksi. Myös sääolosuhteet tulee ottaa huomioon, sillä suuren pinta-alansa takia tilaelementti reagoi helposti tuuleen. Tilaelementin alapinnoissa tulee olla tehtynä tarvittavat työstöt, jotta nostoliinat saadaan poistettua asennuksen päätyttyä. Työstöt myös estävät liinon liukumisen sivusuunnassa noston aikana. (64, s. 23.)

Tilaelementtien nostoissa tulee noudattaa nostotöiden vaatimia työturvallisuusohjeita ja määräyksiä. Ennen asennustyön alkua tulee varmistua asennustyön vaatimista olosuhteista, erityisesti sääolosuhteista sekä asennusalueen tasaisuudesta ja mittatarkkuudesta. Lisäksi laaditaan nosto- ja asennussuunnitelmat. Nostoalueella liikkuminen estetään ja esteetön viestintä- tai näköyhteys asentajien sekä nosturin kuljettajan kesken varmistetaan. Tarkemmat ohjeistukset nosto- ja asennustyön turvalliseen ja oikeaoppiseen suorittamiseen löytyvät esimerkiksi Ratu-kortista 0425, puuelementtirakentaminen, tilaelementit. (63, s. 10.)

Nostoissa käytetään apuna ohjausköyttä ja huomioidaan erityisesti tuulen vaikutus nostoihin. Tilaelementtien kohdistamisessa paikoilleen voidaan käyttää apuna asennuskankia sekä vinssejä. Tilaelementtitekniikalla rakennettaessa toleranssit ovat erittäin tiukat, joten elementin kohdistukseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Kun elementti on kohdistettu halutulle paikalleen, kiinnitetään elementti rakennesuunnitelmien edellyttämällä tavalla. (63, s. 11.)

Tilaelementtiasennuksien jälkeen jälkitöiden määrä vaihtelee riippuen elementtien valmiusasteesta sekä rakennuksen ominaispiirteistä. Kerrostalon valmiusaste voi olla jopa 90 % tilaelementtiasennusten jälkeen. Tavallisesti ainakin elementtien liitoskohtiin jää jonkinlaisia saumoja, jotka vaativat jälkiasennuksia. Myös LVI-työt, hormitukset sekä käytävätyöt vaativat tavallisesti jonkin verran jälkitöitä. (3, s. 49.)

6 PALOTURVALLISUUS PUUKERROSTALOSSA

Puukerrostalojen yleistymiseen ovat vaikuttaneet merkittävästi uudistuneet palomääräykset, joista viimeisimmät ovat astuneet voimaan vuoden 2018 alussa. Uutuutensa vuoksi puukerrostalojen palomitoitus vaatii suunnittelijoilta suurta ammattitaitoa. Aihealueen laajuuden vuoksi vain paloturvallisuuden kannalta oleellimmat seikat on pyritty tuomaan esille luvuissa 6.1–6.4. Lisätietoja puukerrostalon palomitoituksesta löytyy esimerkiksi lähteestä 4.

6.1 Palomääräykset

Tämän hetkiset palomääräykset määritellään Ympäristöministeriön 12.12.2017 julkaisemassa ja 1.1.2018 voimaan astuneessa asetuksessa 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta. Puurakenteisten kerrostalojen kannalta uudistus laajensi yksinkertaisessa mitoituksessa puukerrostalojen käyttömahdollisuuksia, helpotti suojaamattoman massiivipuun, kuten CLT:n, käyttöä kerrostalojen sisäpinnoissa ja mahdollisti toiminnallisella palomitoituksella yli kahdeksankerroksisten kerrostalojen rakentamisen puurunkoisina. Suojaverhousvaatimusten helpottaminen puukerrostalojen sisäpinnoissa toi myös uusia arkkitehtonisia mahdollisuuksia puun käytölle. (65.)

Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa sekä näiden vaatimusten toteuttamiseen vaikuttavat tekijät on esitetty taulukossa 1. Vaatimusten lähtökohtana on, että palon syttyessä ihmiset voivat turvallisesti poistua rakennuksesta tai heidät voidaan turvallisesti pelastaa. Myös pelastushenkilökunnan turvallisuus tulee varmistaa sekä palon leviämistä muihin rakennuksiin rajoittaa. Lisäksi tulee rajoittaa palon ja savun kehittymistä ja leviämistä muualle rakennukseen. (4, s. 10; 66, s. 10.)

TAULUKKO 1. Olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden suunnittelussa (4, s. 11)

| Olennainen vaatimus | Pääasiallisia tekijöitä paloturvallisuuden suunnittelussa |
|---|---|
| Kantavilla rakenteilla tulee olla vaadittu palonkestävyys | <ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen paloluokka • Palokuormaryhmä • Rakennusosien kantavuus R |
| Palon ja savun kehittyminen ja leviäminen tulee olla rajoitettua | <ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen paloluokka • Palo-osaston koko • Rakennusosien osastoivuus EI • Sisäpuolisten pintojen luokka • Julkisivun ja parvekkeiden pintojen luokka • Katteen luokka • Suojaverhous • Sprinklaus |
| Palon leviäminen viereisiin rakennuksiin tulee rajoittaa | <ul style="list-style-type: none"> • Suojaetäisyys viereisiin rakennuksiin • Julkisivun ja parvekkeiden pintojen luokka • Katteen luokka • Palomuri • Ulkovaipan osastoivuus EI • Sprinklaus |
| Palotilanteessa henkilöiden tulee voida poistua rakennuksesta tai heidät tulee voida pelastaa muiden avustuksella | <ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen paloluokka • Henkilömäärä rakennuksessa • Rakennuksen pinta-ala • Rakennuksen korkeus • Poistumisteiden rakennusosien kantavuus R • Poistumisteiden rakennusosien osastoivuus EI • Poistumisteiden lukumäärä • Varapoistumistie • Poistumisteiden mitat • Poistumisteiden pintojen luokka • Poistumisteiden merkinnät ja valaistus • Palovaroittimet • Paloilmaisimet • Savupöisto • Ovien avautumissuunnat • Sprinklaus |
| Pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon | <ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen paloluokka • Rakennusosien kantavuus R • Rakennusosien osastoivuus EI • Pelastustiet • Sammutusreitit • Savunpoisto • Sprinklaus |

Paloturvallisuusvaatimusten todetaan täyttyvän, mikäli rakennus suunnitellaan taulukkomitoituksella paloluokkien sekä lukuarvojen avulla tai jos rakennus mitoitetaan toiminnallisella palomitoituksella perustuen oletettuun palonkehitykseen perustuen. Menetelmät ovat tasavertaisia keskenään. Toiminnallista palomitoitusta on käsitelty tarkemmin luvussa 6.3.2. (66, s. 7-8.)

Puurakenteisen asuinkerrostalon palomitoituksessa taulukkomenetelmällä määritellään rakennuksen paloluokaksi P2, jolloin kerroslukumäärä on 3–8, suurin mahdollinen korkeus 28 m sekä suurin henkilömäärä 1 000 henkilöä. Muita oleellisia paloteknisiä vaatimuksia ja rajoitteita ovat vaatimus automaattisesta sammutusjärjestelmästä, kantavan rungon vähintään 60 minuutin kantavuusvaatimus sekä enintään 12 000 m²:n kerrosala. Palo-osastointi tulee tehdä huoneistoittain. (4, s. 21.)

Yli kaksikerroksisissä asuinpuukerrostaloissa paloluokassa P2 vaaditaan käytettäväksi automaattista sammutusjärjestelmää varateiksi suunnitellut parvekkeet mukaan lukien. Vaikka rakennuksessa olisi käytetty aktiivisia palontorjuntamenetelmiä, kuten automaattista sammutusjärjestelmää, ei se tuo lievennyksiä paloluokkiin ja materiaaleihin P2-luokan puukerrostalossa taulukkomitoitusta käytettäessä. Toiminnallista palomitoitusta käytettäessä nämä seikat voidaan ottaa huomioon. (66, s. 10.)

Taulukkomitoitusta käytettäessä puuverhouksen käyttö julkisivun ulko- ja taustapinnassa sekä kiinnityskoolauksessa on tietyin rajauksin sallittua yli kaksikerroksisessa P2-luokan asuinpuukerrostalossa. Puujulkisivua käytettäessä ensimmäisen kerroksen sekä poistumis- ja varateiden ylä- ja alapuolisten julkisivumateriaalien tulee täyttää pintalaatuluokituksen B-s2, d0 -vaatimukset. Muita vaatimuksia ovat esimerkiksi paloräystä EI 30 -vaatimus, vähintään kahdeksan metrin etäisyys viereisiin rakenteisiin sekä palokatkot ulkoverhouksen tuuletusraoissa. (4, s. 50-52.)

Puun käyttö sisätiloissa P2-luokan yli kaksikerroksisessa puukerrostalossa on hyvin rajoitettua taulukkomitoituksen mukaan. Palo-osaston pinta-alasta korkeintaan 20 % saa olla suojaverhoilematonta seinä-, katto- tai lattiapintaa, jos muu palo-osaston pinta-alasta on verhoiltu suojaverhousluokan K₂ 30, A2-s1, d0 -vaatimusten mukaan. Ei-kantavat väliseinät eivät tarvitse suojaverhoilua. Jos suojaverhoilun lisäksi rakennusosat suunnitellaan palonkestoltaan REI 90 -luokkaan, voidaan suojaverhoilematonta pintaa jättää näkyviin enimmillään 80 %. Haluttaessa jättää suojaverhoilematonta pintaa näkyviin tätä enemmän, tulee rakennusosat suunnitella palonkestoluokkaan REI 120. Tavallisesti kuitenkin REI 90- ja REI 120 -luokkavaatimukset kasvattavat puurakenteisten rakennusosien paksuutta niin merkittävästi, ettei niitä ole järkevää toteuttaa. (4, s. 38-39.)

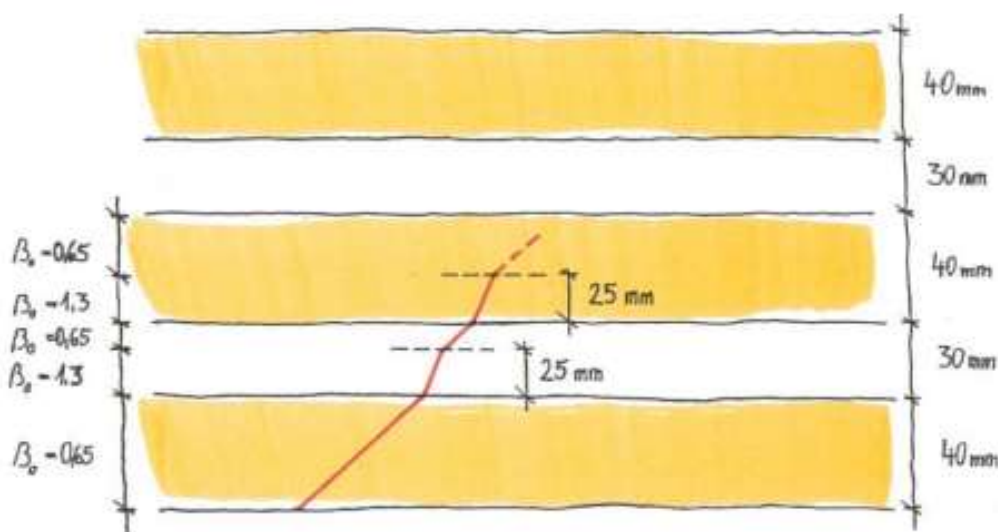
6.2 CLT:n palo-ominaisuudet

Puun palotekninen käyttäytyminen tunnetaan hyvin lukuisten tutkimusten ansiosta. Puu on palava materiaali, mutta paloturvallisuutta lisää palamista hidastava hiiltymisen. Puu syttyy noin 250–300 asteessa. Syttymislämpötilaan vaikuttaa se, kuinka kauan puu on lämmölle alttiina. Puun palaessa syntyy sen pintaan hiilikerros, joka hidastaa sen sisäosien lämpenemistä ja samalla kappaleen palamista. Hiiltymisnopeuden tunteminen eri puumateriaaleissa on ensiarvoisen tärkeää palomitoituksen kannalta. (67.)

Myös CLT:n käyttäytymien palotilanteessa tunnetaan hyvin lukuisten tutkimusten johdosta. Esimerkiksi Stora Enso on tilannut standardien mukaisen kattavan tutkimuksen CLT:n palonkestävyydestä Itävaltalaiselta Holzforschung Austria -tutkimuslaitokselta. (68.)

Liimatuissa puutuotteissa liiman tyyppi vaikuttaa palamisen ja hiiltymisen etenemiseen. Fenolipohjaisilla liimoilla liimatuissa tuotteissa, kuten liimapuu- ja LVL-tuotteissa, hiiltymämitoitus etenee samoin kuin liimaamattomassa puussa, eli se ajatellaan lineaarisiksi.

CLT:n kohdalla tilanne on hieman erilainen. CLT on useimmiten laminoitu polyuretaanipohjaisilla liimoilla. Polyuretaaniliimatuilla tuotteilla voi esiintyä lamellien irtoamista eli delaminoitumista. Delaminoituminen on havainnollistettu kuvassa 14. Ilmiö tapahtuu, kun palo saavuttaa polyuretaanisauman, jolloin hiiltyneen lamellikerroksen oletetaan kuoriutuneen pois. Hiiltyminen pääsee alkamaan seuraavassa lamellikerroksessa suuremmalla nopeudella, sillä seuraava lamellikerros on jo esilämmennyt. 25 mm hiiltemissyvyyden saavutettuaan hiiltyminen jatkuu normaalilla nopeudella. Näin hiiltyminen ei ole lineaarista, vaan hiiltemistä tapahtuu useammalla eri hiiltemisnopeudella. (4, s. 80; 68, s. 14-15.)



KUVA 14. Delaminoitumisen vaikutus hiiltemisnopeuteen vaakarakenteessa (68, s. 15)

CLT:n hiiltemisnopeus on tutkimusten mukaan noin 0,63 mm minuutissa, jos vain yksi kerros on palolle altis. Hiiltemisnopeus liimasaumassa riippuu taas levyn sijoittelusta. Palon saavuttaessa liimakerroksen katto- tai lattiarakenteeseen sijoitetussa CLT-levyssä on hiiltemisnopeus 1,3 mm/min, kunnes 25 mm:n hiiltemissyvyys saavutetaan. Vastaava luku seinärakenteessa on vain 0,86 mm/min. (4, s. 80; 68 s. 15-16.)

Palomitoituksen kannalta palosuojaamaton, kantava kolmikerroksinen CLT-levy on ongelmallinen, sillä uloimpien kerrosten palaessa pois koko rakenteen kantavuus voidaan menettää. Paksummissa, viisi- tai useampikerroksisissa CLT-rakenteissa jää useimmiten palotilanteessa vähintään kolme lamellikerrosta jäljelle, jolloin kantavuus säilytetään. Delaminoitumisen takia kolmikerroksisten CLT-rakenteiden pintalamellien tulisi olla käytännössä niin paksut, että oletetun palonkeston aikana palo ei saavuta liimasaumaa. Toinen

vaihtoehto on suojata rakenne palolta suojaverhoilulla. Myös taivutus vaikuttaa delaminoitumisen voimakkuuteen, joten varsinkin vaakarakenteet ovat pystyrakenteita herkempiä delaminoitumisen vaikutuksille. (4, s. 80, 92.)

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne osallistuvat paloon. Luokitus perustuu eurooppalaiseen standardiin EN 13501-1. Luokituksessa tarkastellaan syttymisherkkyttä, palon leviämiseen liittyviä tekijöitä sekä savun ja palavien pisaroiden tuottoa. Standardin mukaisesti CLT luokitellaan paloluokkaan D-s2, d0, pois lukien lattiarakenteet, jotka luokitellaan erilliseen paloluokkaan D_{fi}-s1. (69.)

Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokituksessa ensimmäinen kirjain kuvaa materiaalin osallistumista paloon. Palavana materiaalina luokan D mukaan CLT:n osallistuminen paloon on hyväksyttävää. Puu tuottaa palaessaan jonkin verran savua, joten savun tuoton luokka on s2, vähäinen. Viimeinen termi kuvaa materiaalin palavien pisaroiden ja osien tuottoa, joita ei puun palaessa esiinny. Luokitus on tällöin d0. Lattiarakenteen luokittelussa luokkamerkinnot ovat pääperiaatteittain samat, mutta palavien pisaroiden ja osien luokitusta ei ole. Myös paloon osallistumisen merkintä on eritelty alaindeksillä FL. (4, s. 24-25.)

CLT on kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna paloturvallinen tuote, sillä sen käyttäytyminen ja hiiltyminen palossa on ennustettavissa ja hiiltyminen suojelee sisempiä kerroksia palamiselta. Massiivinen CLT-elementti tarvitsee myös syttyäkseen huomattavan määrän lämpöenergiaa, sillä sen sisältämän kosteuden on ensin haihduttava ja pinnan lämmitettävä noin 250–300 asteen lämpötilaan. Toisaalta palosuojaamattoman CLT-levyn paksuus voi pitkällä palonkestoajoilla nousta suureksi. Puurakenteen suojaaminen palolta esimerkiksi kipsilevyillä on kuitenkin verrattain yksinkertaista. Lisäksi puukerrostalorakentamisessa vaaditaan automaattinen sammutusjärjestelmä, joka entisestään lisää paloturvallisuutta. Sammutusjärjestelmän olemassaolo ei kuitenkaan tuo helpotuksia rakenteiden mitoittamiseen taulukkomitoitusta käytettäessä. (4, s. 80; 70.)

6.3 Palomitoitus

6.3.1 Mitoitusperiaatteet

Rakennukset jaetaan paloluokkiin palomitoitusta varten. Paloluokkia ovat taulukkomitoituksessa luokat P1, P2 ja P3, joista luokka P1 on vaativin. Toiminnallisessa palomitoituksessa käytetään luokkaa P0. Taulukkomitoituksella rakennus mitoitetaan noudattaen palomääräysten mukaisia luokkia ja lukuarvoja. Luokkaa P0 ei tarvitse käyttää, jos toiminnallisella mitoituksella perustellaan vähäistä lukuarvoista poikkeavaa mitoitusta. Yli kaksikerroksiset asuinkerrostalot luokitellaan paloluokkaan P2. Jos rakennuksen eri osat halutaan mitoittaa eri paloluokille, tulee osastot erottaa toisistaan palomuurilla. (3, s. 136; 4, s. 11-12.)

Rakennuksen rungon paloteknisessä suunnittelussa tärkeimpiä tekijöitä ovat kantavan rungon ja osastoivien rakennusosien palonkestävyys, jotka mitoitetaan REI-luokkavaatimusten mukaisiksi. REI-luokkavaatimuksessa R kuvaa rakennuksen kantavuutta, E tiiviyyttä ja I eristävyyttä. Lukuarvo kirjainyhdistelmän jälkeen kuvaa palonkesto-aikaa minuutteina. Esimerkiksi merkintä REI 60 tarkoittaa, että rakenteen tulee säilyttää kantavuutensa, savukaasu- ja lämpösäteilytiiviytensä sekä lämmöneristävyytensä 60 minuutin ajan. Kantavan rungon rakennusmateriaali ei vaikuta palotilanteen perusvaatimukseen kantavuuden ja osastoinnin kannalta. Sekä kantavien että osastoivien rakennusosien palonkestävyys voidaan osoittaa Eurokoodi 5:n mukaisesti laskentamenetelmillä tai vaihtoehtoisesti standardin mukaisella polttokokeella. Polttokoe antaa usein tarkemman tuloksen kuin laskennallinen menetelmä. Menetelmien yhdistäminen on myös hyväksyttävää. (3, s. 136; 4, s. 10-12.)

Palo-osastoja rajaavat rakenteet ovat tyypillisesti rakennuksen sisäpuolisia seiniä sekä väli- ja yläpohjia. Palo-osastoinnilla rajataan palon ja savun leviämistä osastojen välillä. Näin turvataan rakennuksesta poistuminen, helpotetaan sammutus- ja pelastushenkilökunnan toimintaa sekä rajataan omaisuusvahinkoja. Kullekin palo-osastolle määritellään palonkesto-aika, jonka ajan sen tulee rajoittaa paloa ja säilyttää kantavuutensa. Osastointien suunnittelu on aina tapauskohtaista ja riippuu vahvasti rakennuksen tyypistä, käytettävistä rakennusosista ja niiden materiaaleista. (4, s. 40-41.)

Palokuorma ilmoitetaan kokonaislämpömääränä, joka syntyy tilassa olevan aineen palaessa täydellisesti. Palokuormaan kuuluvat irtaimiston lisäksi kantavat, osastoivat ja jäykistävät rakenneosat, jos ne ovat palavaa materiaalia. Rakennuksen palokuorma määritellään rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan standardien mukaisesti. Huomioitavaa laskennassa on rakennuksen mahdollinen käyttötarkoituksen muuttuminen tulevaisuudessa. Palokuorma ei ole rakennuskohtainen, vaan jokaiselle palo-osastolle voidaan määrittää oma palokuormansa. Puukerrostalon taulukkomitoituksessa palokuormaa ei tarvitse erikseen määrittää, mutta toiminnallisessa mitoituksessa se tulee aina laskea. (4, s. 13.)

Uloskäytävien tulee turvata rakennuksesta poistuminen turvallisesti ja nopeasti. Puurunkoisen rakennuksen poistumisjärjestelyihin pätevät samat reunaehdot kuin muistakin materiaaleista tehtyihin rakennuksiin. Porrashuoneet määritellään aina omiksi palo-osastoiksi, mutta kerroksittaisia osastointia porrashuoneille ei tarvitse tehdä. Varapoistumistieksi voidaan myös suunnitella ikkuna, parveke tai vastaava, jolta pelastautumisen tai pelastamisen tulee onnistua pelastushenkilökunnan toimesta tai omatoimisesti pudottautumalla tai tikkaiden avulla. P2-paloluokan asuinpuukerrostalossa varateiksi suunnitellut puurakenteiset parvekkeet tulee sprinklata. (4, s. 58.)

6.3.2 Toiminnallinen palomitoitus

Palomääräysten oletetaan aina täyttyvän, kun rakennus mitoitetaan käyttäen taulukkomitoitusta. Taulukkomitoitus kuitenkin rajoittaa monissa tapauksissa esimerkiksi puun käyttöä sisäpinnoissa, julkisivuissa ja rakennuksen rungossa. Lisäksi taulukkomenetelmää käytettäessä ei välttämättä voida ottaa huomioon kaikkia rakennuksen ominaispiirteitä, eikä se siten sovellu aina ihanteellisesti monimuotoiseen, nykyaikaiseen rakentamiseen. Tavanomaiset kerrostalot, pientalot sekä yksinkertaiset hallirakennukset voidaan kuitenkin taulukkomenetelmällä suunnitella usein riittävän tarkasti. (66, s. 8.)

Vaihtoehtona taulukkomitoitukselle on toiminnallinen palomitoitus. Toiminnallista palomitoitusta käytettäessä rakennuksen paloluokaksi määritellään P0. Toiminnallista palomitoitusta käytetään, kun halutaan kustannussyistä optimoida rakenneratkaisuja tai toteuttaa rakennus, joka ei taulukkomitoituksen avulla olisi mahdollista. Korkeat puukerrostalot ovat tästä hyvä esimerkki. Vuoden 2018 alussa uudistuneiden palomääräysten mukaan

vain toiminnallista palomitoitusta käyttäen voidaan rakentaa yli kahdeksankerroksisia puurunkoisia rakennuksia. (4, s. 14; 66, s. 7.)

Toiminnallinen mitoitusmalli pohjautuu paloturvallisuuden tutkimiseen palotapahtumaa stimuloimalla. Paloturvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän, kun rakennus suunnitellaan perustuen oletettuun palonkehitykseen kattaen rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Paloturvallisuuden suunnittelussa pätevät kuitenkin samat pääperiaatteet, jotka on esitetty taulukossa 1 (sivulla 42). Toiminnallinen mitoitusmalli ottaa huomioon passiivisten ja aktiivisten palontorjuntamenetelmien lisäksi rakennuksen yksilölliset ominaisuudet, kuten geometrian ja tilojen korkeudet. (4, s. 14; 66, s. 7.)

Haasteena toiminnallisessa palomitoituksessa on hyväksymiskriteerien määrittely, sillä jokainen rakennus mitoitetaan tapauskohtaisesti. Hyväksymisessä käytetään tavallisesti vertailuperiaatetta, jossa käytännön mitoitustuloksia verrataan saman käyttötarkoituksen rakennukseen, joka on mitoitettu taulukkomenetelmällä. (4, s. 14-15.)

6.4 Palonsuojamenetelmät

6.4.1 Passiiviset palonsuojamenetelmät

Passiivisina palonsuojamenetelminä voidaan pitää rakenteellisia menetelmiä. Luvussa 6.4.1 käsitellään näistä menetelmistä palokatkoja, suojaverhouksia ja pintakäsittelyä sekä näiden oleellisimpia toteutustapoja.

Palon leviämistä estetään ja rajoitetaan yleisesti rakennuksessa osastoivilla rakenneosilla. Osastoivat rakenneosat sisältävät kuitenkin usein varsinkin talotekniikan kannalta oleellisia läpivientejä ja epäjatkuvuuskohtia, joiden kautta palon eteneminen ja savun tuotto tulee estää. Osastoivien rakennusosien läpi johdetut läpiviennit, kuten hormit, johdot ja putket, eivät saa oleellisesti heikentää osastoivuutta. Ulkoverhouksessa ja räystäällä tuuletusraot tulee suunnitella vastaavalla periaatteella. Palokatko voidaan myös vaatia esimerkiksi rankarakenteiden tai kaksoisrunkorakenteen onteloihin, jos on mahdollista, että palo pääsee niiden kautta leviämään muihin osastoihin. Katkaisu tehdään pystysuunnassa kerroksittain sekä vaakasuuntaiset palokatkot alapuolisten osastojen mukaan. (4, s. 41-42.)

Uusien rakennushankkeiden osalta rakennukseen tulee laatia palokatkosuunnitelma. Palokatkosuunnitelmalla varmistetaan, että läpiviennit ja epäjatkuvuuskohdat on mitoitettu oikein ja että niihin voidaan asentaa tarvittavat palokatkot. Palokatkotuotteiden valmistajilta edellytetään tuotteilleen ETAG 026:n mukaista ETA-asiakirjaa, jolla ilmoitetaan palokatkotuotteen luokka ja annetaan reunaehdot asennukseen ja materiaaleille, joille asennus voidaan suorittaa. Monia näistä tuotteista ei suunnitella puurakenteille, joten käytettävien tuotteiden soveltuvuudesta puurakenteisiin tulee varmistua. ETA-asiakirjaan pohjautuvia CE-merkittyjä tai VTT:n sertifioimia palokatkotuotteita on nykyään saatavilla runsaasti lukuisilta valmistajilta eri toteutusvaihtoehtoineen. (66, s. 117.)

Tyypillisiä palokatkotuotteita ovat palonkestävät tiivistemassat, palokatkotulppaukset sekä palomansetit. Palomansetit sisältävät materiaalia, joka lämmitessään laajenee ja puristuu esimerkiksi muoviputken ympärille sulkien sen. Koska mansetti ei kykene sulkemaan metalliputkea, tulee palosuojaamattoman metalliputken ympärillä käyttää palamattomia materiaalia, kuten kivivillaeristettä. Ilmanvaihtokanavissa voidaan myös käyttää EI-luokiteltuja palopeltejä, jotka sulkevat palon kanavan sisä- ja ulkopuolelta. (4, s. 42.)

Tutkimusten perusteella on selvitetty, että ulkoverhouksessa palo etenee pääsääntöisesti verhouksen takana olevan tuuletusraon kautta, ei niinkään verhousta pitkin. Tämän vuoksi verhouksen ulkopuolelle sijoitetut palokatkot eivät toimi tehokkaasti, vaan ulkoverhouksessa suositaan tuuletusrakoon asennettuja palokatkoja. Ilmatiiwiisti toteutettu palokatko myös hidastaa palon hapensaantia savukaasujen pakkautuessa onteloihin. Ulkoverhouksen vaakasuuntaisissa palokatkoissa käytetään yleisesti tuuletusraon katkaisevia profiilipeltejä sekä esimerkiksi lämmön vaikutuksesta paisuvia tuotteita, jotka eivät normaalitilanteessa liikaa rajoita ulkoverhouksen tuuletusta. Paloräystäillä suositellaan käytettäväksi paisuvia palokatkotuotteita tuuletuksen varmistamiseksi yläpohjalle. Pystysuuntainen palokatko on järkevää toteuttaa pystykoolauksella, kunhan koolaus on toteutettu riittävän tiiviisti. Ristiinkoolauksessa joudutaan pystysuuntaisten koolauspuiden välit tukkimaan. (4, s. 42.)

Suojaverhouksella suojataan rakennetta, joka ei täytä palomääräysten mukaista palonkestävyyttä tai materiaalivaatimuksia. Suojaverhous estää alla olevan rakenteen hiiltymisen, syttymisen tai muun vaurioitumisen. Suojaverhoukset luokitellaan Suomessa taulukomenetelmän mukaan luokkiin K₂ 10 ja K₂ 30. Alaindeksi 2 tarkoittaa, että materiaali soveltuu käytettäväksi suojaverhoukseen kaikilla alustoilla. Lukuarvo luokituksen lopussa

kertoo tuotteen palonkestoajan minuutteina. Rakenne voidaan suojaverhoilla joko kokonaan vaaditulle palonkestoajalle tai vain osittain, jolloin suojattavan rakenteen tulee kestää loppuosa määritellystä palonkestoajasta suojauksen murruttua. (4, s. 35, 80.)

Tyypillinen suojaverhousmateriaali on palokipsilevy, jonka toiminta palotilanteessa perustuu kipsin sisältämän kideveden haihtumiseen, jolloin sen lämmönkehitys pysähtyy haihtumisen ajaksi noin sataan asteeseen. Palokipsilevy sisältää myös lasikuitua, joka estää suurten halkeamien syntymisen suojaten alla olevaa rakennetta. Yksinkertaisen kipsilevykartonkilevyn suojaverhousluokka on K₂ 10 ja kaksinkertaisella kipsilevyverhouksella päästään luokkaan K₂ 30, kun yhdistetään vähintään 13 mm ja 15 mm paksut kipsilevyt. Muita suojaverhousmateriaaleja ovat esimerkiksi erilaiset kivivilla- ja puulevyt. (66, s. 25-26.)

Puutuotteen, myös CLT:n, paloluokitusta ja palonkestävyyttä voidaan parantaa erilaisilla palonsuojakäsittelyillä. Puupinnan käsittelyllä voidaan korvata joissain tapauksissa suojaverhoilua, jolloin puupinta voidaan jättää näkyviin. Palonsuojakäsittelyn avulla syttyminen viivästyy, lämmöntuotto vähenee sekä palon leviäminen hidastuu. Puutuotteen luokkamerkintä on tavallisesti D, jolloin sen oletetaan selkeästi osallistuvan paloon. Palonsuojakäsittelyn avulla voidaan päästä luokkamerkkiin B, jolloin käsitellyn puutuotteen oletetaan osallistuvan paloon vain hyvin rajoitetusti. Kantavien rakenteiden mitoituksessa mitoituskäytännöt eivät kuitenkaan huomioi palonsuojakäsittelyä. (71, s. 5.)

Yleisin palonsuojamenetelmä on vaikuttaa puun pyrolyysireaktioon käytännössä vähentämällä pyrolyysituotteiden määrää ja siten tuotteesta vapautuvaa lämpöä. Pyrolyysireaktioon pohjautuvia palonsuoja-aineita ovat esimerkiksi boori- ja fosforiyhdisteet. Käsittely voidaan tehdä painekyllästyksenä mutta yleisemmin pintakäsittelynä. (72, s. 18-19.)

6.4.2 Aktiiviset palonsuojamenetelmät

Aktiivisina paloturvallisuuden parantamisen menetelminä voidaan pitää laitteita, jotka reagoivat ja aloittavat toimintansa palotilanteessa. Yleisimmät menetelmät ovat palo- ja häikäroitin, paloilmottimet ja automaattiset paloilmottimet, savunpoistolaitteet poistumisteiden turvaamiseksi sekä automaattiset sammutusjärjestelmät. Automaattisia sammutusjärjestelmiä ovat perinteiset sprinklerijärjestelmät sekä korkea- ja matalapainetoimitoiset vesisumujärjestelmät. (4, s. 74-75.)

Palovaroittimella voidaan hyvin helposti ja kustannustehokkaasti parantaa ihmisten ja tilojen paloturvallisuutta. Palovaroittimen tehokkuus perustuu palon varhaiseen tunnistamiseen savukaasujen avulla, jolloin varsinainen palo ei välttämättä ole vielä edes syttynyt. Hälytys voi perustua myös häkä- ja nestekaasun tunnistukseen järjestelmästä riippuen. Hälytys voi tapahtua voimakkaan äänimerkin lisäksi tärinällä tai valomerkillä. Automaattinen paloilmoitinjärjestelmä lähettää lisäksi hälytyksen suoraan hätäkeskukseen, jolloin viive palokunnan saapumiseen palon syttymisestä lyhenee. (4, s. 74.)

Sprinklaamattomassa huoneistossa palon kehittyminen on hyvin nopeaa. Muutamassa minuutissa liekehtivän palon alkamisesta voidaan jo saavuttaa lieskahduspiste, jolloin lämpötila on noussut yli 500 asteeseen ja savukaasut ovat täyttäneet tilan. Lieskahduspisteen saavuttamisen jälkeen kaikki tilassa oleva palava materiaali syttyy tuleen. Tätä ennen jo pelkkä savukaasujen hengittäminen voi johtaa menehtymiseen, joten huoneistosta poistumiseen on aikaa tavallisesti vain 1–3 minuuttia. (73.)

Sprinklereiden laukeamislämpötila on asuinhuoneistossa tavallisesti noin 57–79 astetta, joten palon eteneminen lieskahdusvaiheeseen voidaan estää ja palo saadaan hallintaan jo ensimmäisten minuuttien aikana. Yli 95 % asuinhuoneistopaloista saadaan hallintaan korkeintaan kahden suuttimen laukeamisella. Tavallisesti sprinkleri on jo sammuttanut palon, kun pelastuslaitoshenkilökunta saapuu paikalle. Korjaustarpeet jäävät yleensä pieniksi ja paikallisiksi palon nopean hillitsemisen ansiosta. Korjaustarpeita vähentää myös se, ettei palokunnan tarvitse käyttää suurta vesimäärää palon sammuttamiseksi, mikä aiheuttaa yleensä merkittäviä vesivahinkoja. Varsinkin vesisumujärjestelmien sammutusvesimäärä on palokunnan käyttämään vesimäärään verrattuna vähäinen. (4, s. 7.)

Perinteinen sprinklerilaitteisto on ollut käytössä pitkään, ja sillä on useita eri toimittajia ja valmistajia. Ensimmäisiä automaattisia sprinklerijärjestelmiä kehitettiin jo 1800-luvulla, ja nykyinen lasiampullilla toimiva suutin kehitettiin vuonna 1890. Valta-asemastaan johtuen perinteinen järjestelmä on usein sekä investointi- että huoltokustannuksiltaan edullinen ratkaisu ja erilaisia asennusratkaisuja on tarjolla useita. Perinteisessä sprinklerijärjestelmässä suuttimien laukeaminen tapahtuu lasiampullissa olevan nesteen lämpölaajentuksessa, jolloin putkistossa oleva paineenalainen vesi pääsee suuttimelle, joka hajottaa vesisuihkun laajalle alalle. Lasiampullin ansiosta suuttimet laukeavat vain paloalueella. Laukeamislämpötilaa säädellään ampullin sisältämän nesteen ominaisuuksia muokkaamalla. Perinteisten sprinklereiden pisarakoko on noin 1–5 mm. (4, s. 74-75.)

Nykyään vesisumuspinklerijärjestelmät ovat yleistymässä perinteisten järjestelmien rinnalle. Matalapainejärjestelmässä putkistopaine on luokkaa 5–16 baaria ja korkeapainejärjestelmässä 25–140 baaria. Ominaista näille järjestelmille on huomattavasti pienempi sammutusveden tarve. Vesisumujärjestelmän oleellisin ero perinteiseen on merkittävästi pienempi pisarakoko, joka järjestelmästä riippuen on vain millimetrin murto-osia. Tällä on merkittäviä vaikutuksia sammutustehoon. Veden sammutuskyky perustuu sen kykyyn sitoa suuria määriä lämpöä höyrystyessään. Pienen pisarakoon ansiosta vesisumu höyrystyy tehokkaammin. Höyrystyessään vesi laajenee 1 700-kertaiseksi, jolloin höyry syrjäyttää palamiseen tarvittavaa hapetta palotilasta. Lisäksi vesisumu vaimentaa lämpösäteilyn siirtymistä liekin ja palamiskykyisten aineiden välillä. Vesisumu myös tunkeutuu kolmiulotteisesti joka puolelle tilaa, kuten kalusteiden alle ja taakse. Tällä on merkittävä etu perinteiseen sprinklerijärjestelmään verrattuna. (66, s. 103-104.)

Vesisumujärjestelmät ovat perinteisiin sprinklerilaitteistoihin verrattuna uudempia tuotteita, joiden hintakin voi olla jopa moninkertainen perinteiseen verrattuna. Lisäksi vesisumujärjestelmien suunnittelussa on ensiarvoisen tärkeää ymmärtää hyvin palon sammutukseen liittyviä mekanismeja. Kaikkien sammutuslaitteistojen suunnittelu, huolto ja asennus ovat säädeltyjä standardeilla, joiden toteutumisesta vastaa laitteistojen valmistaja. Vesisumujärjestelmät ovat monien tutkimusten perusteella osoittautuneet erittäin tehokkaiksi sammutusjärjestelmiksi, mutta sopivan ja tarkoituksenmukaisen järjestelmän valinta on kuitenkin aina tapauskohtainen. (4, s. 75; 66, s. 106.)

Automaattisten sammutuslaitteistojen luotettavuudesta on tehty maailmalla lukuisia tutkimuksia. Tutkimusten mukaan automaattisten sammutuslaitteistojen luotettavuus tilastollisesti tutkimuksesta riippuen on noin 96,0–99,5 %. Syitä laitteistojen toimimattomuudelle on kattavasti tutkinut ja listannut esimerkiksi NFPA (National Fire Protection Association). Tässä vuonna 2010 julkaistussa tutkimusraportissa selvisi, että noin 95 %:ssa tapauksista syy toimimattomuudelle johtui ihmisen toiminnasta. Komponenttiviasta johtuvia toimintahäiriöitä tapahtuu erittäin harvoin. 81 %:ssa tapauksista syy laitteiston toimimattomuudelle oli, että järjestelmä oli suljettu ennen palon alkua tai se suljettiin liian aikaisin palon syttymisestä. Muita syitä olivat liian vähäinen tai olematon laitteiston huolto tai väärin mitoitettu, riittämätön sammutuslaitteisto. Oikein suunniteltuina, käytettyinä ja huollettuina sprinklerijärjestelmiä voidaan näin ollen pitää erittäin luotettavina palontorjuntamenetelminä. (66, s. 107-108; 74, s. 3; 75, s. 6.)

7 DAS KELO

DAS Kelo on Domus Arctica -säätiön Rovaniemelle rakennuttama, CLT-tilaelementtitekniikalla toteutettu puukerrostalo, jonka suunniteltu valmistumisaika on heinäkuussa 2019. Luvuissa 7.1–7.6 on pyritty selventämään CLT:n ja tilaelementtitekniikan hyödyntämistä kyseisessä kohteessa sekä tähän liittyneitä etuja ja haasteita. Luvussa 7.1 perehdytään hankkeen organisaatioon, lähtökohtiin sekä suunnitteluun. Luvuissa 7.2–7.5 tarkastellaan kohteen keskeisiä rakenneratkaisuja, ekologisia seikkoja, työmaatoimintaa sekä paloturvallisuuden toteutusta. Kustannusten muodostumista hankkeessa käsitellään vain yleisellä tasolla työn laajuuden rajaamiseksi.

Tietoa kohteesta on hankittu haastatteluilla, työmaakäynneillä sekä verkkolähteistä. Ensimmäinen työmaakäynti sijoittui joulukuuhun 2018, jolloin tilaelementtiasennukset olivat käynnissä. Toinen työmaakäynti sekä haastattelut suoritettiin huhtikuussa 2019. Haastateltavia olivat Domus Arctica -säätiön kiinteistöpäällikkö, A-Insinöörien rakennesuunnittelija sekä pääurakoitsijan, Lapin Mestarirakentajien vastaava työmaamestari. Haastatteluihin käytetyt kysymyslistat löytyvät liitteistä 5–7. Haastateltavista vain rakennesuunnittelijalla oli aikaisempaa kokemusta puukerrostalorakentamisesta ja CLT:stä ennen tätä hanketta.

7.1 Lähtökohdat ja suunnittelu

Hankkeen tilaajana toimii Domus Arctica -säätiö sr, joka on perustettu vuonna 1969. Säätiö rakentaa ja vuokraa asuntoja pääosin opiskelijoille Rovaniemen alueella. Säätiön asuntokantaan kuuluu ennestään 31 kerrostaloa, joissa on noin 1 000 asuntoa ja 1 700 asuntopaikkaa. DAS Kelo rakennetaan niin ikään opiskelijakerrostaloksi yliopiston läheisyyteen Riihipellonpuiston alueelle. (76; 77.)

Hankkeen tavoitteena oli rakentaa mahdollisimman pienen ekologisen jalanjäljen kerrostalo opiskelijoille. Hankkeessa pyrittiin toteuttamaan kestävän kehityksen periaatteita, vaihtoehtoisia energiantuottamislähteitä sekä digitalisaation tuomia innovaatioita. Tilajalla oli vahva tahtotila puun käytölle hankkeessa, joten puu valikoitui runkomateriaaliksi hyvin varhaisessa vaiheessa hankkeen suunnittelua. Pian tämän jälkeen ilmeiseksi valinnaksi valikoitui kohteen toteuttaminen CLT-rakenteisilla tilaelementeillä. Pienen ekologisen jalanjäljen tavoittelussa CLT runkomateriaalina on tärkeässä asemassa. (77; 78.)

Puun käyttö runkomateriaalina mahdollisti myös osaltaan Ara-rahoituksen hankkeelle. Ara eli Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus tekee vähähiilisemmän rakentamisen kehittämässä yhteistyötä Ympäristöministeriön kanssa. (79.)

Pääurakoitsijana kohteessa toimii Lapin Mestarirakentajat Oy koko hankkeen urakamuodon ollessa jaettu urakka alistetuilla sivu-urakoilla. Tilaelementit kohteeseen valmisti ja toimitti Kuhmolainen Elementti Sampo Oy. Tilaelementteihin tarvittavan CLT:n valmisti Oy Crosslam Kuhmo Ltd sekä märkätilaelementit Parmarine Oy. Arkkitehti- ja pääsuunnittelusta kohteessa vastasi Arkkitehtityöhuone Artto Palo Rossi Tikka Oy sekä rakenne-suunnittelusta A-insinöörit Suunnittelu Oy. (78.)

Tilaelementtitekniikalla toteutetussa kohteessa suunnittelutyön merkitys korostui. Suunnittelutyössä oli tärkeää kaikkien suunnittelijoiden yhteistoiminta projektin alusta lähtien, minkä myötä myös suunnittelun ohjaus oli hankkeessa tärkeässä asemassa. Tilaelementtisuunnittelija oli arkkitehtisuunnittelusta asti vahvasti mukana, jotta tilaelementit lähdettiin alusta alkaen suunnittelemaan esimerkiksi tarkoituksenmukaisilla ja kustannustehokkailla mitoilla. (78.)

Arkkitehtisuunnittelussa pyrittiin minimalistisuuteen sekä toistettavuuteen, sillä tilaelementtitekniikan taloudelliset edut saatiin tällöin parhaiten hyödynnettyä. Kohteesta laadittiin IFC-tietomalli, joka koettiin välttämättömäksi suunnittelutyön kannalta. IFC-mallin avulla kaikkien rakenneosien sekä esimerkiksi talotekniikan läpivientien suunnittelu oli helpompaa ja riskittömämpää toteuttaa, sillä toleranssit tilaelementtitekniikalla toteutetussa hankkeessa olivat muutaman millimetrin luokkaa. (78.)

Suunnittelutyön suurimpina etuina pidettiin elementtien pitkälle vietyä esivalmistusasetta, jolloin rakennus voitiin suunnitella erittäin pitkälle suunnitelluista ja valmistetuista elementeistä. Tämän ansiosta myös tilaelementtien mittatarkkuus oli erittäin hyvä. Tilaelementtitekniikan ansiosta esisuunnittelun tuli olla myös erittäin pitkälle vietyä, kun elementtien valmistus alkoi. Tämän ansiosta muutostöiden määrä myöhemmässä vaiheessa on ollut vähäistä. CLT:llä saatiin toteutettua myös huomattavan kevyitä rakenteita. Rakenteiden keveys toi hieman etua perustusten mitoitukseen, mutta ei kuitenkaan merkittävästi. (51; 78.)

Suunnittelussa ei juuri hyödynnetty RunkoPES 2.0:aa, sillä suunnittelijat käyttivät kohteessa aikaisempien projektien myötä vakiintuneita rakenneratkaisuja. Standardin ei myöskään koettu soveltuvan kyseiseen tilaelementeillä toteutettavaan kohteeseen. (51.)

7.2 Kohteen kuvaus

7.2.1 Kohteen ominaispiirteet

DAS Kelo on kahdeksankerroksinen asuinkerrostalo, joka toteutetaan CLT-rakenteisilla tilaelementeillä lukuun ottamatta ensimmäistä kerrosta, joka toteutettiin betonirakenteisena. Ensimmäiseen kerrokseen sijoitetaan Domus Arctica -säätien toimistotiloja, asukkaiden yhteisiä tiloja, väestönsuoja sekä tekniset tilat. Väestönsuojelutilojen takia ensimmäinen kerros toteutettiin betonirakenteisena. (77.)

Rakennuksen toistettavuus sekä minimalistisuus näkyvät kohteen arkkitehtuurissa (kuva 15). Rakennuksen julkisivu on verhoiltu nimensä mukaisesti kelohongan harmailla puupaneeleilla. Sisäänkäynnin syvennys on korostettu sinisellä värillä. Jokaisessa asunnossa on eri värikalvoin pinnoitetut ikkunat sekä ranskalainen parveke, joiden lisäksi ylimässä kerroksessa on lisäksi saunaosaston vilvoitteluparveke. Vaihtelevilla ulkoverhouspaneelien korkeuksilla sekä päätyjen epäsymmetrisellä ikkunasijoittelulla on saatu hienoa vaihtelua rakennuksen yleisilmeeseen. (61.)



KUVA 15. DAS Kelon havainnekuva (80)

Kerroksissa 2–8 on 103 yksiöasuntoa sekä ylimmässä kerroksessa lisäksi yhteiset sauna- ja oleskelutilat. Rakennuksen jokaisen kerroksen lävistää käytävä, jonka molemmille puolille asunnot on sijoitettu. Asunnot koostuvat kukin omasta tilaelementistään. Lisäksi myös käytävät ja porrashuoneet ovat valmiiksi tehtyjä tilaelementtejä. Myös hissi-kuilu on CLT-rakenteinen pohjakerros mukaan luettuna. Huoneistojen CLT-runko on 80 mm paksu ja hissikuilujen runko 100 mm. (61.)

7.2.2 Rakenteiden kuvaus

Luvussa 7.2.2 on esitetty kolme yleisintä rakenneleikkausta kohteesta käsittäen huoneistojen välisen kantavan seinärakenteen, huoneiston ulkoseinärakenteen sekä huoneistojen välisen välipohjarakenteen. Lisäksi on tarkasteltu asuntomoduulien välinen kiinnitysdetalji sekä tutkittu koko rakennuksen jäykistystä. Kaikki käsitellyt detaljit sekä rakenneleikkaukset on esitetty liitteissä 2–5.

Huoneistojen välinen seinä koostuu kahdesta CLT-runkoisesta tilaelementistä. Tämä kaksinkertainen rakenne on tilaelementtirakentamisessa luonnollinen tapa toteuttaa riittävä äänieristys. Yksinkertaisuudessaan seinärakenteessa on kantavana runkona CLT molemmissa elementeissä, joiden välissä on 50 mm kivivillaa ääneneristykseen vuoksi. Palosuojaus on toteutettu 15 mm paksulla, yksinkertaisella palokipsilevyverhoilulla, joka samalla parantaa ääneneristävyttä. Kipsilevyn suojaverhousluokka on K₂₃₀ ja palonkestoluokka R60 palomääräysten mukaan sekä ääneneristävyys $R'_w > 55$ dB. (Liite 2.)

Ulkoseinällä kantavana rakenteena toimii niin ikään CLT ja palonsuojaus on toteutettu suojaverhousvaatimukset täyttävällä, yksinkertaisella kipsilevyllä. 0,17 W/m²K:n lämmöneristävyysvaatimus on saatu toteutettua CLT:n lisäksi 180 mm paksulla kivivillaeristeellä. Ulkoverhouksen kiinnityskoolaus on ruuvattu suoraan kantavaan CLT-runkoon eristeen läpi. Elementtien vaakasaumoissa ulkoverhous jää asennusvaiheessa puuttumaan kahden paneelin osalta. Näiden paneelien jälkiasennuksen yhteydessä asennetaan kerroksittain palokatkot tuuletusväleihin. (Liite 3.)

Asuntomoduulien välinen välipohja koostuu kahdesta tilaelementistä. Alemman tilaelementin kattona toimii suojaverhoamaton CLT-elementti. Ylemmän elementin lattiarakente on hieman mutkikkaampi ääneneristävyden takia. Alemman CLT-elementin yläpuolella on ilmatila ilmajousena sekä 100 mm pehmeää lämmöneristettä niin ikään ääneneristävyden vuoksi. Tilaelementit eivät kosketa toisiaan lukuun ottamatta reuna-alueita,

joihin on asennettu tärinäeristekumit. Kantavana rakenteena välipohjassa toimii kertopuu, jonka päällä on lastulevy, askeläänieriste sekä betoninen plaanovalu massaa lisäävänä elementtinä. Plaanovaluun on asennettu myös lattialämmitys. (Liite 4.)

Tilaelementtien väliset liitostekniikat ovat verrattain yksinkertaiset. Tilaelementit liitetään toisiinsa vaneri- ja teräslevyjä sekä ruuveja käyttäen liitteen 5 detaljien mukaan. Myös itse tilaelementtien liitokset on toteutettu ruuviliitoksilla. Levyjen ja elementtien välissä käytetään ääneneristävyyden vuoksi jäykkiä tärinäeristekumeja kaikissa liitoksissa. Eristekumeilla on katkaistu runkoäänien eteneminen elementtien välillä. Vaneria on käytetty teräslevyjen sijasta aina, kun se on ollut mahdollista vanerin paremman ääneneristävyyden vuoksi. (51.)

Käytäväelementit lepäävät asuntoelementtien kylkiin kiinnitettyjen liimapuukonsolien päällä. Konsolit on eristetty elementeistä tärinäeristekumeilla ääneneristävyyden vuoksi. Käytäväelementin kantavana rakenteena on 120 mm paksu, 5-kerroksinen CLT-levy, joka jätetään näkyväksi lattiapinnaksi. Alaslaskun alapinnassa on kaksinkertainen palokipsilevytys. (51; 61.)

Vääntöjäykkiä tilaelementtejä hyödyntäen koko rakennuksen jäykistys on ollut yksinkertainen toteuttaa, sillä yhtenäiset CLT-seinät ovat olleet parhaimmillaan 8 m pitkiä. Koko rakennus on jäykistetty solurunkoisella levyjäykistyksellä. Liitosten leikkausvoima on otettu vastaan edellä kuvatuilla ruuviliitoksilla. (51.)

7.2.3 Ekologisuus

Ekologisuuden kannalta tärkein tekijä hankkeessa on ollut puun hyödyntäminen rakennuksen rungossa sekä ulkoverhouksessa. Tilaelementtitekniikan ansiosta jätteiden syntyminen työmaalla on ollut hyvin vähäistä. Käytävien talotekniikkahormien huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella on kipsilevyjätteen määräkin saatu pidettyä pienenä. Suurin jätemäärä työmaalla syntyy elementtien sääsuojaukseen käytetystä muovista. Suojamuovit on puristettu työmaalla paaleiksi ja ne kierrätetään. Mahdollisuutta suojausien uusiokäyttämiseksi on pohdittu, mutta tässä kohteessa uusiokäyttöä ei saatu toteutettua. (61.)

Ekologisuutta on parannettu lisäksi katolle sijoitettavilla aurinkopaneeleilla, jäteveden lämmön talteenotolla, veden- ja sähkönkulutuksen seurannalla sekä huonekohtaisilla

lämpötila- ja kosteusantureilla. Jatkuvilla olosuhteiden seurannalla pystytään seuraamaan ja säätämään rakennuksen energiankulutusta sekä esimerkiksi optimoimaan huoneistojen ilmanvaihtoa. (78.)

Hankkeelle tullaan toteuttamaan elinkaaren hiilijalanjäljen laskenta. Hankkeen ympäristövaikutuksia arvioitaessa päädyttiin lisäksi toteuttamaan tarkastelu RT-työkalulla Lapin AMK:n suorittamana. RT-työkalulla saadaan vertailtavaa tietoa rakennuksen ympäristöystävällisyydestä. Kohteen valintaan tarkastelun kohteeksi vaikutti erityisesti CLT:n käyttö runkomateriaalina. (81, s. 20.)

Vuonna 2017 lanseerattu RT-työkalu on kehitetty erityisesti suomen oloihin soveltuvaksi ympäristöluokitusjärjestelmäksi. Viralliseen sertifiointiin oikeuttavaa tarkastelua ei suoritettu, joten tarkastelu on kokeiluluontoinen eikä hankkeelle ole tarkoitus hakea RT-luokitusta. Tarkempaa tietoa RT-työkalusta löytyy lähteestä 81. (81, s. 18.)

Kokonaisuudessaan hankkeen osapuolet pitivät työkalua hyvänä keinona vertailla eri rakennushankkeiden ympäristövaikutuksia. Itse CLT:n osuus arvioinnissa on kuitenkin verrattain pieni. RT-työkalun tuloksista huomataan, että työkalu on hyvin materiaalineutraali, eikä CLT runkomateriaalina itsessään tuo automaattisesti kovinkaan korkeaa luokitusta kohteelle. CLT-tilaelementtitekniikan käyttö näkyy työkalussa innovatiivisuudessa hankkeen pilottimaisuuden ansiosta sekä hiilijalanjäljen arvioinnissa. Vähäpäästöisyytensä ansiosta CLT materiaalina tuo myös etua sisäilmaan ja terveellisyyteen. Tosin nämä edut on mahdollista toteuttaa myös muilla rakennusmateriaaleilla. (81, s. 83-85.)

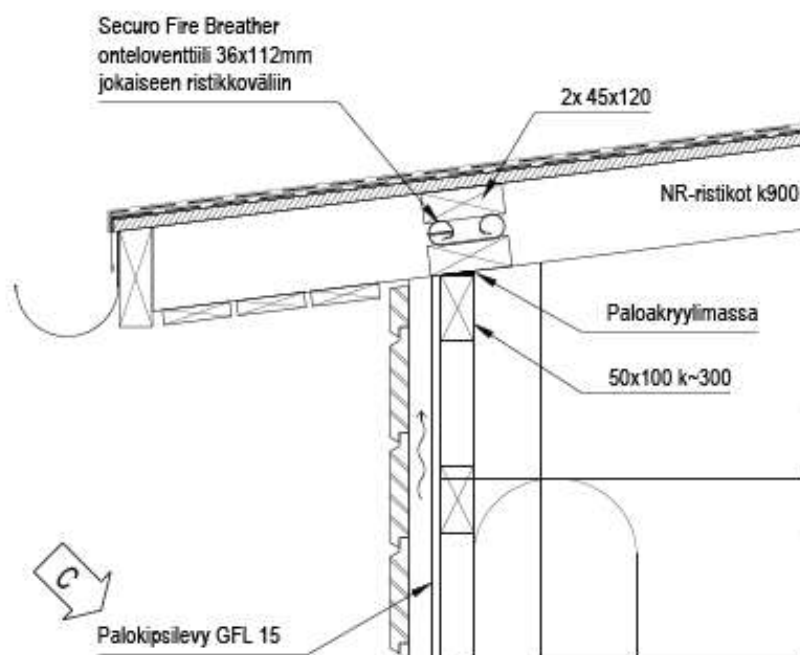
7.3 Paloturvallisuuden toteutus

Kohteen palomitoitusta lähdettiin alusta alkaen toteuttamaan taulukkomitoitusta käyttäen. Toiminnallista palomitoitusta ei ollut tarkoituksenmukaista lähteä tekemään kohteen sopiessa taulukkomitoituksen mukaiseen mitoitusmalliin. Toiminnallinen malli olisi ollut monimutkaisempi ja monivaiheisempi toteuttaa, eikä sillä olisi saatu juuri mitään etuja esimerkiksi näkyville jäävän puupinnan suhteen verrattuna taulukkomitoitukseen. Palomitoituksen olennaiset määräykset ja reunaehdot on käsitelty luvussa 6.1. (51.)

Kohde on palomitoituksen mukaan luokan P2 asuinpuukerrostalo. Mitoitusperiaatteet P2-luokan puukerrostalolle on käsitelty luvussa 6.3. Kohteessa CLT on voitu palomääräysten

mukaan jättää näkyviin vain asuntojen kattoihin, porrashuoneen askelmille sekä käytävien lattioille. Muut puupinnat on suojaverhoiltu kipsilevyllä. Jotta ulkoverhouksessa olisi yhtenäinen puuverhous myös ikkunoiden sekä ranskalaisten parvekkeiden kohdalla, on puuverhous palonsuojakäsitelty luokkaan B-s2, d0. Myös poistumisteiden näkyvät CLT-pinnat on pintakäsitelty tähän luokkaan. (51; 61.)

Osastointi on toteutettu palomääräysten mukaan huoneistoittain. Tällöin jokainen asunto muodostaa oman palo-osastonsa. Osastojen läpivienteihin on sijoitettu palokatkot, jotka palotilanteessa puristavat läpiviennit kiinni. Julkisivujen tuuletusraoissa on käytetty kerroksittain reikäpeltiä, joka estää palon leviämisen julkisivua pitkin palotilanteessa mutta mahdollistaa silti julkisivun tuuletuksen. Räystään palokatko on toteutettu kuvan 16 mukaisesti onteloventtiilillä, joka palotilanteessa sulkee räystään tuuletusraon ja estää palon leviämisen yläpohjaan. Palokatko on tiivistetty paloakryylimassalla. (51.)



KUVA 16. Räystään palokatko (82.)

Rakennus on palosuojattu määräysten mukaan sprinklaamalla OH1-sprinkleriluokan mukaan. Sprinklauksessa on käytetty perinteistä sprinklerijärjestelmää, vesisumujärjestelmää ei kohteessa käytetty. (51.)

7.4 Työmaa- ja asennustoiminta

Tilaelementtien asennusta suunniteltaessa toimitukset tahdistettiin yleisaikataulun mukaan, jota lisäksi tarkennettiin toimitusten osalta viikoittain. Viikoittaisia asennuksia huomioitaessa tuli ottaa huomioon erityisesti sääolosuhteet, jotka saattoivat rajoittaa asennuksia. Näitä rajoitteita olivat yli 25 asteen pakkasen, jolloin nosturia ei voitu käyttää, yli 10 m/s puhaltava tuuli sekä kova lumi- tai vesisade. Rajallisen kokoiselle tontille otettiin elementtejä vain asennusten tarvitsema määrä. (61.)

Elementtien nostot suoritettiin kuvan 17 mukaisesti nostopalkkia apuna käyttäen. Huomionarvoista oli saada toteutettua nostot siten, että elementti oli täysin vaakatasossa asennustyön helpottamiseksi. Elementti nostettiin paikoilleen tiivistekumien päälle, jotka toimivat runkoäänien katkaisijoina. Asennustoiminta oli paikoin haastavaa ja vaati erityistä tarkkuutta, sillä toleranssit asennuksissa olivat erittäin pienet, vain muutaman millimetrin. Elementit kiinnitettiin paikoilleen metallilevyin sekä ruuvein liitteen 5 mukaan. (61.)



KUVA 17. Nostovalmis tilaelementti

Kosteudenhallinta työmaalla oli yksinkertaisesti toteutettu. Ensimmäisen kerroksen päälle oli tehty valmiiksi kattoelementit, jotka toimivat samalla sääsuojana ja nousivat ylöspäin tilaelementtien mukana. Kattoelementit poistettiin aamuisin ennen asennuksia ja nostettiin takaisin asennusten päätyttyä. Toimitettaessa tilaelementit oli pakattu vesitiiviisiin, lasikuituvahvisteisiin suojakankaisiin, jotka poistettiin vasta juuri ennen nostoa ja

asennusta. Olosuhteet asennuksille tarkistettiin joka aamu ennen suojausten poistoa. Suojausten poiston yhteydessä tilaelementit myös tarkistettiin ja valokuvattiin laaduntarkailun vuoksi. Elementit oli kannatettu varastoinnin ajaksi irti maasta tukitopilla. (61.)

Asunnoista tuleva talotekniikka kulkee käytävien sivuille sijoitetuissa hormeissa. Asuntoihin ei työmaalla näin ollut tarvetta mennä, vaan kaikki liitokset voitiin tehdä käytävillä. Hormeihin on tehty palokatkot palo-osastoinnin mukaan. Hormielementit tehtiin valmiiksi alakerrassa ja asennettiin jälkeenpäin paikoilleen, minkä ansiosta hormirakentaminen oli verrattain nopeaa. (61.)

Rakennustöiden aikainen lämmitys toteutettiin vesikiertoisilla työmaalämmittimillä, jotka kytkettiin kaukolämpöverkkoon marraskuun puolivälissä. Sähkökäyttöisiä puhaltimia ei käytetty paloturvallisuussyistä. Asennustöiden ollessa kesken lämmitys toteutettiin vaiheittain siten, että lämmitys eteni valmiiden kerrosten mukana. Asennettavan kerroksen alapuolinen kerros pidettiin lisäksi kylmänä puskurikerroksena, jottei äkillinen lämmönmuutos näiden kahden kerroksen suhteen aiheuttaisi riskiä kosteudenhallintaan. Hissikuilua hyödynnettiin hormina lämmön jakamisessa kerrosten välillä. Asuntojen ovet pidettiin pääsääntöisesti kiinni, sillä vain käytäviä oli tarve lämmittää LVI-asennusten vuoksi. Näin lämmitettävä kokonaistilavuus pidettiin pienenä, jolloin myös lämmitysenergian tarve pysyi alhaisena. (61.)

Vaikka suunnittelutyöhön kului hieman enemmän aikaa kuin tavanomaisen betonikerrostalon suunnitteluun, oli itse työmaavaiheen aikataulu verrattain nopea. Kohteen rakennustyöt alkoivat kesäkuussa 2018. Ensimmäiset tilaelementit nostettiin paikoilleen marraskuun lopulla kun ensimmäinen, betonirakenteinen kerros sekä kattoelementit olivat valmistuneet. Tilaelementit oli asennettu helmikuussa 2019, eli kokonaisuudessaan tilaelementtien asennukseen kului aikaa reilut kaksi kuukautta. Tilaelementtien ja kattoelementtien asennuksien jälkeen tehtäviksi jäi vielä talotekniikka, hissien asennus, betonirakenteisen pohjakerroksen viimeistely sekä yläkerran saunaosasto ja käytävät. Ulkopuolelta tehtäviksi jäi kattotöiden sekä julkisivujen elementtien välisten saumojen viimeistely sekä pihatytöt. Hankkeen suunniteltu valmistumisaika on heinäkuussa 2019. (61.)

7.5 Kustannukset

Kustannustehokkuus on rakentamisessa ja varsinkin puukerrostalorakentamisessa ymmärrettävästi mielenkiintoa herättävä seikka. Tämän työn laajuuden rajaamiseksi kustannusten muodostumista kohteessa ja vertailua muihin mahdollisiin runkomateriaaleihin ei ole tässä lähdetty kuitenkaan tarkemmin käsittelemään. Eri runkomateriaalien kustannusvertailu keskenään on lisäksi erityisen haastavaa, sillä vertailukelpoinen laskenta tulisi suorittaa koko rakennuksen elinkaaren ajalta muodostuviin kustannuksiin. Yleisellä tasolla kohteen kustannusten muodostumisesta käsitellään kuitenkin muutama oleellinen seikka.

Koko hankkeen kustannusarvio on noin 10,4 miljoonaa euroa. Tästä noin 60 % on rakennuttajan omia tavarahankintoja, joihin lukeutuvat ensisijaisesti tilaelementit ja niiden sisältämät kylpyhuone-elementit. Urakoiden osuus koko kustannusarviosta oli vajaat 40 %. Suunnittelukustannukset olivat noin 5,5–6,5 %. Kohteelle ei ole suoritettu vielä jälkilaskentaa, joten ilmoitetut kustannukset ja osuudet ovat arvioita. (78.)

Puukerrostalojen kustannustietoisuus nojaa historiaan ja ensimmäisiin kohteisiin, joita ei välttämättä oltu suunniteltu läheskään kustannustehokkaasta näkökulmasta (51). Kelon tapauksessa on pyritty toteuttamaan kustannustehokas kohde esimerkiksi arkkitehtuurin avulla. Arkkitehtisuunnittelussa pyrittiin minimalistisuuteen ja toistettavuuteen. Tilaelementtitekniikan ja toistettavuuden avulla samoja työvaiheita oli paljon, mikä nopeutti työskentelyä parantaen samalla kustannustehokkuutta. (61.)

Suurin kustannustehokkuuteen parantavasti vaikuttava tekijä on tilaelementtitekniikalla saavutettava korkea esivalmistusaste. Tämä lyhensi huomattavasti aikaa työmaalla tilaelementtien asennuksien kestäessä vain reilut kaksi kuukautta. Tilaelementtitekniikan vaatiessa myös pitkälle viedyn esisuunnittelun on muutostöiden ja lisäkustannusten määrä ollut kohteessa vähäinen. Tehtaalla hallituissa olosuhteissa tehty tilaelementtirakentaminen oli myös nopeaa sekä tuote laadukas ja tasalaatuinen. (61; 78.)

Vaikka työmaalla tilaelementtitekniikalla säästetäänkin aikaa, on hankkeen aikajana yhtä pitkä kuin esimerkiksi betonirakenteisella kerrostalolla, sillä suunnitteluun kuluu enemmän aikaa (61). Tilaajan edustajan mukaan suunnittelun osuus oli koko hankkeen kustannusarviosta noin prosentin suurempi kuin tavanomaisen betonirakenteisen kerrostalon suunnittelukustannukset (78).

Suurin yksittäinen lisäkustannus on sprinklerijärjestelmä, joka kohteeseen runkomateriaalin puolesta vaaditaan tehtäväksi. Huomionarvoista on kuitenkin se, että sprinklaus nostaa paloturvallisuutta huomattavasti, jolloin rakennus on myös paremmin varusteltu kuin kohde, jossa sprinklausta ei edellytetä. (78.)

7.6 Tiivistelmä DAS Kelosta

Suurimpana etuna hankkeessa pidettiin korkeaa esivalmistusastetta, jolloin työmaalla pystytysaika lyheni, muutos- ja lisätöiden määrä oli vähäistä sekä tilaelementtien laatu oli hyvää ja tasaista. CLT edistää myös merkittävästi hankkeen alusta asti painotettua alhaista hiilijalanjälkeä sekä ekologisuutta. Elementtien sääsuojauksen vaatima muovimäärä toisaalta heikentää ekologisuutta jonkin verran. Jättemäärä työmaalla on muutoin pysynyt hyvin pienenä.

Suunnittelutyössä suunnittelijoiden yhteistoiminta hankkeen alusta alkaen oli tiivistä ja toimivaa. Rakennuksen jäykistys oli yksinkertaista toteuttaa jäykkien tilaelementtien ansiosta. Myös liitostekniikat oli suunniteltu yksinkertaisiksi, eikä esimerkiksi vetotankoja käytetty. Jonkin verran haasteita suunnitteluun toivat vielä vakiintumattomat rakenneratkaisut, mutta rakennesuunnittelijan mukaan Kelo oli kuitenkin yksi onnistuneimpia suunnittelukohteita hänen kohdallaan.

Työmaatoiminnan kannalta CLT-tilaelementtitekniikan vaatimat erittäin pienet toleranssit olivat haasteellisia. Menetelmän uutuuden takia myös vakiintumattomat työmenetelmät tilaelementtitekniikassa toivat oman haasteensa työmaatoimintaan. Samojen työvaiheiden toistuvuus toi toisaalta rutiinia ja näin nopeutta työskentelyyn. Myös sääsuojaus liikuteltavilla kattoelementeillä todettiin yksinkertaiseksi ja nopeaksi menetelmäksi kuivaketjun toteuttamiseksi. Vastaavan työmaamestarin mukaan kuivaketjun toteutus on pitkälti asennekysymys, johon hankkeen aikana sitouduttiin hyvin.

Yhteenvetona voidaan sanoa että DAS Kelon hanke on onnistunut hyvin ja CLT:n käyttö runkomateriaalina on ollut toimiva ratkaisu. Tilaajalla oli hankkeen alkumetreiltä alkaen vahva tahtotila rakentaa kohde puurakenteisena ja haastatteluiden myötä käy ilmi eri toimijoiden vahva pyrkimys toteuttaa laadukas, pilottimainen kohde. Kaikkien haastateltavien tyytyväisyys hankkeeseen on ollut hyvä, vaikka joitain haasteita ja epävarmuustekijöitä onkin esiintynyt. Tiivis yhteistoiminta hankkeessa eri toimijoiden kesken sekä toimi-

vaksi osoittautunut urakkamuoto saivat myös haastateltavilta kiitosta. Hanke on herättänyt myös suurta huomiota hankkeen ulkopuolella. Valtaosa tästä mielenkiinnosta ja palautteesta on ollut positiivista, vaikkakin myös vastustajia ja epäilijöitä on löytynyt.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja selventää CLT:n käyttömahdollisuuksia erityisesti kerrostalorakentamisessa. Työssä pyrittiin luomaan kattava, luotettava lähteisiin perustuva tietokokonaisuus niin rakennusalan toimijoille kuin rakennusalan ulkopuoliselle henkilölle ja näin myös parantamaan CLT:n tunnettavuutta rakennusmateriaalina.

CLT:llä on useita ominaisuuksia, joiden ansiosta sen soveltuvuus kerrostalojen materiaalliratkaisuksi on erinomainen. Massiivinen, levymäinen rakenne toimii samaan aikaan sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena, minkä lisäksi CLT-rakenne on käytännössä painumaton. CLT:llä toteutetut rakenne- ja liitosratkaisut ovat yksinkertaisia ja helposti toteutettavia. Levymäinen rakenne vähentää liitosten ja kylmäsiltojen määrää sekä parantaa ilmatiiveyttä, minkä vuoksi erillistä ilman- tai höyrynsulkua ei tavallisesti tarvita. CLT:n kyky tasata ilmankosteuden ja lämpötilojen vaihteluita vaikuttaa parantavasti sisäilmaston laatuun. Tutkimusten mukaan puulla on myös todettu olevan myönteisiä psykologisia, antibakteerisia sekä terveyttä edistäviä vaikutuksia.

Kenties suurin CLT:n etu on kuitenkin mahdollisuus erittäin pitkälle vietyyn esivalmistusasteeseen. Levyihin voidaan työstää tietokoneohjauksella millimetrintarkasti tarvittavat aukotukset sekä työstöt liitoksille ja talotekniikalle. Esivalmistus viedään pisimmälle tilaelementtitekniikassa, jolloin kokonaiset asuntolohkot rakennetaan valmiiksi asti tehtaalla. Tämä vähentää merkittävästi kosteusvaurioiden riskiä ja työmaan läpivientiaikaa sekä parantaa lopputuotteen laatua. Toisaalta tämä edellyttää erittäin huolellista ja ammattitaitoista esisuunnittelua.

CLT on ympäristöystävällinen rakennusmateriaali ja puun negatiiviset ympäristövaikutukset muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna ovat vähäiset. Esimerkiksi sementin ja teräksen valmistaminen aiheuttaa Suomessa noin 90 % rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Puu taas sitoo ilman hiilidioksidia kasvaessaan ja toimii hiilivarastona koko käyttöikänsä ajan. Korvaamalla puutuotteilla rakennusmateriaaleja, joiden valmistamisessa vapautuu huomattavia määriä hiilidioksidia, pystytään tehokkaasti vähentämään hiilidioksidipäästöjä. CLT:n ympäristöystävällisyyttä heikentävät toisaalta laminointiin käytettävät liimat, joilla on omat ympäristövaikutuksensa, sekä tilaelementtien sääsuojauksen aiheuttama suuri muovijättemäärä.

Kustannustehokkuudessa CLT ei aiemmin ole useinkaan pystynyt kilpailemaan muiden runkomateriaalien, kuten betonin kanssa. Puukerrostalojen kustannuksia nostavat esimerkiksi vaatimus rakennuksen varustamisesta automaattisella sammutusjärjestelmällä sekä suunnittelutyön vaativuus. Myös vielä vakiintumattomat rakenneratkaisut sekä alan toimijoiden vähäinen määrä heikentävät kustannustehokkuutta. Käyttö- ja suunnittelukokemuksen lisääntyessä sekä rakenneratkaisujen vakiintuessa CLT on kuitenkin myös taloudellisesti yhä kilpailukykyisempi vaihtoehto.

On myös huomionarvoista pohtia, kuinka tarkoituksenmukaista puhdas kustannusvertailu muihin rakennusmateriaaleihin nähden ylipäänsä on. Esimerkiksi automaattisen sammutusjärjestelmän aikaansaamalle paloturvallisuuden parantumiselle sekä ekologisille seikoille on vaikeaa määritellä hintaa. Myös terveysominaisuudet sekä imagokysymykset tulisi ottaa vertailussa huomioon. Lisäksi esimerkiksi tilaelementtitekniikan hyödyntäminen vähentää työmaakustannuksia merkittävästi. Lyhentynyt työmaa-aika voi esimerkiksi lomakeskuksissa olla merkittävä tekijä, kun koko työmaavaihe voidaan viedä läpi sesonkien välissä.

Lukuisat eri tahot ovat jo pitkään tehneet paljon töitä, jotta tietoisuus CLT:stä ja sen käyttömahdollisuuksista lisääntyisi. Tietoisuus onkin merkittävästi lisääntynyt, mutta CLT on silti vielä uusi ja melko vähän hyödynnetty materiaali kerrostalorakentamisessa. CLT-rakentamista vaivaa yhä kyseisen alan pienuus sekä harjaantumattomuus CLT-rakentamiseen. CLT:llä ei myöskään ole vielä harmonisoitua tuotestandardia eikä vakioituja mitoitushjeita. Alalle tarvittaisiin lisää niin suunnittelijoita, valmistajia ja urakoitsijoita kuin rakennuttajiaakin. Kehitettyjä ratkaisuja ja toimintamalleja tulisi jakaa entistä avoimemmin eri toimijoiden kesken, jotta CLT-rakentaminen kehittyisi voimakkaammin eteenpäin.

Suomalaisella puukerrostalorakentamisella on lyhyt historia, mutta sen aikana on kuitenkin kehitytty jo varsin pitkälle. Puurakentamisella on Suomessa positiivinen imago ja vahvat perinteet, mutta kerrostalorakentamista on silti pitkään hallinnut lähes yksinomaan betoni. Vaikka CLT:n käyttö tulee tulevaisuudessa lisääntymään huomattavasti, se tuskin lähiaikoina tulee syrjäyttämään betonia kerrostalorakentamisen rakennusmateriaalina. Aika näyttää, kuinka merkittävästi CLT:n osuus kerrostalorakentamisen materiaalina tulee kasvamaan.

LÄHTEET

1. Puurakentaminen. Biotalous. Saatavissa: <https://www.biotalous.fi/puurakentaminen/>. Hakupäivä 19.1.2019.
2. Puukerrostalot 1880 - 2000. 2006. Rakennustieto. Tampere: Rakennustieto.
3. Tolppanen, Janne – Karjalainen, Markku – Lahtela, Tero – Viljakainen, Mikko 2013. Suomalainen puukerrostalo. Tampere: Opetushallitus.
4. Paloturvallinen puutalo. 2018. Puuinfo. Helsinki: Puuinfo.
5. Karjalainen, Markku 2018. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa>. Hakupäivä 19.1.2019.
6. Puukerrostalohankekanta. 2018. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puukerrostalohankekanta%2C%20p%C3%A4ivitetty%2011-2018.pdf>. Hakupäivä 17.1.2019.
7. Puun käyttö rakentamisessa on korkealla tasolla. 2018. Puuinfo. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Markkinakatsaus%203.7.2017.pdf>. Hakupäivä 16.1.2019.
8. Karjalainen, Markku 2018. Asukastyytyväisyys puukerrostaloissa. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.pudasjarvi.fi/tiedostot/hankkeet/moderni-hirsikaupunki/6-Markku-Karjalainen.pdf>. Hakupäivä 18.1.2019.
9. Puukerrostalojen asukas- ja rakennuttajakysely. 2017. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Pdf-julkaisu. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Puukerrostalojen_asukkaat_tyytyvaisia_er%2843584%29. Hakupäivä 19.1.2019.
10. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/node/1505>. Hakupäivä 19.1.2019.

11. CLT Handbook: Cross-laminated Timber. 2013. FPIInnovations. Pdf-julkaisu. Pointe-Claire, Quebec, Kanada: FPIInnovations. Saatavissa: <https://info.thinkwood.com/clt-handbook> (vaatii kirjautumisen). Hakupäivä 15.3.2019.
12. Monikerroslevy. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinooripuu-tuotteet/monikerroslevy>. Hakupäivä 15.3.2019.
13. Helamo, Markku 2014. CLT-raakalevyn valmistus. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raakalevy-info-4.4.14-pak.pdf>. Hakupäivä 15.3.2019.
14. Lujuuslajitellun sahatavaran leimaus ja CE-merkintä. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/lujuuslajitellun-sahatavaran-leimaus-ja-ce-merkint%C3%A4>. Hakupäivä 18.3.2019.
15. Rakennesahatavara. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/rakennesahatavara>. Hakupäivä 18.3.2019.
16. Brandner, Reinhard 2013. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Graz, Itävalta: Graz University of Technology. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.iom3.org/fileproxy/457425>. Hakupäivä 21.2.2019.
17. Puurakentamisen liimat. 2019. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/puurakentamisen-liimat>. Hakupäivä 24.3.2019.
18. Vatanen, Mikko – Ahoranta, Tytti – Sirkka, Antti – Pirttinen, Valtteri 2017. CLT – monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali. Teoksessa Sirkka, Antti – Pirttinen, Valtteri (toim.). Lapin Ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 3/2017. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123601/B%203%202017%20Sirkka%20Pirttinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 28.3.2019.
19. CLT-suunnittelun ohje. Crosslam. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/clt-suunnittelun-ohje.pdf>. Hakupäivä 28.3.2019.

20. Puun pintakäsittely. 2016. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tee-seitse/puun-pintak%C3%A4sittely>. Hakupäivä 29.3.2019.
21. Jansson, Emil 2015. CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto, puunjalostustekniikan laitos. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16638/master_Jansson_Emil_2015.pdf?sequence=1. Hakupäivä 29.3.2019.
22. CLT – ristiinliimattu massivipuulevy. 2011. Puuinfo. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber/clt.pdf>. Hakupäivä 29.3.2019.
23. Crosslam-levyn laatumääritteet. Crosslam. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/laatumn-cc-83n-cc-83ritteet.pdf>. Hakupäivä 29.3.2019.
24. Statiikka ja lujuuslaskenta. 2013. Stora Enso. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/statiikka-lujuuslaskenta/>. Hakupäivä 5.4.2019.
25. Varonen, Riku 2017. CLT-runkoisen puukerrostalon painumat. Opinnäytetyö. Joensuu: Karelia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138882/Varonen_Riku.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 5.4.2019.
26. Poikajärvi, Miika 2017. Puurakentamisen uusi aika – Hybridirakenteet. Lapin Ammattikorkeakoulun verkkolehti Lumen 1/2017. Ilmestynyt 27.4.2017. Saatavissa: <https://blogi.eoppimispalvelut.fi/lumenlehti/2017/04/27/puurakentamisen-uusi-aika-hybridirakenteet/>. Hakupäivä 5.4.2019.
27. Poikajärvi, Miika 2017. CLT-betoniliittorakenteinen välipohja. Opinnäytetyö. Rovaniemi: Lapin Ammattikorkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123944/CLT%20betoniliittorakenteinen%20valipohja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 5.4.2019.

28. Crosslamin materiaalipankki. Crosslam. Saatavissa: <https://www.crosslam.fi/suunnittelijat/materiaalipankki.html>. Hakupäivä 5.4.2019.
29. CLT-rakenteet suunnittelun näkökulmasta. 2012. Pontti Puutuotekeskus. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-roadshow-2012/CLT-rakenteiden%20suunnittelusta-23%202%202012.pdf>. Hakupäivä 5.4.2019.
30. Simonson, Carey – Salonvaara, Mikael – Ojanen, Tuomo 2001. Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures. Espoo: VTT. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2001/P431.pdf>. Hakupäivä 5.4.2019.
31. Puu sisäilman kosteuden tasaajana. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puu-tieto/puu-sis%C3%A4tiloissa/puu-sis%C3%A4ilman-kosteuden-tasaajana>. Hakupäivä 5.4.2019.
32. RT 21-11288. 2017. Puutavara, sahattu ja höylätty. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2021-11288> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 5.4.2019.
33. Puun kosteuskäyttäytyminen. 2011. Puuinfo. Pdf-julkaisu. Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/kysymyksia-ja-vastauksia/puun_kosteuskayttaytyminen_lattia.pdf. Hakupäivä 5.4.2019.
34. Building physics – Thermal protection. 2012. Stora Enso. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Thermal-protection-EN.pdf>. Hakupäivä 5.4.2019.
35. Lämpötekniisiä ominaisuuksia. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/node/1499>. Hakupäivä 8.4.2019.
36. Brännare, Jani 2012. CLT-levyjen soveltaminen suomalaiseen pientalorakentamiseen. Opinnäytetyö. Rovaniemi: Rovaniemen Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/50788/Brannare_Jani.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 8.4.2019.

37. Säädek 1010/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171010.pdf>. Hakupäivä 8.4.2019.
38. Ahoranta, Tytti – Alakunnas, Tuomas – Autioniemi, Juha – Niemelä, Antti – Peisa, Kari – Pirttinen, Valtteri – Vatanen, Mikko 2016. CLT-koetalon rakennusfysikaaliset tutkimukset. Teoksessa Pirttinen, Valtteri (toim.). Lapin Ammattikorkeakoulun julkaisu. Sarja B. Raportit ja selvitykset 11/2016. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=4fb70156-2bf1-49af-b466-acef959ba4b9>. Hakupäivä 8.4.2019.
39. Säädek 796/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796#Pidp446633248>. Hakupäivä 8.4.2019.
40. Äänitekniisiä ominaisuuksia. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/node/1501>. Hakupäivä 12.4.2019.
41. CLT Surface Qualities. Stora Enso. Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Surface-qualities-EN.pdf>. Hakupäivä 29.3.2019.
42. Sertifiointi. 2019. Metsähallitus. Saatavissa: <http://www.metsa.fi/sertifiointi>. Hakupäivä 12.4.2019.
43. Puuston vuotuinen kasvu. 2017. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnitelu/metsavarat/puuston-vuotuinen-kasvu-2017/>. Hakupäivä 12.4.2019.
44. Puutuotteet hiilivarastona. Puuinfo. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puutuotteet%20hiilivarastona%20a4.pdf>. Hakupäivä 12.4.2019.
45. Kuittinen, Matti 2014. Rakennusten ilmastovaikutusten vertailu. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Rakennusmateriaalien%20ilmastovertailu%202014-10-20.pdf>. Hakupäivä 12.4.2019.

46. Scalet, Tommaso 2015. Cross Laminated Timber as Sustainable Construction Technology for the Future. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102020/Bachelor%20Thesis_Tommaso%20Scalet.pdf?sequence=1. Hakupäivä 12.4.2019.
47. Psykologiset ominaisuudet. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puusis%C3%A4tiloissa/psykologiset-ominaisuudet>. Hakupäivä 12.4.2019.
48. Sarjala, Tytti 2018. Puun terveysvaikutuksista. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <http://www.pirkankylat.fi/wp-content/uploads/2018/06/Puun-terveysvaikutuksista-Sarjala.pdf>. Hakupäivä 12.4.2019.
49. Vainio-Kaila, Tiina 2017. Antibacterial Properties of Scots pine and Norway spruce. Väitöskirja. Helsinki: Aalto-Yliopisto, biotuotteiden ja biotekniikan laitos. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28650/isbn9789526076201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 12.4.2019.
50. Usein kysytyjä kysymyksiä. 2017. Celt. Saatavissa: <https://celt.fi/usein-kysyttya/>. Hakupäivä 17.4.2019.
51. Kekki, Toni 2019. Rakennesuunnittelija, A-Insinöörit Oy. Puhelinhaastattelu 25.4.2019.
52. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Puuinfo. Saatavilla: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>. Hakupäivä 17.4.2019.
53. Tilaelementit. Elementti Sampo. Saatavissa: <https://www.elementtisampo.fi/tuotteet/>. Hakupäivä 17.4.2019.
54. Moduulit – Rakentamisesta teolliseen valmistamiseen. 2017. Celt. Saatavissa: <https://celt.fi/moduulit/>. Hakupäivä 17.4.2019.

55. Laukkanen, Markku. Puurakentamisen merkittävä puute poistuu: Alalle vihdoinkin yhtenäinen avoin standardi. Saatavissa: <https://www.woodarchitecture.fi/fi/articles/puurakentamisen-merkittava-puute-poistuu-alalle-vihdoinkin-yhtenainen-avoin-standardi>. Hakupäivä 21.4.2019.
56. RunkoPES 2.0. 2013. Osa 11: Rakennetyyppikirjasto. Finnish Wood Research. Pdf-julkaisu. Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/RunkoPES_2.0_Osa_11_Rakennetyyppikirjasto.pdf. Hakupäivä 21.4.2019.
57. RunkoPES 2.0. 2013. Osa 12: Liittymädetaljikirjasto. Finnish Wood Research. Pdf-julkaisu. Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/runkopes_2.0_osa_12_liittymadetaljikirjasto.pdf. Hakupäivä 21.4.2019.
58. Naskali, Jarno 2015. Rothoblaas: CLT-kiinnitysjärjestelmät. Pdf-julkaisu. Saatavissa: http://2015.puupaiva.com/sites/default/files/Sali%20Naskali%20Jarno_Liitokset%20ja%20akustiikka%20CLT-rakenteissa.pdf. Hakupäivä 24.4.2019.
59. CLT-rakentamisen yleisperiaatteet. 2012. Stora Enso. Diaesitys. Saatavissa: <https://docplayer.fi/302564-Clt-rakentamisen-yleisperiaatteet.html>. Hakupäivä 24.4.2019.
60. Mölsä, Seppo 2014. Sääsuoja on tarpeen puutalolle, mutta olisi turha lisäkustannus betonitalolle. Rakennuslehti 26.11.2014. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2014/11/saasuojat-on-tarpeen-puutalolle-mutta-olisi-turha-lisakustannus-betonitalolle/>. Hakupäivä 24.4.2019.
61. Nieminen, Juho 2019. Vastaava työmaamestari, Lapin Mestarirakentajat Oy. Haastattelu 23.4.2019.
62. Erikoiskuljetukset. 2010. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Pdf-julkaisu. Saatavissa: http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf/cbcf0229-5b1f-4e7e-8d9b-9bad0a271b51. Hakupäivä 24.4.2018.

63. Ratu 0425. 2014. Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Rakennustieto Oy. Saatavissa: https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortit/Ratu%200425?query=ratu%200425&external_system=Juha&page=20. (vaatii käyttäjälisenssin.). Hakupäivä 23.4.2019.
64. Korhonen, Rauli – Nuutinen, Heli 2017. CLT-tilaelementtien suunnittelu. Kuopio: Savonia-Ammattikorkeakoulu. Diaesitys. Saatavissa: <https://docplayer.fi/106037992-Clt-tilaelementtien-suunnittelu.html>. Hakupäivä 23.4.2019.
65. Uusi asetus rakennusten paloturvallisuudesta vähentää tulkintoja ja yhdenmukaistaa turvallisuustasoa. 2017. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajan-kohtaista/Uusi_asetus_rakennusten_paloturvallisuus\(45212\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajan-kohtaista/Uusi_asetus_rakennusten_paloturvallisuus(45212)). Hakupäivä 21.3.2019.
66. Puukerrostalon palosuunnitteluohje – Toiminnallinen suunnittelu. 2015. Finnish Wood Research Oy. Pdf-julkaisu. Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/2.7.13.%20Puukerrostalon%20palosuunnitteluohje%20-%20toiminnallinen%20suunnittelu_20151020_final.pdf. Hakupäivä 21.3.2019.
67. Paloteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. Hakupäivä 21.3.2019.
68. CLT – Cross Laminated Timber: Fire Protection. 2016. Stora Enso. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Documentation-on-fire-protection-EN.pdf>. Hakupäivä 21.3.2019.
69. Perustietoa CLT-levyistä. 2012. Stora Enso. Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/clt_facts_fi.pdf. Hakupäivä 21.3.2019.
70. Paloturvallisuus. 2013. Stora Enso. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/>. Hakupäivä 25.3.2019.
71. Boren, Hannu – Viinikainen, Marko – Paajanen, Ilkka – Etholen, Viivi 2011. Puutuotteiden ja -rakenteiden kemiallinen suojaus ja suojauksen markkinapotentiaali. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B, numero 67. Kotka: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Diaesitys. Saatavissa: <https://docplayer.fi/21802422-B-sarja-puutuotteiden-ja-rakenteiden-kemiallinen-suojaus-ja-suojauksen-markkinapotentiaali-tutkimuksia-ja-raportteja-nro-67-issn-1239-9094.html>. Hakupäivä 25.3.2019.

72. Mikkola, Esa – Holopainen, Satu 2017. Puukerrostalon palotekniikka. Teoksessa Tiainen, Kari (toim.). Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu. Sarja C. Raportteja 46. Joensuu: Karelia-Ammattikorkeakoulu. Pdf-julkaisu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133111/C46_20170829.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Hakupäivä 25.3.2019.
73. Tulipalon vaarallisuus. Pelastustoimi. Saatavissa: <http://www.pelastustoimi.fi/turvatie-toa/ehkaise-palon-syttyminen/tulipalon-vaarallisuus>. Hakupäivä 26.3.2019.
74. Hall, John 2010. U.S. Experience with Sprinklers and other Automatic Fire Extinguishing Equipment. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://www.cfpsprinkler.com/Automatic-Sprinklers.pdf>. Hakupäivä 26.3.2019.
75. Nieminen, Mikko 2018. Selvitys sprinklerilaitteistojen luotettavuudesta. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/10576880/Nieminen+selvitys+sprinklerilaitteistojen+luotettavuudesta/2f1b5b11-0a90-4a93-ac14-f480ae147aed/Nieminen+selvitys+sprinklerilaitteistojen+luotettavuudesta.pdf>. Hakupäivä 26.3.2019.
76. Domus Arctica -säätio. Saatavissa: <https://das.fi/fi/Das>. Hakupäivä 25.4.2019
77. Uusia asuntoja opiskelijoille. 2018. Saatavissa: <https://das.fi/fi/DASiaa?id=1f2ed7e5-22f1-4dee-a4f4-37f5df159267&title=Uusia-asuntoja-opiskelijoille>. Hakupäivä 25.4.2019.
78. Rautio, Tuomas 2019. Kiinteistöpäällikkö, Domus Arctica -Säätio sr. Puhelinhaastattelu 17.4.2019.
79. Saario, Kaisa 2018. Vähähiilisemmän asumisen kirittäjä. Saatavissa: <https://huomisentekijat.kuntarahoitus.fi/palvelut/vahahiilisemman-asumisen-kirittaja/>. Hakupäivä 27.4.2019.
80. DAS Riihipellonpuisto – Kelo. 2018. Ecopal. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <http://www.ecopal.fi/2018/06/29/das-riihipellonpuisto-kelo/>. Hakupäivä 28.4.2019.

81. Jokinen, Janne – Saviaro, Kirsti – Poikajärvi, Miika – Vatanen, Mikko – Pirttinen, Valteri 2018. Kohti ympäristöystävällistä rakentamista – Tapaus DAS Kelo. Teoksessa Poikajärvi, Miika (toim.). Lapin Ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 3/2018. Pdf-julkaisu. Saatavissa <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/142728/Kohti%20ymparistoystavallista%20rakentamista.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 28.4.2019.
82. DAS Kelon rakennedetaljit. 2018. A-Insinöörit Suunnittelu Oy, sisäinen dokumentti.
83. DAS Kelon rakenneleikkaukset. 2018. A-Insinöörit Suunnittelu Oy, sisäinen dokumentti.

LIITTEET

Liite 1 CLT:n pinnan laatuluokitukset

Liite 2 DAS Kelon väliseinäleikkaus

Liite 3 DAS Kelon ulkoseinäleikkaus

Liite 4 DAS Kelon huoneistovälipohjaleikkaus


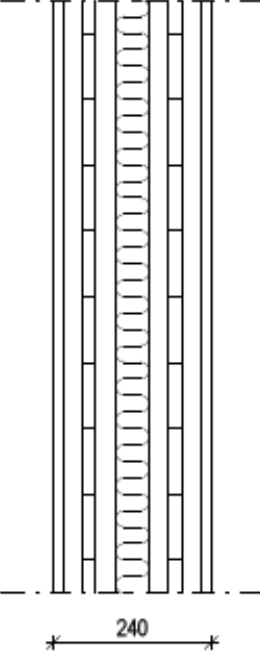

Liite 5 DAS Kelon liitosdetaljit


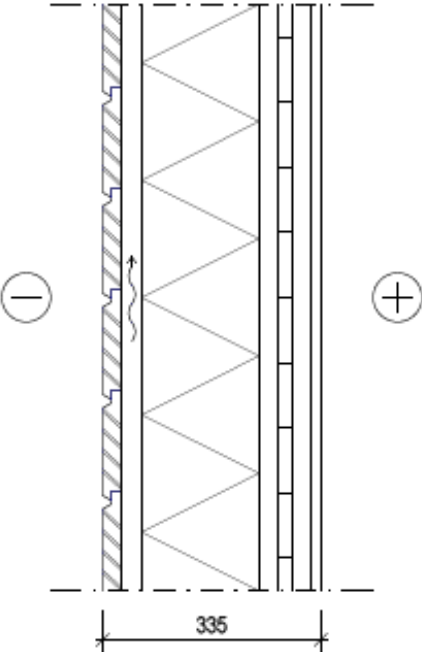
Liite 6 Kiinteistöpäällikön haastattelulomake


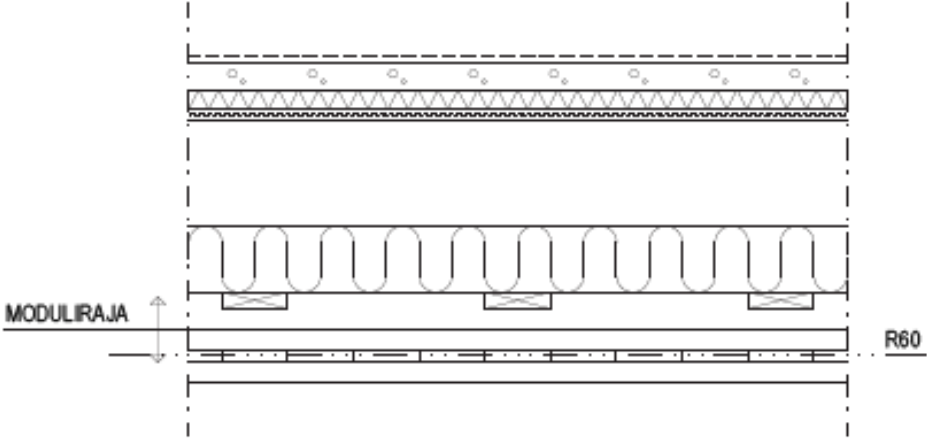
Liite 7 Vastaavan työmaamestarin haastattelulomake

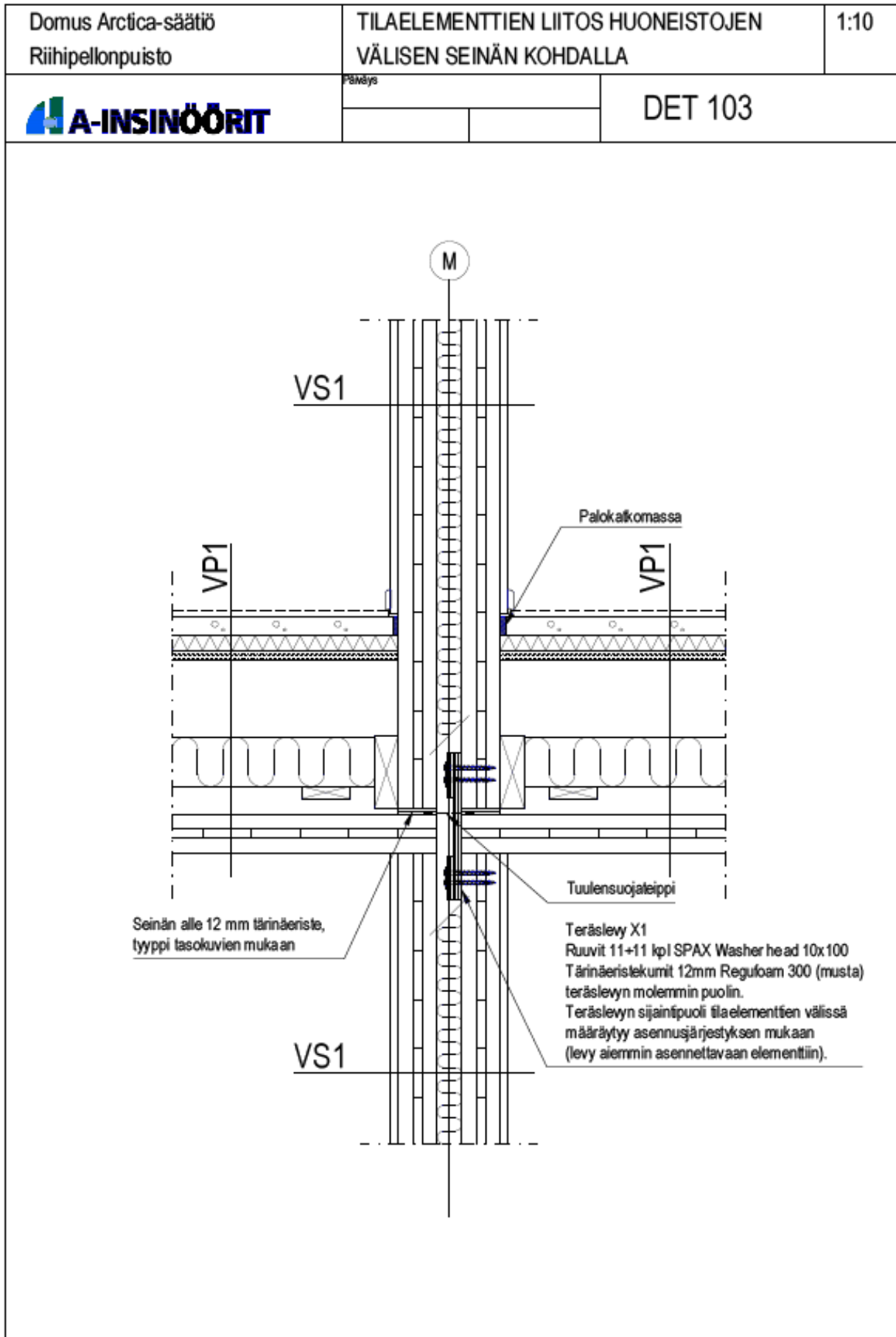
Liite 8 Rakennesuunnittelijan haastattelulomake

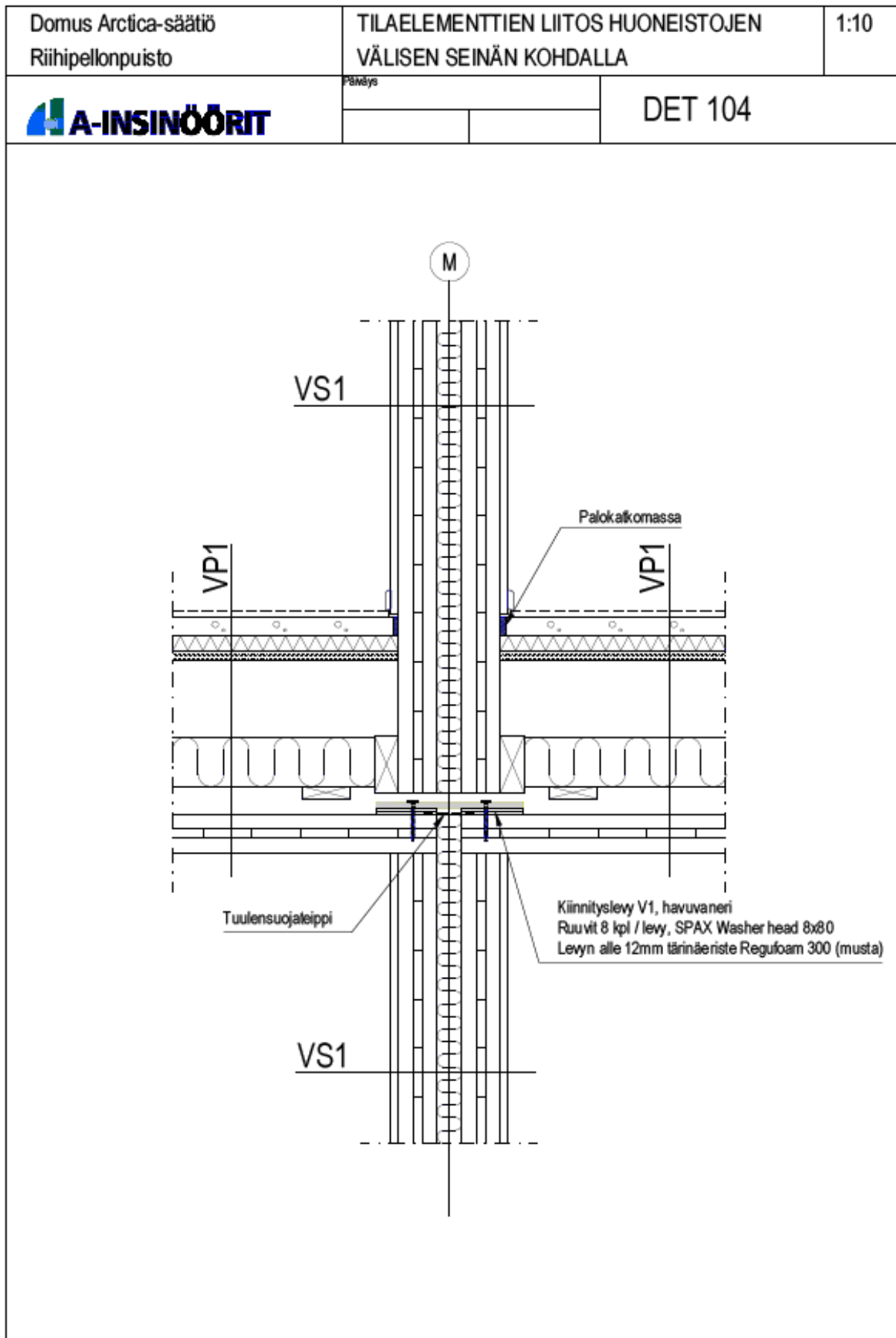
| CLT surface quality Surface quality appearance with respect to product characteristics | | | |
|---|--|--|--|
| Characteristics | VI | IVI | NVI |
| Bonding | occasional open joints up to max. 1 mm width permitted | occasional open joints up to max. 2 mm width permitted | occasional open joints up to max. 3 mm width permitted |
| Blue stains | not permitted | slight discolouration permitted | permitted |
| Discolorations (brown stains, etc.) | not permitted | not permitted | permitted |
| Resin pockets | no clusters of pockets, max. 5 × 50 mm | max. 10 × 90 mm | permitted |
| Bark ingrowths | occasional occurrences permitted | occasional occurrences permitted | permitted |
| Dry cracks | occasional surface cracks permitted | permitted | permitted |
| Core – pith | occasional, up to 40 cm long permitted | permitted | permitted |
| Insect damage | not permitted | not permitted | occasional small holes up to 2 mm permitted |
| Knots – sound | permitted | permitted | permitted |
| Knots – black | ∅ max. 1.5 cm | ∅ max. 3 cm | permitted |
| Knots – hole | ∅ max. 1 cm | ∅ max. 2 cm | permitted |
| Rough edges | not permitted | not permitted | max. 2 × 50 cm |
| Surface | 100% sanded | 100% sanded | max. 10% of surface rough |
| Quality of surface finish | occasional small faults permitted | occasional faults permitted | occasional faults permitted |
| Quality of narrow side bonding and face ends | occasional small faults permitted | occasional faults permitted | occasional faults permitted |
| Chamfer on L panels | yes | yes | no |
| Rework edge of cut with sandpaper | yes | no | no |
| Machining – chainsaw | not permitted | permitted | permitted |
| Lamella width | ≤ 130 mm | max. 230 mm | max. 230 mm |
| Moisture content | max. 11% | max. 15% | max. 15% |
| Timber species mixture | not permitted | not permitted | with spruce, silver fir and pine are permitted |
| Aesthetic surface finish with bolts, pegs, etc. | permitted | permitted | permitted |
| With C panels, the sanding direction is at right angles to the grain | permitted | permitted | permitted |

| | | | |
|--|---|-------------------------|------|
| Domus Arctica-säätiö RIIHIPELLONPUISTO | VÄLISEINÄ HUONEISTOJEN VÄLINEN SEINÄ | | 1:10 |
|  | Päätyys | VS1 | |
|  | | | |
| 240 | | | |
| PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN | | | |
| 15 mm | PALOKIPSILEVY GFL15 (K ₂ 30 SUOJAJERHOUS) | | |
| 80 mm | CLT | | |
| 50 mm | KIVILLA 50mm HUONEISTON JA PORRASHUONEEN VÄLISESSÄ SEINÄRAKENTEESSA JÄYKKÄ KIVIVILLA 30mm, ESIM. PAROC WAS 25t TAI VASTAAVA TUOTE | | |
| |  | | |
| 80 mm | CLT | | |
| 15 mm | PALOKIPSILEVY GFL15 (K ₂ 30 SUOJAJERHOUS) | | |
| PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN | | | |
| KOHTEESTA OLEMASSA PALOTEKNINEN ASIAANTUNTIJALOUSUNTO SEINÄN K ₂ 30 SUOJAJERHOUSVAATIMUKSEN TÄYTTÄVÄSTÄ 15mm:n PALOKIPSILEVYTYKSESTÄ | | | |
| - ÄÄNENERISTÄVYYS | | R' _w > 55 dB | |
| - PALONKESTOLUOKKA | | REI 60 | |

| | | |
|---|--|------|
| Domus Arctica-säätiö RIIHIPELLONPUISTO | ULKOSEINÄ, CLT-RUNKO HUONEISTOT | 1:10 |
|  | Pääty | US1 |
|  | | |
| 28 mm | ULKOVERHOUSPANEELI VAAKAAN + PALOSUOJAKÄSITTELY (B-s2, d0) TILAELEMENTIN IKKUNAN / RANSKALAISEN PARVEKKEEN KOHDALLA | |
| 32 mm | PYSTYKOOLAUS 32x100mm k600 VILLAA VASTEN OLEVA KOOLAUS RUUVATTU CLT-RUNKOON | |
| 180 mm | JÄYKKÄ LÄMMÖNERISTE, ENINTÄÄN $\lambda_{q1} = 0,036 \text{ W/mK}$ - ESIM. PAROC Cortex One TAI VASTAAVA TUOTE | |
| 80 mm | CLT | |
| 15 mm | PALOKIPSILEVY GFL15 (K ₂ 30 SUOJAJERHOUS) PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN | |
| KOHTEESTA OLEMASSA PALOTEKNINEN ASiantuntijalausunto seinän K ₂ 30 SUOJAJERHOUSVAATIMUKSEN TÄYTTÄVÄSTÄ 15mm:n PALOKIPSILEVYTYKSESTÄ | | |
| U-arvo | 0,17 W/m ² K | |
| PALONKESTOLUOKKA | REI 60 | |

| | | |
|--|---|------|
| Domus Arctica-säätiö RIIHIPELLONPUISTO | VÄLIPOHJA HUONEISTOVÄLIPOHJA | 1:10 |
|  | Päiväys | VP1 |
| | | |
|  | | |
| PINTAMATERIAALI HUONESELOSTUKSEN MUKAAN | | |
| 40 mm | PLAANOVALU (SUOJAVAATIMUS K ₂ 30) | |
| 30 mm | ASKELÄÄNIERISTE | |
| 18 mm | OSB-LEVY | |
| 260 mm | KERTO-S 51x260, k300 + PEHMEÄ LÄMMÖNERISTE 100mm ÄÄNENERISTYSTÄ VARTEN | |
| 25 mm | KOOLAUS 25x100 k400 | |
| >30 mm | ILMAVÄLI / LATTIAN KANNATUSPUU + ÄÄNENERISTYSKUMI | |
| 80 mm | CLT 80, 30-20-30, ALAPINTA VISUAALINEN LAATU | |
| PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN | | |
| - ÄÄNENERISTÄVYYS | R' _w > 55 dB, L' _{n,w} < 53 dB | |
| - PALONKESTOLUOKKA | REI 60 | |





1. Onko teillä aiempaa kokemusta CLT-rakentamisesta?
2. Kuinka tunnetuksi arvioisitte CLT:n rakennusalalla yleisesti?
3. Mitkä seikat vaikuttivat olennaisesti runkomateriaalin valintaan?
4. Miksi lopulta päädyitte CLT-tilaelementtitekniikkaan?
5. Miten suunnittelutyö eteni ja jakaantui eri toimijoiden kesken?
6. Miten ekologisuutta on lähdetty hankkeessa tavoittelemaan?
7. Miten ekologisuutta on mitattu käytännössä?
8. Voitteko eritellä kustannusten muodostumista hankkeen eri vaiheissa?
9. Kuinka suuri oli sprinklauksen osuus kustannusarviosta?
10. Missä kohdin arvioisitte CLT-rakentamisen tulevan muita vaihtoehtoja kalliimmaksi?
11. Missä kohdin arvioisitte CLT-rakentamisen tulevan muita vaihtoehtoja edullisemmaksi?
12. Millainen on ollut tyytyväisyys hankkeeseen haastateltavan näkökulmasta?
13. Miten hanke on otettu vastaan? Minkälaista palautetta projektin ulkopuolelta on tullut?
15. Mitä uhkia/haasteita näette CLT:n käytölle tulevaisuudessa kerrostalorakentamisessa?
16. Mitä etuja/vahvuuksia näette CLT:n käytölle tulevaisuudessa kerrostalorakentamisessa?
17. Onko jotain, mitä haluaisitte vielä aiheesta sanoa/lisätä?

1. Onko teillä aiempaa kokemusta CLT-rakentamisesta?
2. Kuinka tunnetuksi arvioisitte CLT:n rakennusalalla yleisesti?
3. Mikä on pääurakoitsijan osuus urakassa?
4. Mitkä ovat olleet työmaatoiminnan haasteet verrattuna perinteiseen kerrostalorakentamiseen?
5. Mitkä ovat olleet työmaatoiminnan edut verrattuna perinteiseen kerrostalorakentamiseen?
6. Miten tilaelementtien toimitukset on tahdistettu?
7. Miten kuivaketjun toimivuus on varmistettu asennustyön aikana?
8. Miten talvisiin, muuttuviin olosuhteisiin on varauduttu?
9. Ovatko sääolosuhteet rajoittaneet toimintaa työmaalla?
10. Mitkä työvaiheet ovat olleet työmaalla nopeita/aikaavieviä?
11. Miten tilaelementteihin tehdyt työt ovat toimineet käytännössä työmaalla?
12. Minkälaisia liitoksia tilaelementtien asennuksissa on käytetty?
13. Kuinka hyväksi arvioisitte tilaelementtien laadun ja CLT:n visuaalisuuden?
14. Miten ympäristöystävällisyyden huomiointi näkyy työmaatoiminnassa?
15. Millainen on ollut tyytyväisyys hankkeeseen haastateltavan näkökulmasta?
16. Miten hanke on otettu vastaan? Minkälaista palautetta hankkeen ulkopuolelta on tullut?
17. Mitä uhkia/haasteita näette CLT:n käytölle tulevaisuudessa kerrostalorakentamisessa?

18. Mitä etuja/vahvuuksia näette CLT:n käytölle tulevaisuudessa kerrostalorakentamisessa?

19. Onko jotain, mitä haluaisitte vielä aiheesta sanoa/lisätä?

1. Mitä aiempaa kokemusta teillä on CLT-rakentamisesta?
2. Kuinka tunnetuksi arvioisitte CLT:n rakennusalalla yleisesti?
3. Miten suunnittelutyö eteni ja jakaantui eri toimijoiden kesken?
4. Hyödynnettiinkö suunnittelussa RunkoPES 2.0:aa?
5. Miten ekologisuuden tavoittelu näkyi suunnittelutyössä?
6. Mitkä ovat olennaiset haasteet suunniteltaessa kerrostaloa CLT:stä?
7. Mitä mahdollisuuksia/etuja CLT tuo kerrostalosuunnitteluun?
8. Miten on hoidettu koko rakennuksen jäykistys?
9. Mitä liitostekniikoita jäykistämisessä on käytetty?
10. Toiko CLT:n käyttö etua perustusten mitoitukseen pienemmän painonsa ansiosta?
11. Miten on toteutettu riittävä ääneneristys?
12. Mistä syistä päädyttiin palomitoituksessa taulukkomitoitukseen toiminnallisen sijasta?
13. Mitkä olivat olennaisimmat haasteet/rajoitteet taulukkomitoituksessa?
14. Minkälaista sprinklerijärjestelmää kohteessa on käytetty?
15. Missä kohdin CLT on voitu jättää näkyville?
16. Missä palokatkoja on tarvittu ja millä menetelmillä ne on toteutettu?
17. Onko käytetty muita palontorjuntamenetelmiä, kuten puun palonsuojakäsittelyjä?
18. Kuinka paloturvalliseksi arvioisitte CLT-rakenteisen puukerrostalon?
19. Millainen on ollut tyytyväisyys hankkeeseen haastateltavan näkökulmasta?
20. Mitä haasteita/uhkia näette tulevaisuudessa CLT:n käytölle kerrostalorakentamisessa?

21. Mitä etuja/mahdollisuuksia katsotte CLT:llä olevan kerrostalorakentamisessa?

22. Onko jotain, mitä haluaisitte vielä aiheesta sanoa/lisätä?