

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

2018

Vili Tuomisto

CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

– Käyttö tilaelementtinä



Vili Tuomisto

CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

– Käyttö tilaelementtinä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa tiivis ja havainnollinen tietopaketti CLT:n – Cross Laminated Timber – ominaisuuksista ja soveltuvuudesta tilaelementtirakentamiseen. Työn tilaajana toimi Rakennustoimisto Jussit Oy, joka on erikoistunut kokonaisvaltaiseen pääurakointiin liike- ja toimitilarakentamisessa sekä vaativissa saneeraus- ja korjauskohteissa. Yritys on toiminut monissa vaativissa, uutta rakennustekniikkaa käyttävissä projekteissa mukana. Tavoitteena oli tuottaa yritykselle tietopaketti, jonka avulla tulevaisuudessa töiden tilaajille saadaan helposti esitettyä ja havainnollistettua CLT-tilaelementtien perusidea ja potentiaali rakentamisessa.

CLT on kohtalaisen uusi puurakennejärjestelmä, joka kehitettiin 1990-luvulla Itävallassa ja Saksassa. Sen etuihin kuuluu materiaalin ekologisuus ja kierrätettävyys. Lisäksi CLT:n lujuusominaisuudet ovat teräsbetonimaiset, mutta materiaalina se on huomattavasti teräsbetonia kevyempää. Materiaalin lujuudesta huolimatta se kuitenkin sitoo ja vapauttaa lämpöä ja kosteutta hyvin, mikä auttaa terveellisen ja viihtyisän sisäilmaston luomisessa.

Tilaelementtien käyttö on ollut pitkään yleistä laivateollisuudessa. Myös rakennusteollisuudessa tilaelementtejä on jo pitkään käytetty erilaisten teknisten tilojen ratkaisuina sekä kerrostalorakentamisessa esimerkiksi kylpyhuonemuodulleissa. Tilaelementtien etu onkin työmaalla tapahtuvien työvaiheiden minimointi sekä kuivaketjun säilyttäminen. CLT:n hyvien ominaisuuksien yhdistäminen tilaelementtirakentamiseen luo loistavan yhdistelmän molempien hyvistä puolista.

ASIASANAT:

CLT, Cross Laminated Timber, tilaelementti, ekologisuus, puurakentaminen

Vili Tuomisto

CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

- Usage as a prefabricated module

The purpose of this thesis was to produce a compact and an illustrative fact file of the qualities of CLT (Cross Laminated Timber) and its suitability in prefabricated module construction. The client of this work was Rakennustoimisto Jussit Oy, which is a company specializing in commercial construction and demanding renovation work. The company has worked on many challenging projects demanding new construction techniques. The aim was to produce a fact file for the company that will help in presenting and illustrating the basic idea and the potential of prefabricated CLT modules in construction for future clients.

CLT is a quite new timber structure that was developed in Austria and Germany in the 1990s. The benefit of CLT is that it is an ecological and recyclable material. In addition, the strength of CLT is similar to that of reinforced concrete although it is a much lighter material. In spite of its strength, CLT ties and releases heat and moisture well. This helps in creating a healthy and comfortable indoor air.

The use of prefabricated modules has been common in shipbuilding for a long time. In construction, prefabricated modules have been used for a long time as a solution in various technical spaces and in apartment construction, for example, in bathroom modules. The benefit of prefabricated modules is that they minimize the work stages on a construction site and they help in conserving the dry chain. The combination of the benefits of CLT and the benefits of prefabricated element construction makes for a great composition of their advantages.

KEYWORDS:

CLT, Cross Laminated Timber, module, ecologicality, timber construction

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
1.1 Tavoite ja rajoitukset	7
2 2 CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Historia	10
2.3 Valmistus	11
2.4 Ekologisuus	12
2.5 Kustannukset	13
3 CLT:N OMINAISUUDET	15
3.1 Rakenne ja lujuusominaisuudet	15
3.2 Lämpötekniset ominaisuudet	15
3.3 Kosteustekniset ominaisuudet	17
3.4 Palotekniset ominaisuudet	18
3.5 Äänitekniset ominaisuudet	18
4 CLT-TILAELEMENTTI	20
4.1 Tilaelementti	20
4.2 Tilaelementtien valmistus	21
4.3 Tilaelementtien kuljetus	22
4.4 Nostot	24
5 ESIMERKKIKOHDE	26
5.1 Kohde yleisesti	26
5.2 Tilaelementit	26
5.3 Perustukset ja tuenta	28
5.4 Numerointi	28
6 SUUNNITTELU	30
6.1 Kuormat	30
6.1.1 Lumikuorma	30
6.1.2 Rakenteen omapaino ja pysyvät kuormat	31
6.2 Hyötykuormat	32
6.3 Mitoitus	33

6.3.1 Gammateoria	34
6.4 Tilaelementtien mitoituksessa huomioitavaa	34
7 LIITOKSET	36
7.1 Vaakaliitokset	36
7.2 Seinien liitokset	37
7.3 Seinäelementtien liitännä väli- tai alapohjaan.	38
7.4 Liitännä perustuksiin	40
8 3D MALLINNUS	42
8.1 Ravintolarakennus	42
8.2 Moduuli 1	43
8.3 Moduuli 2	44
8.4 IV Moduuli	44
9 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	48

LIITTEET

Liite 1. Ristiinliimatun CLT-massiivipuulevyn tekninen tiedote

KAAVAT

Kaava 1. Lumikuorma katolla	31
Kaava 2. Kinostunut lumi	31
Kaava 3. Gammateoria	34

KUVAT

Kuva 1. CLT-rakenne	9
Kuva 2. CLT valmistusprosessi	12
Kuva 3. Esimerkkirakenne	17
Kuva 4. CLT-tilaelementti kerrostalon hahmotelma)	21
Kuva 5. Tilaelementin rakenne	22
Kuva 6. Tieliikenteessä sallitut mitat	23
Kuva 7. Upotettu terästanko liinalla	24
Kuva 8. Neljän pisteen nosto	25
Kuva 9. Tilaelementtien sijainti rakennuksessa	27
Kuva 10. Leikkaus tilaelementtien asettelusta	27
Kuva 11. CLT-tukirakenne	28
Kuva 12. Moduulit 1 ja 2	29
Kuva 13. IV Moduuli	29
Kuva 14. Vaakaliitos puisen välkkeen avulla.	36
Kuva 15. Ruuviliitos	37
Kuva 16. Putkiholkkia hyödyntävä liitos	37
Kuva 17. Seinien ruuviliitos	38
Kuva 18. Metallilevyä hyödyntävä liitos	38
Kuva 19. Kulmarautojen käyttö liitoksessa	39
Kuva 20. Kierretanko kiinnitys	39
Kuva 21. Liitos perustuksiin	40
Kuva 22. Vaihtoehtoinen liitos perustuksiin	41
Kuva 23. Ravintolarakennuksen runko	42
Kuva 24. Näkymä ruokasalista	43
Kuva 25. Moduuli 1. CLT-rakenne	43
Kuva 26. Moduuli 2. CLT-rakenne	44
Kuva 27. IV moduulin CLT-rakenne	45
Kuva 28. Tilaelementtien sijainti toisiinsa nähden	45

TAULUKOT

Taulukko 1. Laskennalliset kustannukset	13
Taulukko 2. Paksuuden suhde U-arvoon	16
Taulukko 3. Tilaelementtien painot	32
Taulukko 4. Käyttöluokat	33

1 JOHDANTO

Sisäilmaongelmat ovat viime aikoina olleet esillä voimakkaasti. Suurimpia sisäilmaongelmien aiheuttajia ovat kosteusvauriot ja niiden aiheuttamat homekasvustot. Kosteusvaurioita syntyy vääränlaisista rakenneratkaisuista, mutta myös toteutusvaiheen aikaisista kuivaketjun katkeamisista. Myös rakentamisen ja asumisen ekologisuus on saanut yhä voimakkaampaa huomiota ja arvostusta. Rakentamisen kustannustehokkuus on yrityksille kilpailuvaltti, kuten myös rakentamisen nopeus.

Keski-Euroopassa kehitetyn CLT-massiivipuun on mainostettu olevan ratkaisu kaikkiin edellä mainittuihin ongelmiin. Se on ekologinen, uusiutuvista luonnonvaroista valmistettu, energiatehokas ja sisäilmalle terveellinen rakennusmateriaali, jonka asennustyö on nopeaa ja joustavaa. Maailmalla CLT on jo Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa tunnettu ja suosittu rakennusmateriaali, jonka mainostetaan olevan kilpailukykyinen ratkaisu betonille.

Ratkaisuna rakentamisen nopeuden lisäämiseksi on jo pitkään esimerkiksi laivateollisuudessa käytetty tilaelementtejä. Rakentamisessa tilaelementtien tärkeimpiä perusajatuksia on kuivaketjun säilyttäminen sekä työmaalla tapahtuvien työvaiheiden minimoiminen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli koostaa tietoa CLT:stä, sen ominaisuuksista ja käytöstä tilaelementtirakentamisessa. Työssä tilaelementtien hyödyntämistä havainnollistetaan esimerkkikohteen avulla. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Rakennustoimisto Jussit Oy. Yritys on vuonna 1992 perustettu rakennusalan palveluyritys, joka tarjoaa erilaisten rakennusprojektien kokonaisvastuullista pääurakointia. Rakennustoimisto Jussit on erikoistunut liike- ja toimitilarakentamiseen sekä vaativiin saneeraus- ja korjaustöihin. Yrityksen lähtökohtana on korkea laatu, luotettavuus ja joustavuus. Laatu ylläpidetään osaavalla henkilökunnalla ja tarkoin valituilla yhteistyökumppaneilla.

1.1 Tavoite ja rajoitukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda havainnollistava tietopaketti CLT:stä rakennusmateriaalina sekä sen käyttöpotentiaalista tilaelementtirakentamisessa. Suomessa CLT on

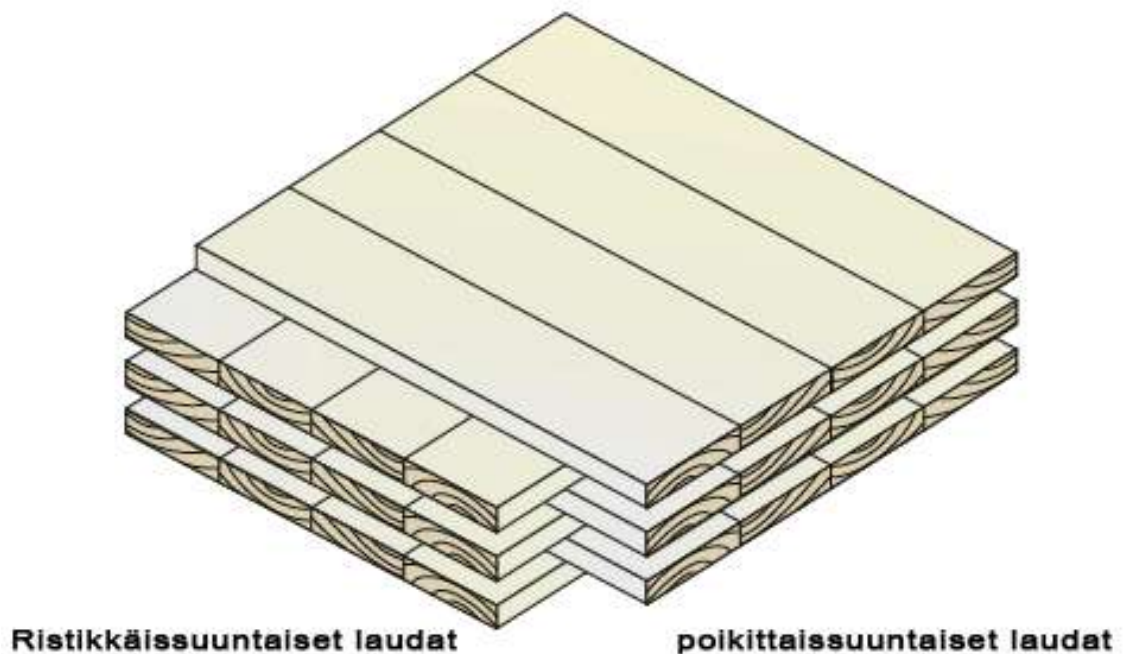
toistaiseksi hieman tuntematon rakennusmateriaali, jonka ominaisuuksia ja etuja ei moni rakennustöiden tilaaja ymmärrä. Tämän työn keskeisimpiä tarkoituksia oli luoda tiivistelmä CLT-rakennusmateriaalista sekä luoda havainnollistava 3D-malli esimerkki-kohteesta ja CLT-tilaelementtien käyttöpotentiaalista, jota tulevaisuudessa voidaan hyödyntää tilaajalle rakennevaihtoehtoa esiteltäessä.

Vakiintuneiden suunnitteluohjeiden puutteen takia tilaelementin mitoitus rajattiin ulos työstä. Olemassa olevat kaavat CLT-elementtien mitoittamiseen muuttuvat jatkuvasti, ja niiden oikeellisuutta on vaikea näyttää toteen. Erityisesti käyttö tilaelementissä asettaa erikoisvaatimuksia mitoitukseen, eikä tilaelementtiin sovellettua mitoitusohjetta ole vapaasti saatavilla.

2 CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

2.1 Yleistä

CLT eli Cross Laminated Timber on Suomessa kohtalaisen uusi rakennustuote, joka valmistetaan nimensä mukaisesti liimaamalla lautakerroksia päällekkäin toisiaan poikittaisuuhtaisesti kuvan 1 mukaisesti. Kerroksia on usein kolmesta seitsemään, ja kerrosten paksuus vaihtelee käyttökohteen mukaan. Valmis tuote on suuri massiivipuulevy, jonka maksimitat ovat tehdaskohtaisia. Tässä opinnäytetyössä mitat ja ominaisuudet perustuvat HOISKO CLT:n tuotteisiin, jotka ovat maksimissaan 3,5 x 12 m:n kokoisia levyjä. Niiden paksuudet vaihtelevat 60 – 400 mm:n välillä. Liitteessä 1 on esitelty HOISKO:n tuotekortti CLT-rakenteille. Käyttökohteiksi soveltuvat nykytekniikalla niin omakotitalot, rivitalot kuin kerrostalot ja isommat hallirakennuksetkin. CLT-tekniikalla on mahdollista tuottaa kokonaisia seinä- ja välipohjajaelementtejä sekä tilaelementtejä. (Puuinfo Oy 2018a.)



Kuva 1. CLT-rakenne (FPinnovations 2011a.)

Ominaisuuksiltaan CLT on itsestään jäykkää ja lujaa, minkä ansiosta se soveltuu käytettäväksi kantavana ja jäykistävänä rakenteena. Massiivipuulevyt ovat myös hyvin paloturvallisia sekä lämpöä eristäviä. Lisäksi puurakenteella on hyvät ominaisuudet sitoa ja vapauttaa kosteutta. Hengittävä rakenne auttaa luomaan terveellisen sisäilman. Nykyaikaisen teknologian avulla suunnittelusta on tullut erittäin joustavaa ja tuotteiden valmistuksesta mittatarkkaa ja korkealaatuista. Valmiilla tuotteella on vaihtoehtoisia runkorakennemateriaaleja usein huomattavasti pienempi hiilijalanjälki ja rakennusprosessi on huomattavasti nopeampi. Myös työstettävyys työmaalla on esimerkiksi betonirakenteisiin verrattuna huomattavasti helpompaa ja nopeampaa. (Kiintopuu 2018.)

2.2 Historia

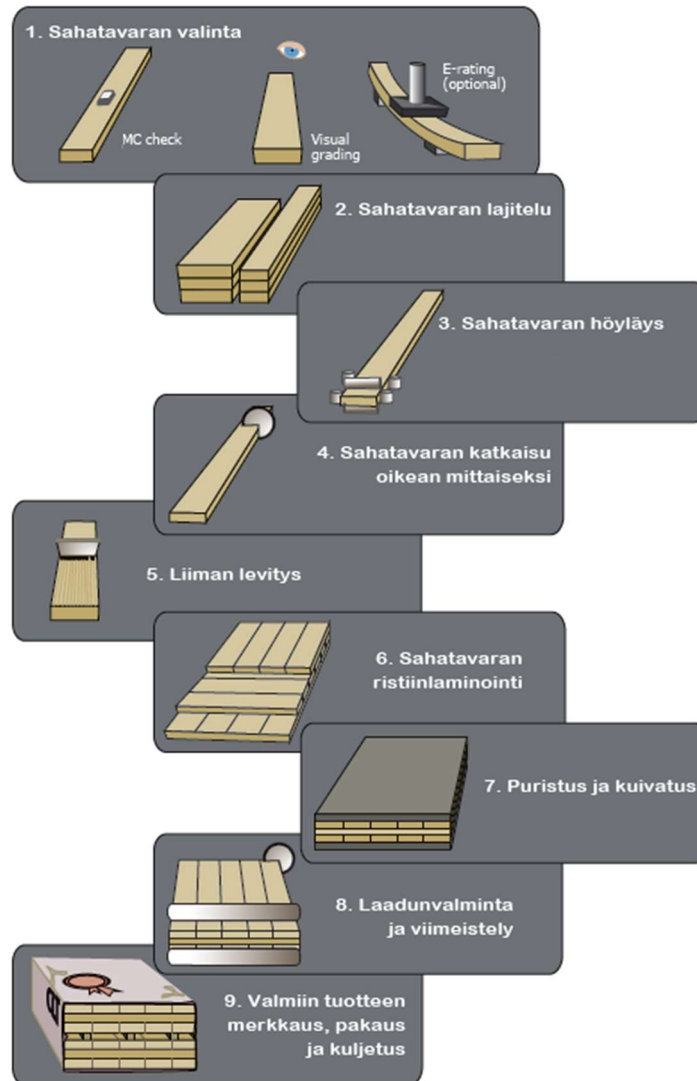
CLT:n kehitys alkoi jo 1990-luvun alussa Itävallassa ja Saksassa. Kuitenkin suurempaan tuotantoon ja nykyiseen muotoonsa CLT päätyi tutkimuksien ja kehitystyön jälkeen vasta 1990-luvun loppupuolella Itävallassa. Ensimmäisen CLT-levyjä tuottavan tehtaan avasi Itävaltaan perheyriety nimeltä KLH Massivholz, joka on edelleen toiminnassa. Vaikka puu on ollut rakennusmateriaalina suosittu jo vuosisatojen ajan, vasta CLT-massiivipuun elementtien kehitys toi markkinoille puutuotteen, joka kilpailee teknillisiltä ja rakenteellisilta ominaisuuksiltaan betonin kanssa. Tuotteen tunnustaminen ja hyväksyminen Euroopan markkinoille vaati vuosien tutkimus- ja testaustyön. 2000-luvun puoliväliin mennessä CLT alkoi jo olla laajalti hyväksytty ja tiedostettu rakennusmateriaali Euroopassa, ja sen kysyntä kasvoi huomattavasti. Kysynnän kasvua on vauhdittanut entisestään tuotteen ekologisuus verrattuna teräkseen ja betoniin, jakelun ja saatavuuden kasvu sekä vahva markkinointi. Tällä hetkellä etenkin Keski-Euroopassa CLT:n kysyntä on jo korkealla tasolla ja jatkaa vain kasvamistaan. (Timberfirst 2012.)

Suomeen CLT-elementtejä on tuotu aiemmin lähinnä Itävallasta, jossa tuotetta on tuottanut jo vuosia Stora Enso. Suomessa ensimmäinen CLT-massiivipuuelementtejä valmistava tehdas avautui Kuhmossa vasta vuonna 2014 (Puuinfo Oy 2014). Viime vuosina jatkuneen kysynnän seurauksena CLT-elementtejä valmistavia tehtaita on avattu Suomeen lisää. Tässä opinnäytetyössä käytettävän CLT Finland Oy:n Hoiskon ensimmäisenä

mäinen tehdas käynnistyi vuonna 2015 ja toinen 2017 Alajärven Hoiskossa Etelä-Pohjanmaalla. CLT Finland Oy on Suomen suurin CLT-elementtejä tuottava yritys. (RIA ry 2018.)

2.3 Valmistus

Suomessa käytettävät CLT-massiivipuulevyt valmistetaan useimmiten kuusilaudasta, mutta myös muita puulajeja voidaan käyttää. Usein näkyviksi jäävissä pinnoissa käytetään parempilaatuista lautatavaraa kuin piiloon jäävissä pinnoissa. Käytettävän sahataran kosteuspitoisuus mitataan ja laatu varmistetaan ennen käyttöä. Koska pintalamelli saattaa jäädä näkyväksi osaksi rakennetta, saattaa se asettaa rajoituksia pinta-laudoituksen ulkonäölle, jolloin sahatavara valitaan silmämääräisesti. Laudat liimataan ristiin käyttämällä formaldehyditöntä liimaa. (Puuinfo Oy 2011a.) Ulkomailta valmistetuissa CLT-elementeissä liima-aineena käytetään myös MUF-liimoja, jotka omaavat formaldehydittomia liimoja paremmat lämmönkestävyysarvot. Molemmilla liimoilla on hyvä kosteuden ja auringonvalolle altistumisen sietokyky, mutta MUF-liiman formaldehydin haitallisten ympäristöpäästöjen takia sitä ei Suomessa käytetä. (Brandner 2013.) Kuvassa 2 on esitetty CLT:n valmistuksen pääasialliset vaiheet.



Kuva 2. CLT:n valmistusprosessi (FPInnovations 2011b.)

2.4 Ekologisuus

Yksi CLT-rakentamisen hyvistä puolista on materiaalin ja rakentamistekniikan ympäristöystävällisyys. Puu on pitkäikäinen rakennusmateriaali, jolla on hyvä energiatase, ja oikein kierrätettynä puuhun varautunutta energiaa pystytään hyödyntämään tehokkaasti esimerkiksi sähkön tai lämmön tuotannossa. Puu myös sitoo tehokkaasti hiilidioksidia kasvuvaiheessaan, ja valmis tuote toimii siten hiilivarastona. Tutkimuksien mukaan rakennusmateriaalien valmistuksesta aiheutuvista päästöistä noin 90 % aiheutuu teräksen sekä sementin valmistuksesta. (Puuinfo Oy 2018b.) Etenkin kantavissa rakenteissa yleisesti käytettäviin betoniin ja teräkseen verrattuna CLT on siis merkittävästi

ekologisempi vaihtoehto. Tässä työssä käytettävän HOISKO CLT:n tuotteet valmistetaan vain kotimaisten PEFC-sertifikaatin omaavien toimittajien puutuotteista, millä varmistetaan tuotteen kotimaisuus ja se, että puu on kotoisin kestävästi hoidetusta metsästä. (HOISKO CLT 2018.)

2.5 Kustannukset

Yleisesti rakentamisessa eräs keskeisempiä sekä tilaajaa että urakoitsijaa kiinnostavista kysymyksistä on rakennustyön hinta. CLT-rakenteita on toistaiseksi rakennettu Suomeen melko vähän, eikä siten kustannustietoa ole paljoa saatavilla. Tässä työssä kustannuksien hahmottamiseksi käytetään esimerkkinä Kemin Digipolis Oy:n tuottamaa kustannustutkimusta CLT-pientalorakentamisessa.

Tutkimuksessa oli suunniteltu kaksi tiloiltaan ja muodoiltaan samanlaista taloa, joista toisessa kantavana runkona toimi CLT-elementit ja toisessa normaali puurunko. Rakennesuunnitelmien pohjalta kokenut kustannuslaskija suoritti molemmista taloista kustannuslaskelmat.

Työn lopputuloksena CLT-rakenteisen talon lopullinen hinta arvioitiin olevan noin 18 000 euroa kalliimpi kuin normaalissa rankarakenteisessa puutalossa. Taulukossa 1 on esitetty laskennalliset kustannukset. (Kemin Digipolis Oy 2014.)

Taulukko 1. Laskennalliset kustannukset (Kemin Digipolis Oy 2014).

Kustannusvertailu	Puurankatalo	CLT-talo	Erotus
Työpalkat	26912	16448	10463
Rakennusaineet ja tarvikkeet	54159	44944	9215
Alihankinnat ja palvelut	32469	70237	-37768
Sosiaalikulut	19646	12007	7638
Yhteensä veroton	133185	144524	-11339
Yhteensä verollinen, alv 24% ~Rakennustekninen hinta	165150	179210	-14060
Maanrakennus	7000	7000	0
Talotekniikan järjestelmät	31000	31000	0
Rakennuttaminen	10000	10000	0
Suunnittelu	15000	18000	-3000
Liittymät	5000	5000	0
Yleiskulut ja kate	25000	25000	0
Arvonlisävero	54284	57726	-3441
Avaimet käteen hinta, alv 24%, ilman tonttia ja varainsiirtoveroa	280470	298250	-17780
€/ka-m²	1934,27	2056,90	-122,62
Työtunnit yhteensä	1428	888	540

Tutkimuksen tuloksiin perustuen CLT on normaalia puurunkorakentamista kalliimpaa. Toistaiseksi CLT-elementtien hintaan vaikuttaa vähäinen saatavuus ja suunnittelu- ja asennustöiden ammattilaisten vähäinen määrä Suomessa.

3 CLT:N OMINAISUUDET

3.1 Rakenne ja lujuusominaisuudet

Ristiin liimauksen ansiosta CLT-levyt ovat ristiin kantavia ja itsestään jäykistäviä. Rakenne takaa tuotteelle suuren lujuuden, eikä erillistä jäykistystä tai tukea tarvita. Ominaisuuksiltaan CLT on siis teräsbetonimainen, mutta kuitenkin huomattavasti kevyempi tuote. Edellä mainittujen ominaisuuksien ansiosta CLT sopii loistavasti kantavaksi rakenteeksi. Ristikkäiset kerrokset kuitenkin altistavat sen normaalia yhteen suuntaan liimattua liimapuuta herkemmin ajankulusta riippuville muodonmuutoksille. Suunnittelussa CLT-rakenteita täytyykin kuormien aikaluokkaan ja taipumaan kiinnittää erityistä huomiota. (FPInnovations 2011a.)

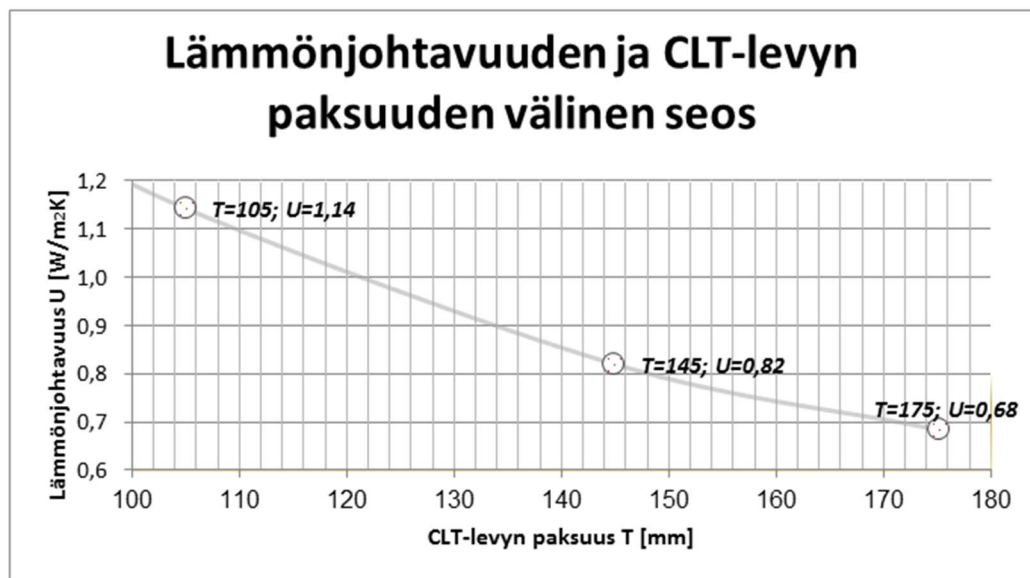
Yleisimmin CLT-levyt ovat lujuusluokitukseltaan luokkaa C24, joka on yleisin rakentamisessa käytetty havupuusahatavaran luokka. Erona normaaliin runkoon on kuitenkin se, että esimerkiksi 600 mm:n jaolla olevien runkokannattajien sijaan koko seinä toimii kantavana ja näin ollen kantavuuspotentiaali on huomattavasti suurempi ja seinä on itsestään jäykkä. Rakenteen painona käytetään laskennassa arvoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. CLT-levyt sopivat käytettäväksi käyttöluokissa 1 ja 2, mikä tarkoittaa sitä, että CLT soveltuu käytettäväksi kuivina pysyvissä rakenteissa sisä- ja ulkotiloissa. (Brännare 2012.) Suunniteltaessa CLT-rakenteita on kuitenkin muistettava huomioida lamellirakenteessa ristiin liimattujen kerroksien suunnat ja niiden vaikutus esimerkiksi veto- ja taivutuskestävyyteen. (RIA ry 2018.)

3.2 Lämpötekniset ominaisuudet

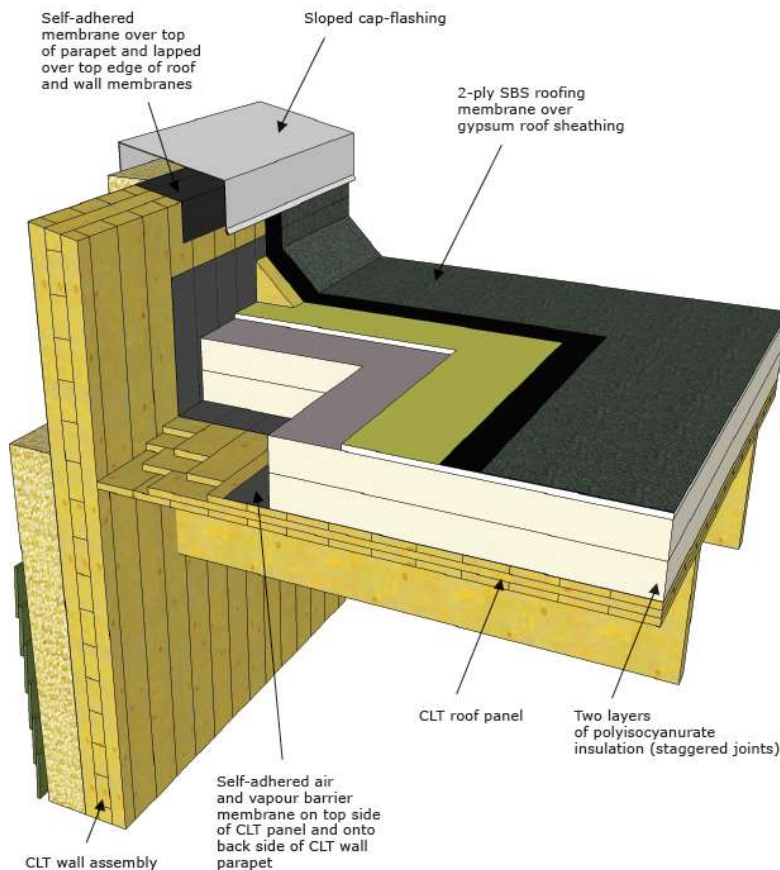
CLT:n rakenne on tiiviin ristiin liimauksen ansiosta erittäin ilmatiivis, ja siten se soveltuu hyvin esimerkiksi passiivitalorakentamiseen. Oikein asennettuna myös liitoksista saadaan helposti erittäin tiiviitä. Puu on ominaisuuksiltaan myös lämpöä sitova, mikä auttaa ylläpitämään lämpötasapainoa kaikkina vuodenaikoina. CLT-elementit ovat helposti eristettävissä esimerkiksi liimaamalla eriste suoraan rakenteeseen, jolloin kylmäsiltoja ei käytännössä synny.

Suomessa valmistettavien CLT-tuotteiden lämmönjohtavuusarvo $\lambda = 0,11 \text{ W/mK}$, joka on pienellä erolla tavallista massiivipuuta parempi (Stora Enso 2018). Suomessa ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmassa on asetettu rakenteille vähimmäisvaatimukset lämmönläpäisykertoimelle eli U-arvolle. Niiden mukaan normaalipuurunkoisen asuinrakennuksen ulkoseinän U-arvon tulee olla vähintään $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. CLT-rakenne itsestään ei millään järkevällä seinäpaksuudella tuota arvoa saavuta, joten seinä on aina eristettävä. Taulukossa 2 esitetään käyrä eri seinäpaksuuksien vaikutuksesta U-arvoon.

Taulukko 2. Paksuuden suhde U-arvoon (CLTtalo.fi 2018).



Nykyaikaisilla eristeillä saavutetaan kuitenkin jo kohtalaisen pienellä eristyskerroksella vaadittavat vaatimukset. (CLTtalo.fi 2018.) Kuvassa 3 on esitetty esimerkkiratkaisu seinä- ja kattorakenteen eristämiseksi. Kuvan tilanne myös vastaa tässä työssä käytetyn esimerkkikohteen rakennussuunnitelmien mukaista kattorakennetta.



Kuva 3. Esimerkkirakenne (FPinnovations 2011e).

3.3 Kosteustekniset ominaisuudet

Puurakentamisessa kosteustekniset asiat ovat tärkeässä roolissa, sillä puu kutistuu ja laajenee eri kosteusolosuhteissa, mikä vaikuttaa hieman lujuusominaisuuksiin (tämä on huomitu käyttöluokkaa valittaessa). Jatkuvasti kostealla rakenteella on myös suuri riski homehtua ja lahota, mikä aiheuttaa terveydellisiä riskejä. (puuinfo Oy 2018c.) Ristiinlaminoidun muodon ansiosta CLT ei ole niin altis kosteuseroista aiheutuvalle elämiselle kuin normaalit puutuotteet. Hoiskossa valmistettujen CLT-elementtien kosteusprosentti on 12% + /-2% (Puuinfo Oy 2018a).

Rakennusmateriaalina puu tunnetaan sen kosteutta sitovista ja vapauttavista ominaisuuksista. Puu auttaa ylläpitämään kosteustasapainoa sisätiloissa, mikä auttaa luomaan terveellisen sisäilmaston. Ehjä CLT-elementti lasketaan kuitenkin niin tiiviiksi, että se voidaan huomioida rakenteessa höyrynsulkuna, eikä höyrynsulkumuoville rakenteessa ole tarvetta.

3.4 Palotekniset ominaisuudet

Massiivipuisten rakenteiden palokestävyys on nykyaikaisten tutkimusten mukaan paremmat kuin mitä yleisesti luullaan. Ennen puun syttymistä sen sitoman veden on haihduttava ja syttymisen jälkeen puun pinta hiiltyy luoden ydintä suojaavan hiilikerroksen. Lisäksi puu ei menetä lujuuttaan kuumanaakaan toisin kuin esimerkiksi teräs. Näiden ominaisuuksiensa ansiosta CLT-rakenteilla on helppo saavuttaa useimmat yleiset palonkestävyysluokitukset.

CLT:n hiiltymisnopeudeksi HOISKO CLT on antanut 1,00 mm/min. Lisäksi rakennustuotteena CLT täyttää luokan D-s2, d0 vaatimukset. Luokitus tarkoittaa, että CLT-levyn osallistuminen paloon on hyväksyttävissä (D), savuntuotto vähäistä (s2) ja palavia pisaroita ei synny (d0) (Brännare 2012.)

Stora Enson teettämien testauksien mukaan CLT-elementit saavuttavat REI 60 -paloluokan jo 80 mm paksuissa väliseinärakenteissa 35 kN/m kuormalla, mikä tarkoittaa, että rakenne ei menetä tiiveyttään, kantavuuttaan eikä palotilanteessa vaadittua eristävyyttään 60 minuutin palon aikana (Stora Enso 2015).

3.5 Äänitekniset ominaisuudet

Puurakenteissa yksi oleellinen suunnitteluhaaste syntyy äänieristävyydestä sekä värähtelystä. Erityisesti monikerroksiset puurakennukset tulee suunnitella tarkkaan, jotta vaatimukset värähtelylle ja äänieristävyydelle saavutetaan. Yleisimmät ongelmat syntyvät portaikoista ja välipohjien läpi kantautuvista äänistä. Välipohjissa ratkaisuna usein käytetään erilaisia kerrosrakenteita sekä eristeitä. (Pulkkinen 2016.)

Suomessa rakentamismääräysten mukaan huoneistojen välillä tulee täytyä ilmaääneneristysluku $R'_w \geq 58$ dB, joka käytännössä tarkoittaa, että voimakas puhe ei kuulu seinien läpi. Ilmaäänieristävyyteen vaikuttaa ilmatiiveys, reiät, kerrokset, rakenteen paino ja liitokset rakenteisiin.

Massiivipuuisissa rakenteissa, kuten CLT-levyissä, ilmaäänieristys voidaan arvioida rakenteen massasta. Opinnäytetyössään Jari Brännare (2012) laski, että massateoriaan pohjautuvalla kaavalla laskettaessa CLT ei yksinään realistisilla paksuuksilla tavoita

äänieristävyysarvoja välipohjassa, vaan rakenne vaatii lisäeristystä. Myös aske-
läänieristävyys ehdot eivät yksinään CLT-levyrakenteissa täyty. (Brännare 2012.)

4 CLT-TILAELEMENTTI

4.1 Tilaelementti

Nimensä mukaisesti tilaelementti on valmiiksi tilaksi etukäteen rakennettu elementtirakenne, joka voi toimia osana isompaa rakennusta tai itsestään valmiina rakennuksena. Tilaelementtien käyttö nykypäivänä on suosituinta laivateollisuudessa esimerkiksi hyttielementeissä, mutta myös rakennusteollisuudessa on jo pitkään käytetty tilaelementtejä esimerkiksi märkätilojen sekä erilaisten teknisten tilojen rakentamisessa. Tilaelementtien suurin etu on työmaalla tapahtuvan asennusvaiheen nopeus sekä kuivaketjun säilytys. Tilaelementit sisältävät usein jo kaikki LVIS-asennukset, kalusteet ja pinnoitteet poistaen näiden työvaiheiden suoritustarpeen työmaalta. Tämä säästää huomattavasti aikaa. Parhaassa tapauksessa jo suojattu tilaelementti nostetaan työmaalle saapuessa vain paikalleen ja tekniikka liitetään kiinni, jonka jälkeen tila on valmis käyttöönottoa varten.

Yleensä tilaelementit ovat runkorakenteeltaan puuta tai terästä. CLT kuitenkin tarjoaa erittäin tehokkaan vaihtoehdon normaalin puurungon rinnalle hyvien ominaisuuksiensa ansiosta. CLT-rakenteella saavutetaan suuri kantavuus, jolloin elementeistä voidaan koota jopa monikerroksisia kokonaisrakenteita, kuten kerrostaloja (ks. kuva 4).



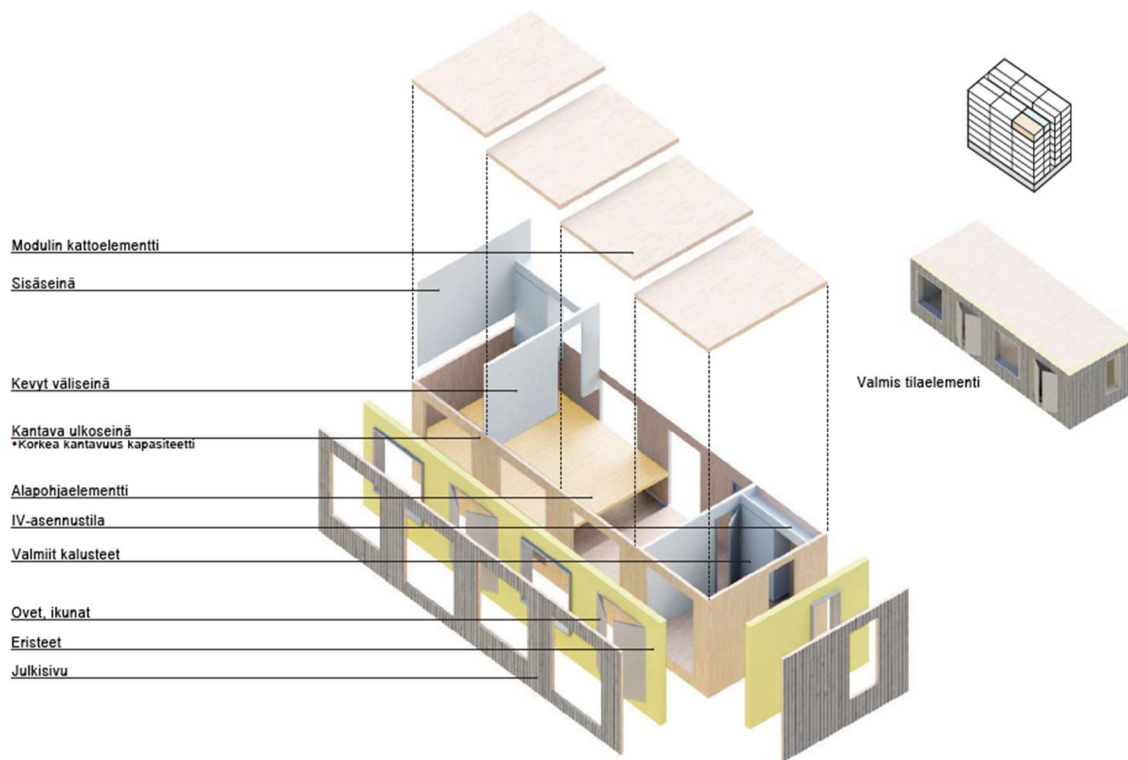
Kuva 4. CLT-tilaelementtikerrostalon hahmotelma (Weber Thompson 2013).

4.2 Tilaelementtien valmistus

Suomen hankalissa sääoloissa arvostetaan nykypäivänä rakennustuotteiden kuivaketjun säilymistä, jotta kosteusvaurioilta rakennusvaiheen aikana voidaan välttyä. Usein sääsuojaimiseen käytetäänkin työmaalla valtavasti työtunteja ja materiaalia. Tilaelementtien eräänä hyvänä puolena on niiden valmistusprosessin toteutus usein täysin kuivissa teollisuustiloissa, jolloin erillistä sääsuojaa ei tarvita eikä kuivaketju pääse missään vaiheessa katkeamaan.

Kuvassa 5 havainnollistetut tilaelementin komponentit, eli pohja- ja seinäelementit, tekniikka, sisustus ja muu sisältö, toimitetaan kokoamispaikalle. Kokoamispaikkana käytetään yleisesti kuivaa sisätilaa, kuten teollisuushallia, jossa on valmiiksi hallinosturi nostotöitä varten. Valmiiksi mitoitettut ja muotoonsa sahatut tilaelementin komponentit

asennetaan paikoilleen, jonka jälkeen tekniikka ja sisustus asennetaan tilaelementtiin. Tällä menetelmällä etenkin tekniikan ja sisustuksen asennus on nopeaa, kun työkalut ja materiaali on helposti saatavilla ja käytettävissä. Valmiiseen tilaelementtiin kiinnitetään tarvittavat nostotuet ja -kiinnikkeet, jonka jälkeen koko tilaelementtimoduuli suojataan huolellisesti kuljetusta ja asennuksen aikana tapahtuvaa sääallistusta varten.



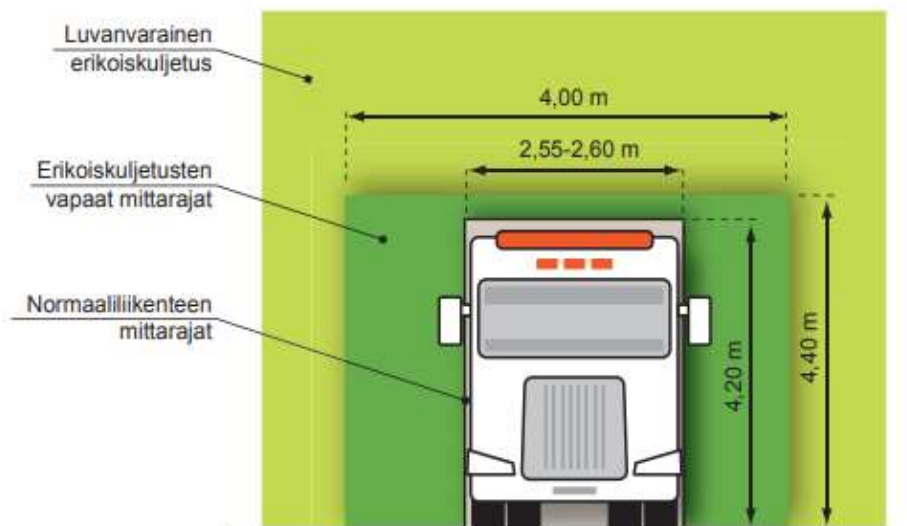
Kuva 5. Tilaelementin rakenne (Stora Enso 2016, kuvaa muokattu).

4.3 Tilaelementtien kuljetus

Vaikka tehtailla on olemassa maksimitat CLT-massiivipuulementtien tuotannolle, rajoittavat usein logistiset syyt tilaelementtien kokoa tuotannollisia syitä enemmän. Suomessa tieliikennekuljetuksissa on elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus asettanut rajoitteet kuormille, joita voidaan kuljettaa ilman erityislupaa. Kuljetukset jaetaan ELY-keskuksen ohjeistuksen mukaan kolmeen eri luokkaan:

- Normaalikuljetus
kuljetus ei ylitä normaaleja mitta- tai painorajoja
- Erikoiskuljetus, joka ei ylitä vapaita mittarajoja (ks. kuva 6)
 - kuljetus ylittää normaaliliikenteelle sallitut mittarajat
 - ei tarvitse erikoiskuljetuslupaa
 - noudattaa erikoiskuljetuksen merkitsemisestä ja varoitustoimenpiteistä annettuja määräyksiä
- Luvanvarainen erikoiskuljetus
 - ylittää vapaat mittarajat tai massat (ks. kuva 6)
 - tarvitsee erikoiskuljetusluvan
 - noudattaa erikoiskuljetuksen merkitsemisestä ja varoitustoimenpiteistä annettuja määräyksiä

Suunniteltaessa tilaelementtien liikuttamista tieliikenteessä on myös syytä huomioida kuormalavan korkeudesta aiheutuva lisä itse elementin korkeuteen (ELY-keskus 2018).



Kuva 6. Tieliikenteessä sallitut mitat (ELY-keskus 2018).

4.4 Nostot

Tilaelementtirakentamisessa on huomioitava, että tilaelementtejä joudutaan siirtelemään nostamalla tehtaalla sekä rakennuskohteessa asennusvaiheessa. Nostotyöt asettavat tilaelementeille tiettyjä rajoituksia, joista tärkeimpiä ovat painorajoitukset ja painojakauma. Vaadittavan nostokaluston kokoon vaikuttaa suoraan nostettavan kohteen paino ja nostoetäisyys. Kustannuksia ajatellen olisi viisainta suunnitella tilaelementit kevyiksi ja mahdollisimman saman painoisiksi, jotta käytettävän nostokaluston koko ei määräytyisi yhden muita raskaamman tilaelementin mukaan vaan olisi sopiva kaikille. (Stora Enso 2016.)

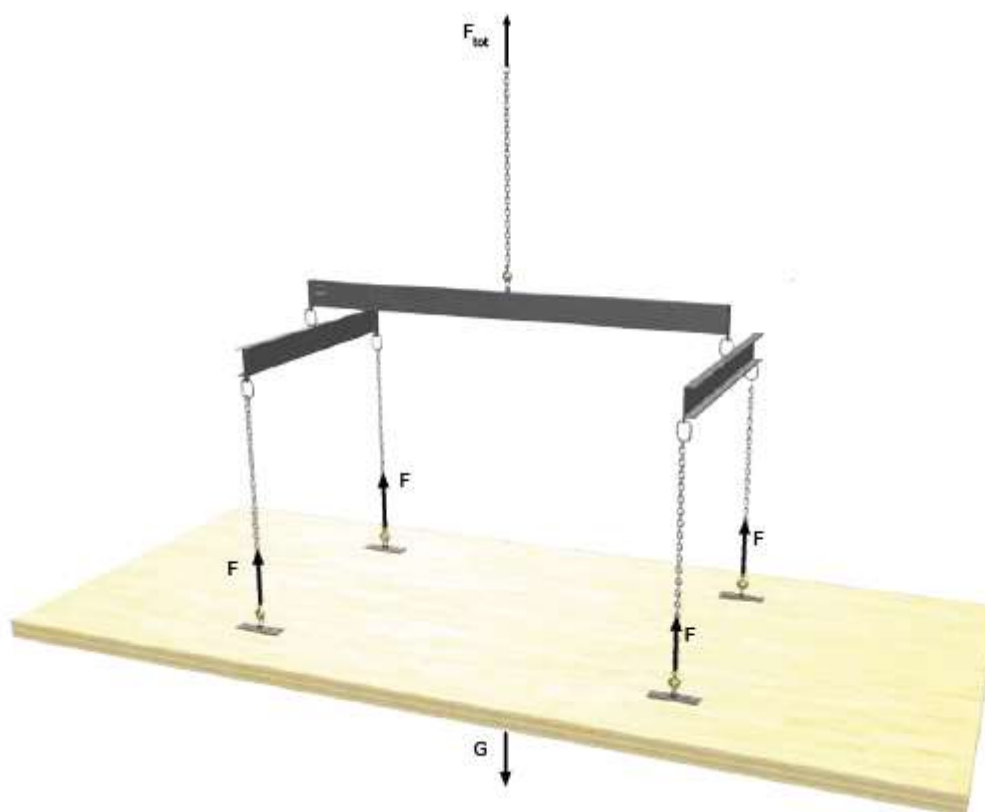
Nostamiseen käytettäviä kiinnikkeitä ja nostotekniikoita on kymmeniä. Tilaelementtejä nostetaan usein paikoilleen käyttäen kuormaliinoja tai tehtaalla CLT-elementteihin valmiiksi asennettuja nostokiinnikkeitä. Rakennesuunnittelija määrittää mitoituksen yhteydessä käytettävät kiinnikkeet ja nostotekniikan, sillä nostotilanteessa vallitseva kuormitustilanne saattaa toimia mitoittavana kuormitustilanteena.

Kuvassa 7 on esitetty Euroopassa usein käytettävä nostokiinnike, jossa CLT-elementtiin on valmistusvaiheessa upotettu rautatanko, johon on kiinnitetty kuormaliina.



Kuva 7. Upotettu terätanko liinalla (FPinnovations 2016c).

Tilaelementti tulisi nostaa aina vähintään neljästä eri nostopisteestä. Nostotoissa tulisi lisäksi käyttää kuormaa tasaavaa nostotekniikkaa, esimerkiksi kuvan 8 mukaista nostopalkkijärjestelmää. Neljällä nostopisteellä turvataan tilaelementin vakaa ja tasapainoinen nosto. Nostopalkeilla puolestaan turvataan nostovoimien kohtisuora vaikutus, jotta vältetään tilaelementtiin kohdistuvaa vääntöä.



Kuva 8. Neljän pisteen nosto (FPinnovations 2011c).

Jossain tapauksissa neljä nostopistettä ei ole riittävä määrä. Usein riittämättömyyden aiheuttaa epätasaisesti jakaantunut kuormitus, suuret aukot seinäelementeissä tai tilaelementin paino. Nostopisteiden määrää voidaan näissä tapauksissa kasvattaa kuuteen tai kahdeksaan. Senni Sorrin diplomityön (2016) yhteydessä tehdyissä haastatteluisissa ilmeni, että yli neljän pisteen nostoihin liittyvää kalustoa voi olla hankalaa löytää ja ettei rakennusliikkeillä ole usein paljoa kokemusta kyseisen tyyppisistä nostoista. Myös kuorman tasausjärjestelyt vaikeutuvat nostopisteiden määrän kasvaessa. Nostotöiden suunnittelun haasteena on, ettei vakiintuneita suunnitteluohjeita ole saatavilla. (Sorri 2016.)

Mitoituksessa on myös huomioitava nostotöiden yhteydessä tapahtuvan heilumisen ja liikuttamisen aiheuttamat dynaamiset voimat. Näihin kuormiin vaikuttaa käytettävä nostosysteemi, nostonopeus ja asennuspohja. Nostokiinnikkeitä ja välineistöä mitoittaessa liikehdintä otetaan huomioon dynaamisella kertoimella. Paikallaan olevien nostimien kanssa nostettaessa dynaamisen kertoimen arvo on 1,1 – 1,6 välillä nostimen tyyppistä riippuen. (FPinnovations 2016c.)

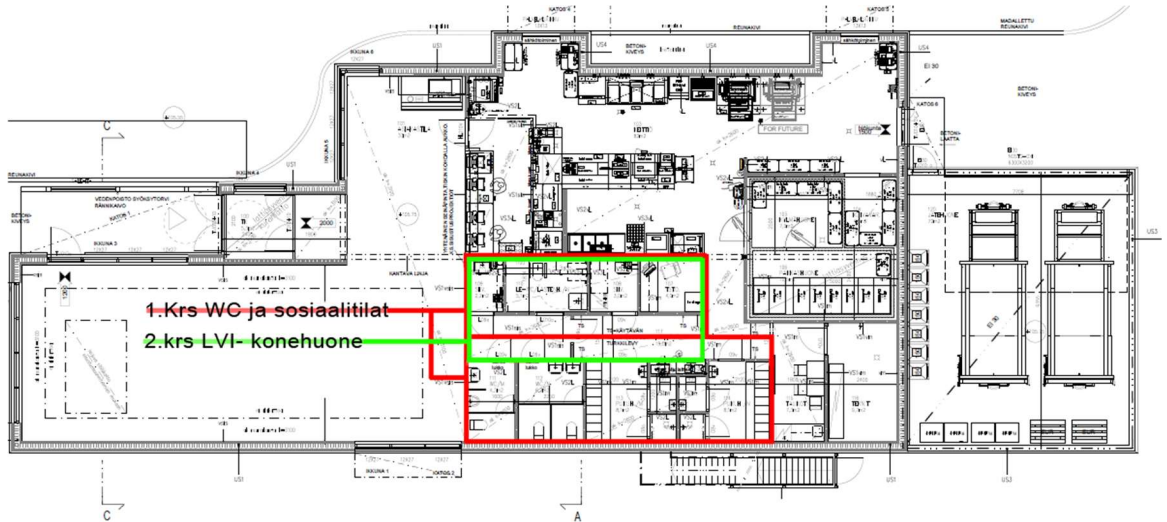
5 ESIMERKKIKOHDE

5.1 Kohde yleisesti

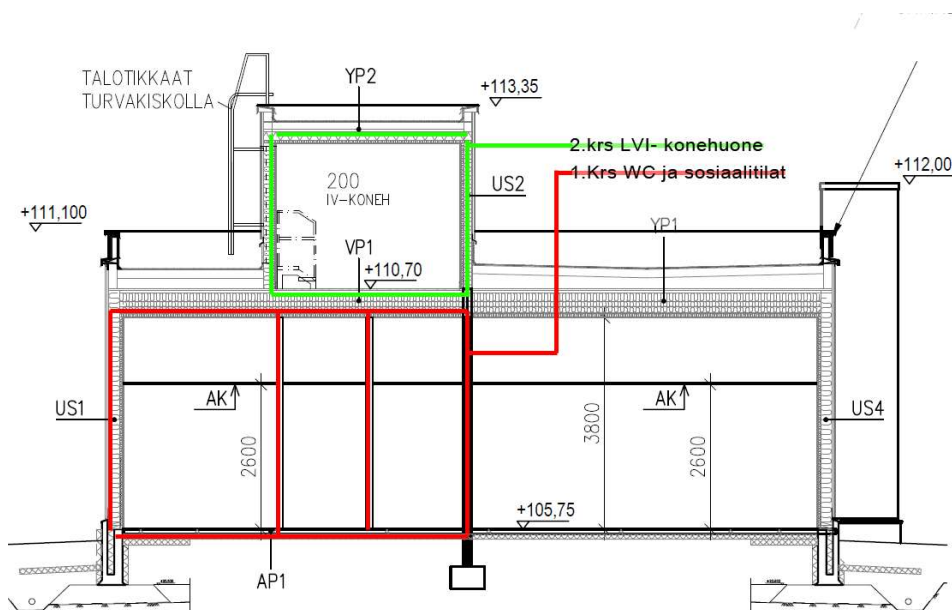
Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteena toimii Hyvinkäälle suunnitteilla oleva ravintolarakennus uudisrakennuksena. Rakennusta ei siis ole toistaiseksi toteutettu, vaan urakka oli työn aikana laskentavaiheessa. Rakennuksen arkkitehtisuunnitelmien mukaan rakennus toteutettaisiin normaali puurunkoisena maanvaraisen betonilaatan päälle. Tässä työssä tutkitaan vaihtoehtoa toteuttaa koko urakka CLT-rakenteisena tilaelementtejä hyödyntäen. Rakennuksen toimitilat sijaitsevat 1. kerroksessa, ja katolle on sijoitettu LVI-konehuone.

5.2 Tilaelementit

Kohde sisältää muutamia selviä osastoja, jotka sopivat loistavasti toteutettavaksi tilaelementtimenetelmällä. Näitä tiloja ovat kuvassa 9 punaisella rajatut sosiaali- ja WC-tilat sekä katolle sijoitettu, vihreällä rajattu IV-konehuone. Kyseiset tilat sisältävät suuren määrän LVIS-tekniikkaa sekä työvaiheita, jotka vaativat muun muassa kuivumisai-kaa, joten niiden toteutus työmaalla vaatii huomattavan määrän aikaa. Kyseisten tilojen toteutus tilaelementteinä etukäteen on siis helposti perusteltavissa työn nopeuttamisella, kuivaketjun säilymisellä sekä kustannussäästöillä.



Kuva 9. Tilaelementtien sijainti rakennuksessa.

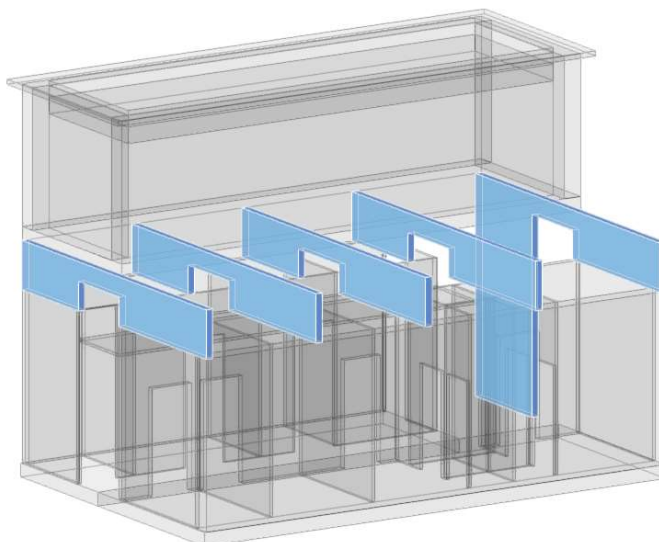


Kuva 10. Leikkaus tilaelementtien asettelusta.

5.3 Perustukset ja tuenta

Alemmat tilaelementit asennetaan valmiiksi rakennettujen perustusten päälle siten, että tilaelementtien alapohjien pidempi reuna on tuettu koko matkalta. Kuvasta 10 poiketen ensimmäisen kerroksen tilaelementtien liitoskohtaan tulisi myös asentaa tukipalkki tukemaan liitosta ja vastaanottamaan ylhäältä tulevat kuormat.

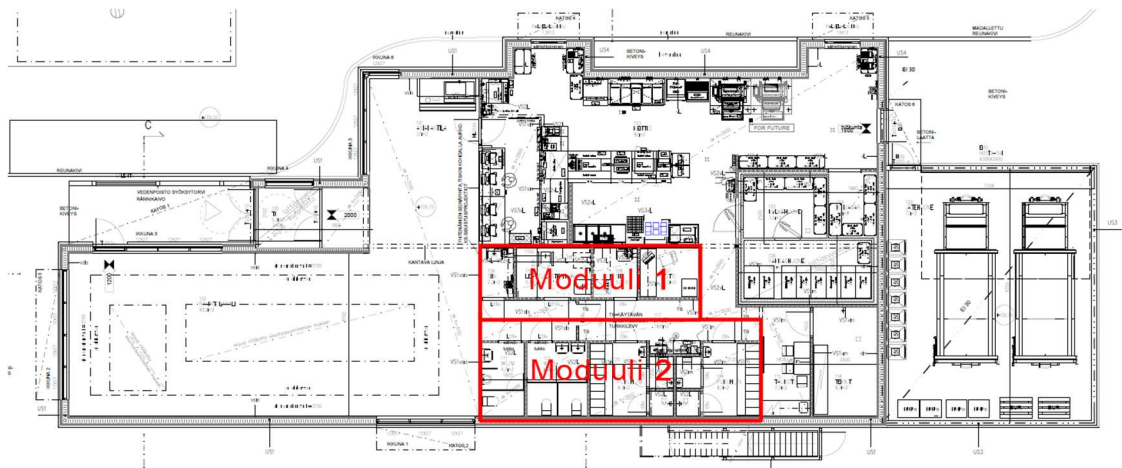
Toiseen kerrokseen asennettava IV-konehuoneilaelementti tukeutuu alla olevien tilaelementtien kantavien seinien päälle. Kerroskorkeudesta johtuen seiniä ei voida suoraan liittää toisiinsa, joten kerrosväliin asennetaan tukirakenne, joka välittää kuormat IV-konehuoneesta alempiin kantaviin rakenteisiin. Kuvassa 11 on esitetty esimerkkiratkaisu CLT-rakenteisesta tukirakenteesta.



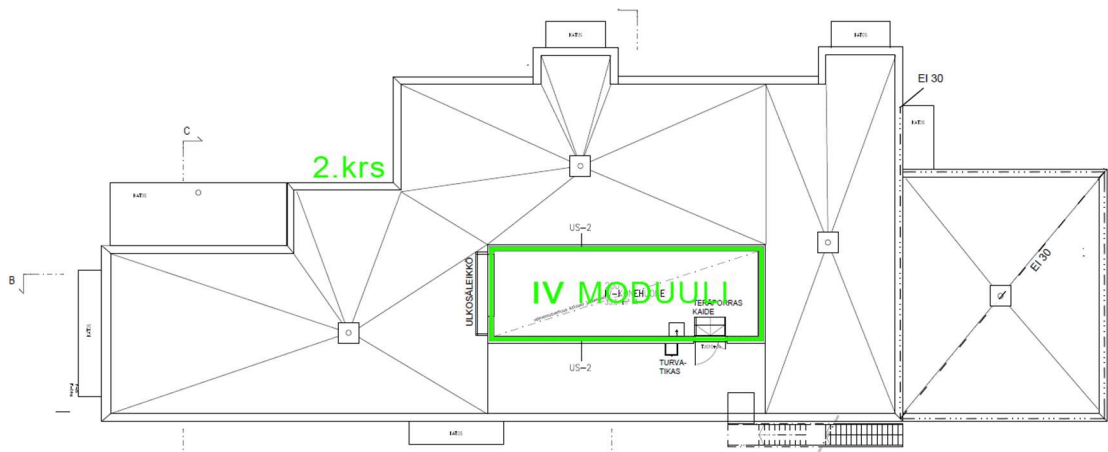
Kuva 11. CLT-tukirakenne.

5.4 Numerointi

Kohteeseen suunniteltuja tilaelementtejä on kolme erilaista kappaletta. Tilaelementtien yksilöintiä varten tilaelementit nimettiin moduuleiksi 1, 2 ja IV. Kuvissa 12 ja 13 on esitetty numerointi.



Kuva 12. Moduulit 1 ja 2.



Kuva 13. IV-Moduuli.

6 SUUNNITTELU

6.1 Yleisesti suunnittelusta

CLT:n ristiin kantava rakenne asettaa omat erikoispiirteensä suunnittelulle. Yleisesti puurakenteiden suunnittelulle on vapaasti saatavilla suunnitteluohjeita ja esimerkkilaskelmia erittäin hyvin. CLT poikkeaa rakenteena muusta puurakentamisesta, eikä siten normaaleja laskukaavoja voi suoraan sen mitoitukseen soveltaa. Lisäksi tuote on niin uusi, etteivät esimerkiksi eurokoodit ota toistaiseksi kantaa CLT:n mitoitukseen. Tällä hetkellä mitään yhtenäistä mitoitusohjetta CLT-rakenteiden suunnittelulle ei ole, vaan eri valmistajat käyttävät omia toimivaksi todettuja tapojaan mitoituksessa. Jotkut laskentatavoista pohjautuvat kokeellisuuteen, toiset ovat analyyttisiä. (FPInnovations 2011d.)

6.2 Kuormat

Esimerkkikohteessa tilaelementit toimivat osin myös kantavana rakenteena. Mitoittaessa tilaelementtien seinäelementtejä on siis huomioitava niihin kohdistuvat kuormat katolta sekä omat kuormat. Nostotöistä ja kuljetuksesta aiheutuvien voimien takia seinäelementit on syytä hieman ylimitoittaa. Ylimitoituksen sekä tilaelementtien sijainnin takia tuulikuormien arvioidaan olevan merkityksettömiä.

6.2.1 Lumikuorma

Koska katolle kertyvä lumi aiheuttaa kuormaa tilaelementtien kantaville rakenteille, on lumikuormat syytä ottaa huomioon laskennassa. Kohde on suunniteltu Hyvinkäälle, jossa lumikuorman ominaisarvo maassa S_k on $2,75 \text{ kN/m}^2$. Katon lumikuorman ominaisarvo S voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti.

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Jossa	S	katon lumikuorman ominaisarvo
	S_k	maanpinnan lumikuorman ominaisarvo
	μ_i	katon muotokerroin
	C_t	lämpökerroin
	C_e	tuulensuojaisuskerroin.

Kaava 1. Lumikuorma katolla (RIL 205-1-2017)

Koska lämpökertoimen ja tuulensuojaisuskerroimen oletetaan olevan 1, eivät ne vaikuta laskulausekkeen tulokseen. Tämän työn esimerkkikohteessa lumen ominaisarvo katolla olisi tällä laskukaavalla $S = 2,2 \text{ kN/m}^2$.

Koska katolle sijoitettu IV- konehuone voi aiheuttaa tuulen muodostamaa kinostumaa, on syytä tarkastella myös kinostuvan lumen ominaisarvo kaavalla

$$\mu_1 = 0,8 \quad \mu_2 = \gamma h/S_k$$

Kuitenkin $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$

Kaava 2. Kinostunut lumen (RIL 205-1-2017)

$$\gamma = \text{lumen ominispaino, tässä tapauksessa } 2 \text{ kN/m}^3$$

Kinostuma-alue $l_s = 2 \text{ h}$, kuitenkin $5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$. Esimerkkikohteessa kinostuma-alue on näin laskettuna 5 m ja kinostuneen lumen aiheuttama kuorma 5 kN/m^2 .

6.2.2 Rakenteen omapaino ja pysyvät kuormat

HOISKO CLT on ilmoittanut toimittamiensa CLT-elementtien kuutiopainoksi 5 kN/m^3 , jonka pohjalta on laskettu eri materiaalipaksuuksille neliökuormat.

CLT-tilaelementeissä märkätilojen neliökuormaksi on laskettu $3,5 \text{ kN/m}^2$ (Sorri 2016).

Lisäksi IV-konehuoneessa sijaitsevan koneen painoksi on ilmoitettu n. 1 700 kg.

Taulukossa 3 esitetään tilaelementtien arvioitu paino nostohetkellä. Laskennassa on huomioitu CLT-rakenteen omapaino, märkätilojen rakenteiden paino sekä IV-koneen paino. Laskennassa käytetään CLT-elementtien paksuuksina kantavissa seinissä 120 mm, kevyissä väliseinissä 80 mm sekä lattiaelementissä 140 mm.

Taulukko 3. Tilaelementtien painot.

	Kantava 120	Väliseinä 80	Lattia 140						
	Moduuli 1 WC, siivous ja toimisto			Moduuli 2 WC ja sosiaalitilat			IV Moduuli LVIS tekniikkaa		
	m ²	kg/m ²	Total	m ²	kg/m ²	Total	m ²	kg/m ²	Total
CLT lattia	16,40	70	1148	22,7	70	1589	33,5	70	2345
Märkätila	10,3	350	3605	13,5	350	4725		350	0
Kantava seinä	29	60	1740	64	60	3840	70	60	4200
väliseinä	52	40	2080	63	40	2520	+IV KONE		1636,3
Kattolevy	26,70	50	1335	36,20	50	1810	33,50	50	1675
		kg	9908		kg	14484		kg	9856,3
		kN	99,08		kN	144,84		kN	98,563

6.3 Hyötykuormat

Hyötykuormilla tarkoitetaan tilojen käytöstä aiheutuvia kuormia. Näitä kuormia ei tarvitse siis ottaa huomioon laskettaessa tilaelementin nostohetken kuormitustapauksia. Taulukossa 4 on esitetty eri luokkien määräykset.

Taulukko 4. Käyttöluokat.

Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkelymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) ¹⁾	<p>C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat.</p> <p>C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat.</p> <p>C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit.</p> <p>C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt.</p> <p>C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.</p>
D	Myymäätilat	<p>D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat.</p> <p>D2: Tavaratalojen tilat.</p>
<p>¹⁾ On syytä kiinnittää huomiota kohtaan 6.3.1.1(2), erityisesti luokkien C4 ja C5 osalta. Standardissa EN 1990 esitetään, milloin dynaamiset vaikutukset on tarpeen ottaa huomioon. Luokkaa E koskevat tiedot ovat taulukossa 6.3.</p> <p>HUOM. 1 Aiotusta käyttötarkoituksesta riippuen tilat, jotka todennäköisesti sijoitettaisiin luokkaan C2, C3 tai C4, voidaan tilaajan päätöksellä tai kansallisen liitteen perusteella sijoittaa luokkaan C5.</p> <p>HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä luokat A, B, C1...C5, D1 ja D2 voidaan jakaa alaluokkiin.</p> <p>HUOM. 3 Varasto- ja teollisuustiloja tarkastellaan kohdassa 6.3.2.</p>		

6.4 Mitoitus

Toistaiseksi ei ole olemassa mitään yhteistä eurooppalaista standardoitua mitoitusmenetelmää. CLT-elementtien mitoittamiseen käytetään muutamia eri tapoja, joista yleisimmin Euroopassa käytetty tapa perustuu Eurokoodi 5:n (EN 1994:2004) liitteessä B esitettyyn mekaanisesti kiinnitettyjen palkkien analyttiseen laskentamenetelmään. Menetelmä tunnetaan myös nimellä Gammateoria. Myös vaneriteollisuudessa käytettyä Komposiittiteoriaa (k-metodi) on käytetty laskennassa. Kolmantena vaihtoehtona on esitetty leikkausanalogiaan perustuvaa leikkausteoriaa. (FPInnovations 2011d.)

Stora Enso on julkaissut myös Calculatis-laskentaohjelman, jolla CLT-elementtien mitoitus tapahtuu Gammateoriaan perustuen. Ohjelmalla voidaan mitoittaa yksinkertaisia CLT-massiivipuulevyjä eri kerroksilla. Ohjelma osaa myös ottaa huomioon seinäelementeissä olevat ikkuna- ja oviaukot.

6.4.1 Gammateoria

Gammateoria on Euroopassa eniten käytetty laskentamenetelmä, joka pohjautuu Eurokoodi 5:n liitteessä B esitettyyn mekaanisesti kiinnitettyjen palkkien teoriaan. Laskennassa on otettu huomioon CLT:n kerrosrakente, jolloin levyn poikittaisten lamellikerrosten kuvitellaan toimivan rakenteen mekaanisina liittiminä. Poikittaisten lamellikerrosten lujuudeksi käytetään käytössä olevan puun vierintäleikkauslujuutta. Gammateorian mukaisesti tehollinen taivutusjäykkyys EI_{eff} lasketaan kaavan 3 mukaisesti. (FPInnovations 2011d.)

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^a (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

Jossa	E_i	lamellikerroksen kimmomoduuli (MPa)
	I_i	lamellikerroksen jäykkyysluku (mm^4)
	γ_i	liitoshyötysuhdekerroin
	A_i	lamellikerroksen pinta-ala (mm^2)
	a_i	reunimmaisesta lamellikerroksen keskikohtaan etäisyys keskimmaisesta lamellikerroksen keskelle (mm)

Kaava 3. Gammateoria (Eurokoodi 5 2014)

6.5 Tilaelementtien mitoituksessa huomioitavaa

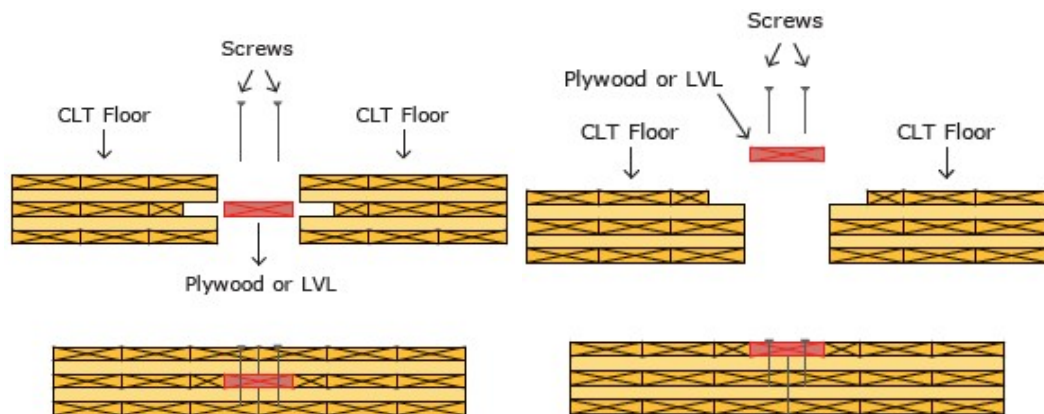
CLT-rakenteisten tilaelementtien mitoitus vaatii laajaa tietoa ja osaamista puurakenteiden suunnittelusta yleisesti ja erityisesti taitoa soveltaa CLT-elementeille kohdennettuja ohjeita. CLT-tilaelementtien suunnitteluun erikoistuneet yritykset käyttävät omia suunnittelupohjiaan ja -ohjelmiaan.

Haasteita tilaelementtien suunnitteluun aiheuttaa osakseen se, että tilaelementtien tarkoitus on usein tuottaa valmiita tiloja kustannustehokkaaseen hintaan, eikä siten varaa suureen ylimitoitukseen ole. Lisäksi CLT-tilaelementtitekniikkaa kehitetään jatkuvasti ja ohjeistuksia päivitetään ja muutetaan.

7 LIITOKSET

7.1 Vaakaliitokset

Vaakatasossa olevien levyjen väliseen liitokseen löytyy useita eri vaihtoehtoja. Kuvassa 14 on esitetty kaksi yleisintä tapaa liittää elementit toisiinsa käyttäen apuna puista välikekappaletta joko elementtien sisällä tai saumapinnoissa. Liitoksesta ja lamellien määrästä riippuen välikekappaleita voidaan käyttää useampia. Liitos kiinnitetään ruuveilla ja usein liitokseen lisätään myös liimaa. Kyseiset liitostavat soveltuvat tilanteisiin, joissa liitokseen kohdistuu vähän momenttia ja leikkausvoimaa. (FPInnovations 2011e.)



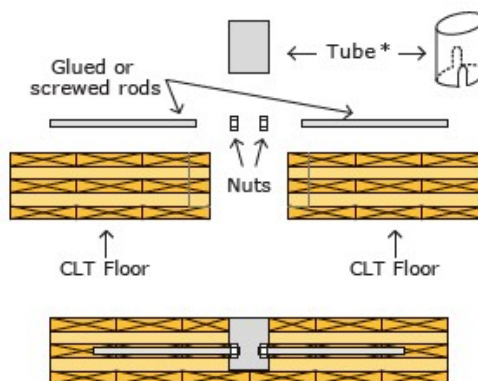
Kuva 14. Vaakaliitos puisen välikkeen avulla. (FPInnovations 2011e).

Jos vaakaliitokseen ei kohdistu suuria voimia, voidaan liitos toteuttaa myös pelkkänä ruuviliitoksena. Tällöin elementtien reunat lovetaan siten, että saumaan muodostuu liimitus. Ruuvaukseen käytetään itseporautuvia puuruuveja.



Kuva 15. Ruuviliitos (FPinnovations 2011e).

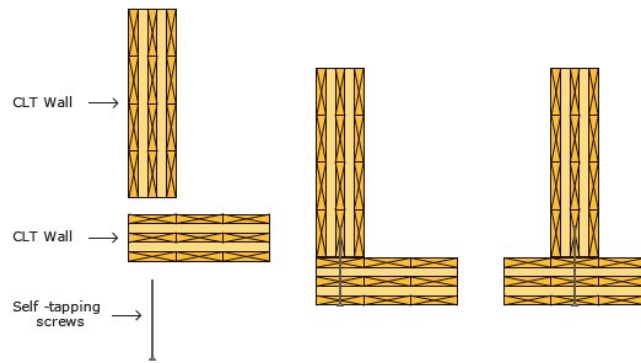
Liitoksissa voidaan myös käyttää esimerkiksi teräksisiä välikappaleita, joiden avulla liitoksesta saadaan kestävämpi. Kuvassa 16 esitetään Itävallassa kehitetty putkiholkkia hyödyntävä kiinnitysmekanismi.



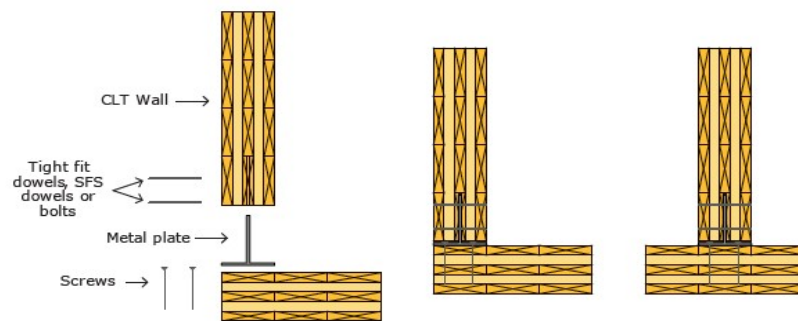
Kuva 16. Putkiholkkia hyödyntävä liitos

7.2 Seinien liitokset

Seinien väliset liitokset voidaan toteuttaa ruuviliitoksina tai käyttäen apuna erilaisia metallisia kiinnikkeitä, kulmarautoja tai puisia välikkeitä. Kuvassa 17 esitetään yleisin tapa toteuttaa seinien kiinnitys ruuviliitoksena. Jäykempiä liitoksia saadaan esimerkiksi kuvassa 18 esitetyllä piilotetulla metallilevyliitoksella.



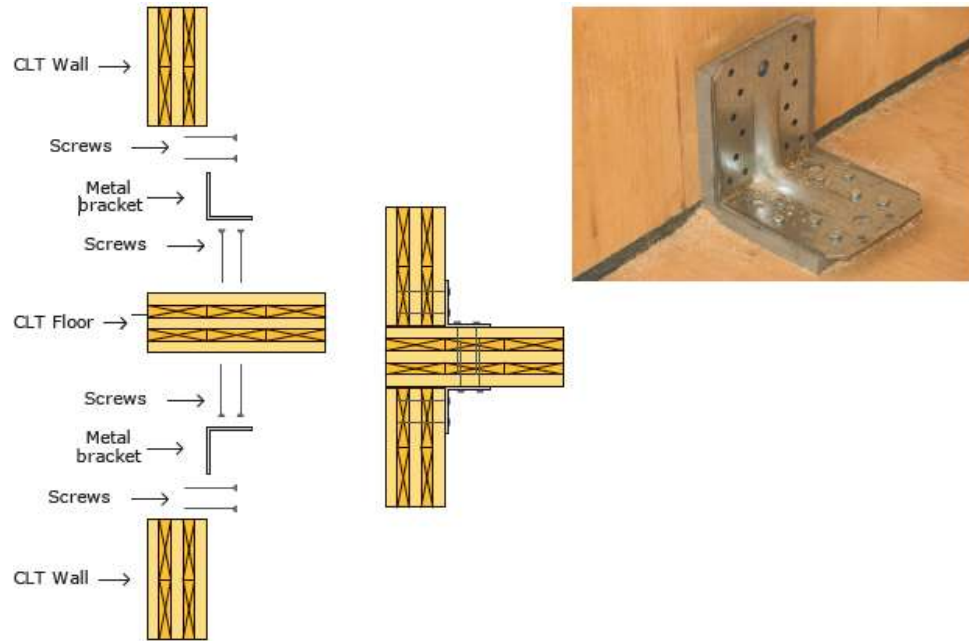
Kuva 17. Seinien ruuviliitos



Kuva 18. Metallilevyä hyödyntävä liitos

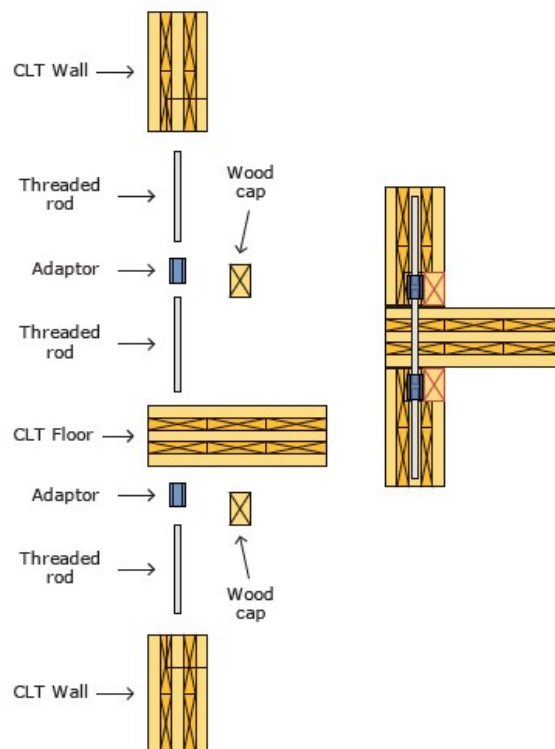
7.3 Seinäelementtien liitanta väli- tai alapohjaan

Seinäelementtien kiinnittämiseen väli- tai alapohjaan on olemassa useita eri tapoja. Seiniin kohdistuva kuormitus ja liitoksen jäykistyksen tarve määrittelee kiinnitystavan. Perustilanteessa, jossa momenttia tai leikkausta ei liitokseen synny, voidaan käyttää yksinkertaista ruuviliitosta kuvan 17 tapaisesti. Usein liitoksiin kuitenkin kohdistuu pientä momenttia ja leikkausta, jolloin liitokseen soveltuu käytettäväksi kuvan 19 mukaisesti kulmaraudat.



Kuva 19. Kulmarautojen käyttö liitoksessa.

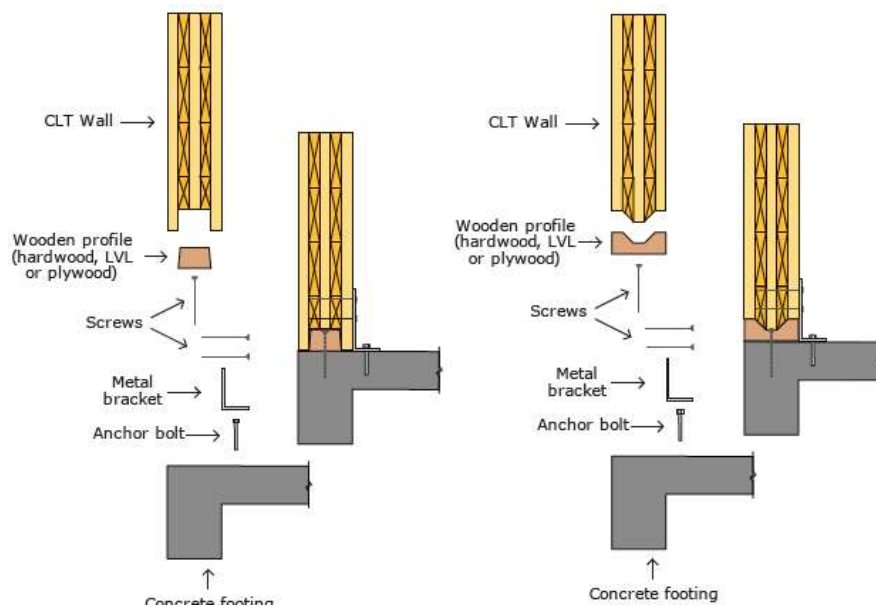
Mikäli liitoksesta vaaditaan kovempia ominaisuuksia, voidaan käyttää muita ratkaisuja, kuten kuvassa 20 esitettyä kierrettyjä rautatankoja hyödyntävää tapaa.



Kuva 20. Kierretankokiinnitys.

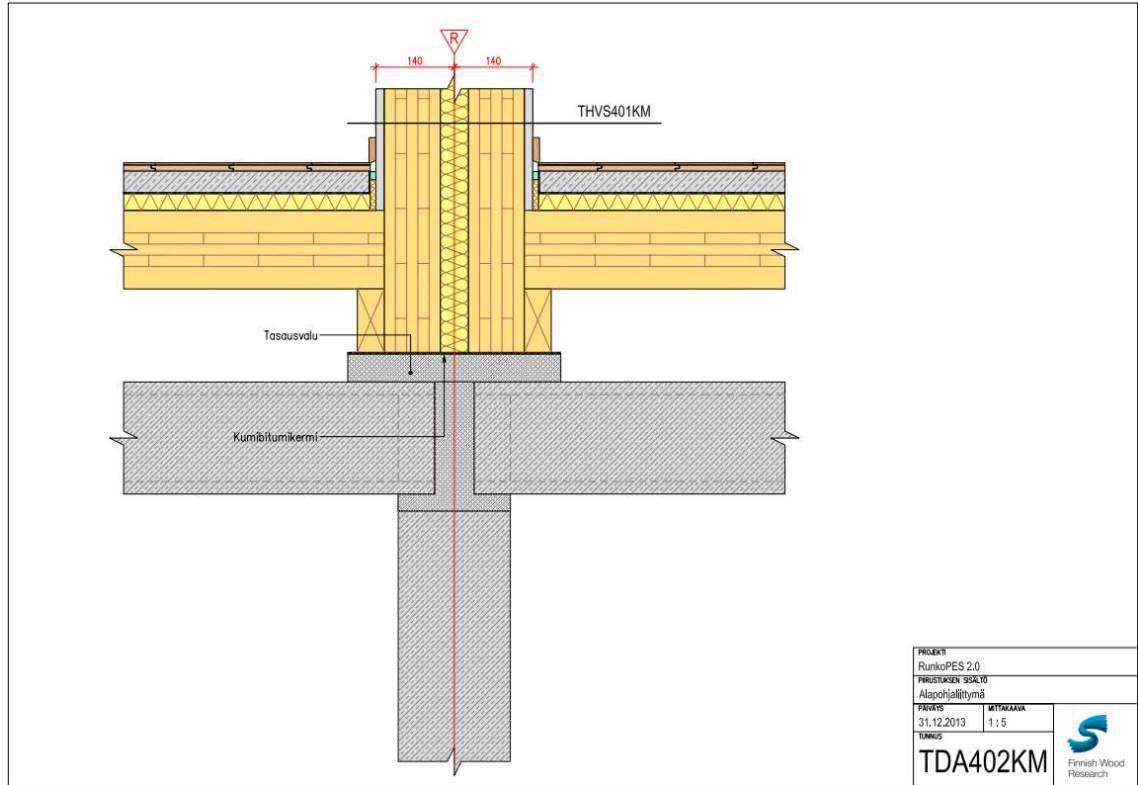
7.4 Liitäntä perustuksiin

Perustusten ja puurakenteiden väliin tulee aina asentaa kapillaarikatko. CLT-rakenteiden liittäminen perustuksiin voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä, joista yleisin tapa on käyttää puusta valmistettua välikettä. Käyttö esitetään kuvassa 21. Kyseistä tapaa voidaan hyödyntää myös välipohjissa.



Kuva 21. Liitos perustuksiin.

Käytettäessä CLT-rakenteista alapohjaa voidaan käyttää kuvan 22 mukaista ratkaisua alapohjan liitoksessa. Kyseinen liitos soveltuu myös tilaelementtien käyttöön, jos tilaelementti tukeutuu suoraan betoniperustuksiin (Puuinfo Oy 2015).



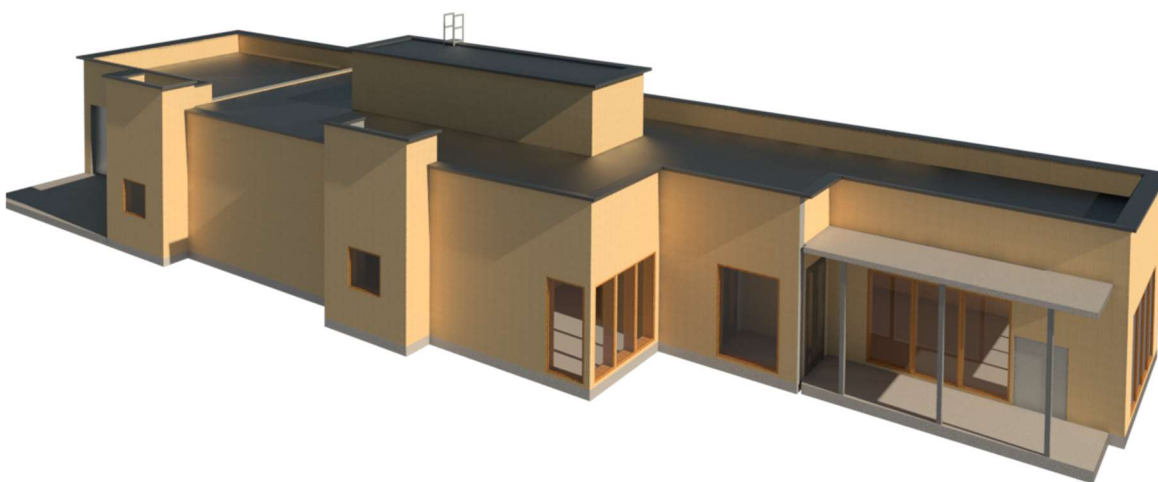
Kuva 22. Vaihtoehtoinen liitos perustuksiin (Puuinfo Oy 2015).

8 3D-MALLINNUS

Koska työn tarkoituksena oli luoda tiivis tietopaketti CLT-massiivipuulementtien potentiaalista tilaelementtirakentamiseen, luotiin suunnitelluista tilaelementeistä myös havainnointia helpottavat 3D-mallit. Myös itse rakennuksesta luotiin 3D-mallit, joiden avulla on helppo esittää tilaelementtien sijainti ja toimintaperiaate. Kuvat luotiin Autodeskin Revit Structures -ohjelmalla.

8.1 Ravintolarakennus

Rakennuksen muotojen ja mallin hahmottamiseksi luotiin myös rakennuksesta 3D-malli. Mallissa esitetään CLT-runko ilman pintaverhousta.



Kuva 23. Ravintolarakennuksen runko.

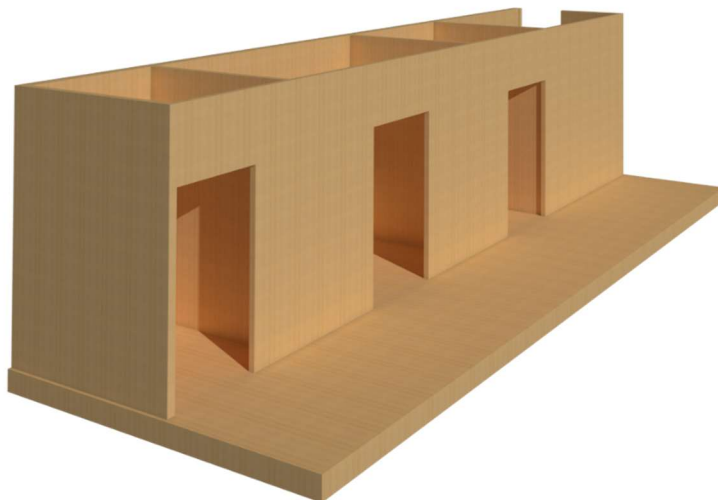
Usein säälle alttiit CLT-rakenteet pintaverhoillaan, jolloin CLT-levyn ulkopinnan ulkonäöllä ei ole juuri merkitystä. Sisäpinnat puolestaan voidaan jättää näkyville ja usein sisäpinnat ovat jo valmiiksi tehtaalla käsiteltyjä. Paljaaksi jätetty umpipuinen pinta on silmää miellyttävä, ja näin myös CLT-rakenteen ominaisuudet sitoa ja vapauttaa lämpöä sekä kosteutta toimivat parhaiten. Kuvassa 24 on esitetty mallikuva, jossa näkyy ravintolarakennuksen ruokailutila ilman alakattoa, sisustusta tai muita pinnoitteita. Ruokasalin perällä näkyy käytävä, joka muodostuu tilaelementtien väliin.



Kuva 24. Näkymä ruokasalista.

8.2 Moduuli 1

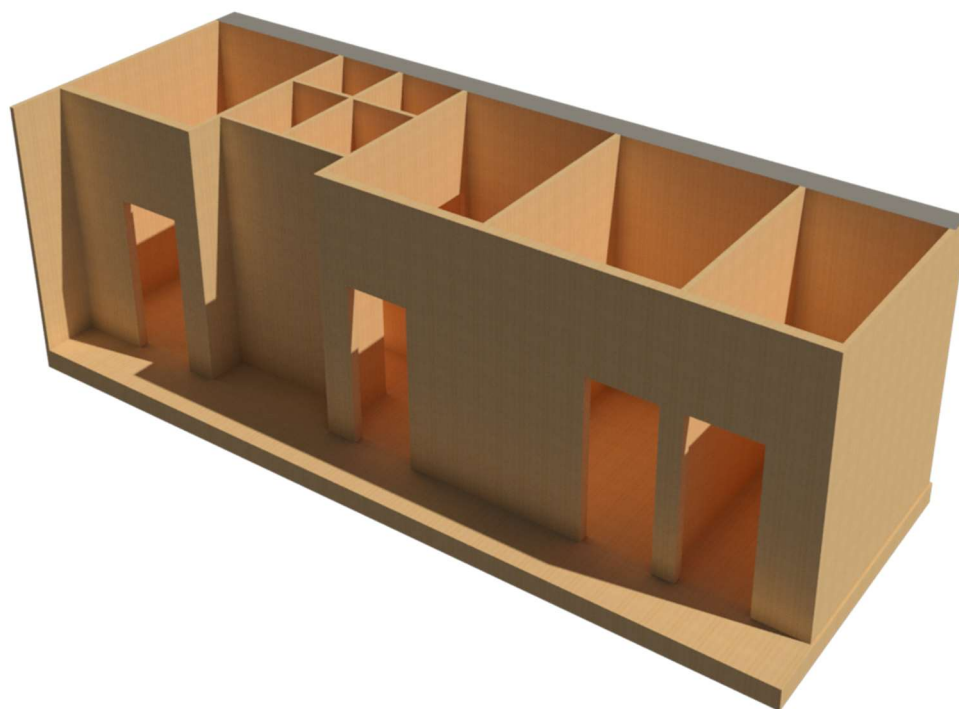
Moduuli 1 on pienin kohteeseen suunniteltu tilaelementti, ja se sijaitsee lähellä rakennuksen keskiosaa, IV-konehuoneen alapuolella. Se sisältää WC-, siivous- ja toimistotilan. Moduulissa keittiönvastainen seinä on kantava. Moduuli on kooltaan 8,35 m x 3,2 m x 2,8 m. Näillä mitoilla pohjalevy voidaan tuottaa yhtenä CLT-elementtinä, jonka päälle seinien kasaaminen on helppoa.



Kuva 25. Moduuli 1:n CLT-rakenne.

8.3 Moduuli 2

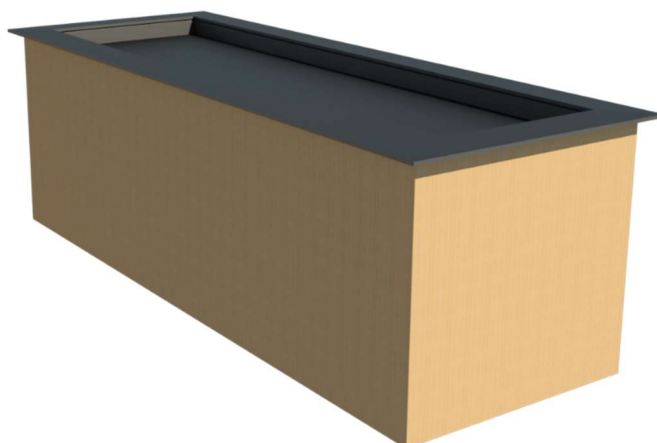
Moduuli 2 on painoltaan raskain ja kooltaan toiseksi suurin tilaelementti. Se sisältää WC- ja sosiaalitylöjä, joiden märkätilat aiheuttavat suuren painon. Moduulissa molemmat pitkät seinälinjat toimivat kantavina. Moduuli on kooltaan 10,6 m x 3,5 m x 2,8 m.



Kuva 26. Moduuli 2:n CLT-rakenne.

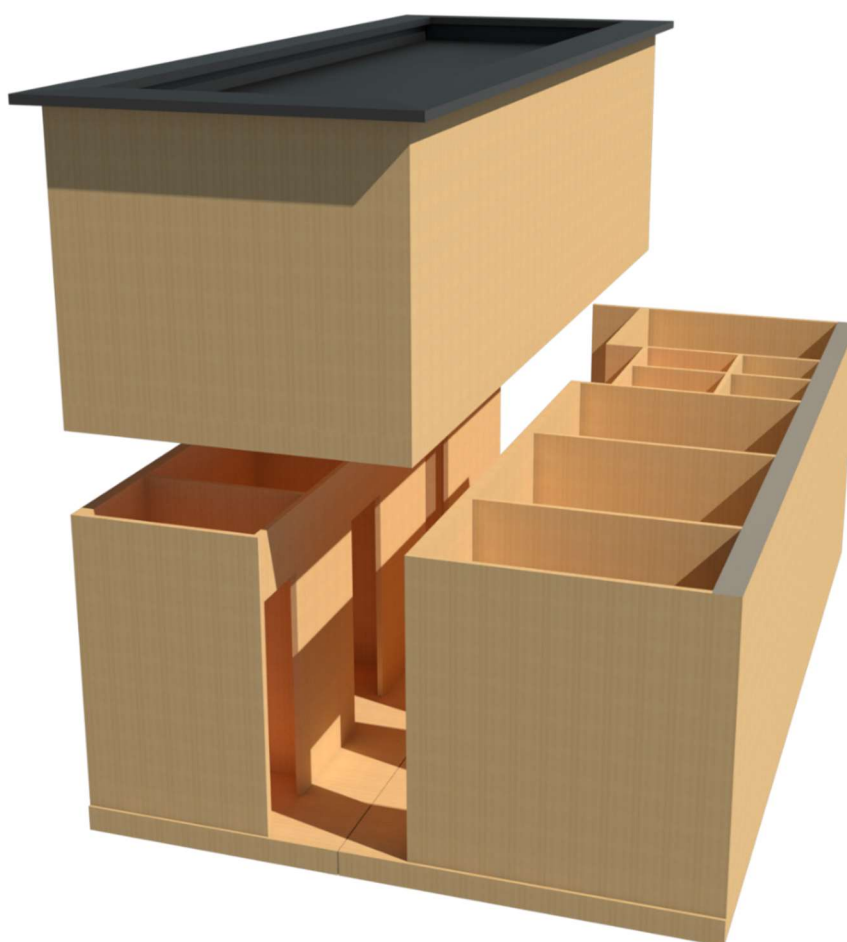
8.4 IV-Moduuli

Nimensä mukaisesti IV-moduuli pitää sisällään IV-tekniikkaa, tärkeimpänä IV-koneen. Moduuli on malliltaan yksinkertaisin, vaikka oman haasteensa rakenteeseen tekee liitos vesikaton kanssa. Moduuli on mitoiltaan 10,6 m x 3,5 m x 2,8 m.



Kuva 27. IV-moduulin CLT-rakenne.

Kuvassa 28 on esitetty, miten tilaelementit sijoittuvat toisiinsa nähden luoden kuvassa 24 nähtävän käytävän.



Kuva 28. Tilaelementtien sijainti toisiinsa nähden

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa tiivis tietopaketti CLT-rakennusmateriaalista ja havainnoida sen käyttöpotentiaalia tilaelementtirakentamisessa. Tietoa etsiessä ja aihetta tutkiessa kävi ilmi, että toistaiseksi CLT-massiivipuulle ei ole standardoituja ominaisuuksia, vaan materiaalin tuottajilla on pieniä eroja tuotteen laaduissa, liimoissa sekä ilmoitetuissa ominaisuusarvoissa. Alun perin tarkoituksena oli tutustua myös CLT:n ja erityisesti tilaelementtien mitoitukseen, mutta vakiintuneiden suunnitteluohjeiden puutteellisuuden vuoksi mitoitukseen ei otettu kantaa.

Opinnäytetyön alkupuoliskolla esitettiin CLT-tuotteiden historiaa, valmistusta ja ominaisuuksia. Tarkoituksena oli antaa lukijalle perustiedot materiaalista, sen ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista. Ominaisuuksia tutkiessa ilmeni, että eri tutkimuksien tulokset vaihtelevat hieman toisistaan, joten tulosten tarkkuuden luotettavuutta on vaikea arvioida. Seuraavaksi käsiteltiin *tilaelementtiä* käsitteenä sekä CLT:n soveltuvuutta tilaelementtituotantoon. Lisäksi tarkasteltiin rajoituksia tilaelementtituotannolle sekä nosto- ja asennustöiden periaatteita. Nostotekniikoita tutkiessa ilmeni, ettei mitään yhtenäistä ohjeistusta ole, vaan jokainen kohde vaatii omat suunnitelmat nostotöille ja -tekniikoille. Nostotöitä mitoittaessa on otettava huomioon tilaelementistä riippuen painopisteen sijainti sekä nostosta aiheutuvat dynaamiset kuormat.

Mitoitukseen työ ei juurikaan syventynyt. Kirjoitushetkellä CLT-rakenteiden suunnittelulle ei ollut olemassa mitään yhtenäistä suunnitteluohjeistusta, vaan eri valmistajat ja suunnittelutoimistot käyttivät omia menetelmiään. Mitoitus-luvussa mainittujen mitoitusmenetelmien käyttö vaatii hyvää tietämystä puurakenteiden suunnittelusta, ja aiheesta laajamittaisemmin kirjoittaminen voisi toimia hyvin omana opinnäytetyönään.

Lopuksi tarkasteltiin esimerkkikohdetta ja sitä, miten kyseiseen kohteeseen voitaisiin hyödyntää tilaelementtejä. Kohteesta valittiin kolme osaa, joihin suunniteltiin tilaelementit, ja niistä luotiin 3D-mallit havainnollistamista varten.

Ilmastonmuutos on tieteellisesti todistettu ilmiö, jonka seurauksena ympäristöystävällisyydestä on tullut suuri trendi. Ekologiset vaihtoehdot rakentamisessa ovat saaneet tästä syystä osakseen suurta arvostusta viime vuosina. Oma mielipiteeni on, että juuri ekologisista syistä sekä hyvien ominaisuuksiensa ansiosta CLT tulee saaman merkittävää roolia tulevaisuuden rakentamisteollisuudessa. Uskon, että tuotekehityksen edetessä myös CLT:n hinta tulee laskemaan ja käyttö yleistymään. On myös mahdollista,

että jo ennen hinnan laskua CLT-rakentamisesta tulee trendi, joka nostaa tuotteen kysyntää ja käyttöä omakotitalorakentamisessa.

LÄHTEET

CLTtalo.fi 2018. Tuote. Www-dokumentti. Viitattu 3.3.2018 <http://www.clttalo.fi/fi/tuote/>

CLT info 2015. Www-dokumentti. Viitattu 18.4.2018 <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Short-report-REI-60-wall-EN.pdf>

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2018. Www-dokumentti Viitattu 18.4.2018 [http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset esite 2010 erikoiskuljetusluvan tarve hakeminen ja kaytannon toimenpiteet.pdf](http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_eri-koiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf)

SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC. 2014. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Annex B viitattu 16.5.2018

FPinnovations 2011a. CLT handbook chapter 1: Introduction to cross-laminated timber. Quebec, QC: Special publication SP-528E.

FPinnovations 2011b. CLT handbook chapter 2: Cross laminated timber manufacturing. Quebec, QC: Special publication SP-528E.

FPinnovations 2011c. CLT handbook chapter 12: Lifting and handling. Quebec, QC: Special publication SP-528E.

FPinnovations 2011d. CLT handbook chapter 3: Structural design of cross-laminated timber elements. Quebec, QC: Special publication SP-528E.

FPinnovations 2011e. CLT handbook chapter 10: Building enclosure design of cross-laminated timber construction. Quebec, QC: Special publication SP-528E.

Hanna-Liisa Pulkkinen 2016. CLT:n ominaisuudet ja käyttö rakennusmateriaalina. Centria-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 3.3.2018

HOISKO CLT 2018. Jäljitettävyyys. Www-dokumentti. Viitattu 28.2.2018 <http://www.hoisko.fi/fi/miksi-hoisko-clt/jaljitettavyys/>

Brännare, J. 2012. CLT-levyjen soveltuminen suomalaiseen pientalorakentamiseen. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Viitattu 3.3.2018 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/50788/Brannare_Jani.pdf?sequence

Jour Brandner 2013. PDF-dokumentti. Viitattu 28.2.2018 [https://pure.tugraz.at/portal/files/2757733/JOUR BRANDNER 2013 Production%2520and%2520Technology%2520of%2520Cross%2520Laminated%2520Timber%2520-%2520A%2520state-of-the-art%2520Report.pdf](https://pure.tugraz.at/portal/files/2757733/JOUR_BRANDNER_2013_Production%2520and%2520Technology%2520of%2520Cross%2520Laminated%2520Timber%2520-%2520A%2520state-of-the-art%2520Report.pdf)

Kemin Digipolis Oy 2014. CLT- ja puurankatalon kustannusvertailu. PDF-dokumentti. Viitattu 14.5.2018 <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raportti-140923.pdf>
14.5.2018

Kiintopuu 2018. Perustietoa CLT:stä. Viitattu 28.2.2018 <http://www.kiintopuu.fi/fi/etusivu/mika-clt-perustietoa-cltsta.html>

Puuinfo Oy 2018a. HOISKO CLT (cross laminated timber.) Viitattu 28.2.2018
<https://www.puuinfo.fi/tuote/hoisko-clt-cross-laminated-timber>

Puuinfo Oy 2018b. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys. Viitattu 28.2.2018
<https://www.puuinfo.fi/node/1505>

Puuinfo Oy 2018c. CLT Ristiinliimattu massiivipuu (Cross laminated timber). Www-dokumentti. Viitattu 3.3.2018 <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>

Puuinfo Oy 2014. CLT-tuotanto käynnistyy Suomessa kasvavien markkinoiden odotuksien

Www-dokumentti. Viitattu 28.2.2018 <https://www.puuinfo.fi/tiedote/clt-tuotanto-k%C3%A4ynnistyy-suomessa-kasvavien-markkinoiden-odotuksin>

Puuinfo Oy 2015. RunkoPES 2.0. Osa 12: Liittymädetaljikirjasto. PDF-dokumentti. Viitattu 14.5.2018 <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkopes-20>

Rakennusinsinööri ja -arkkitehti RIA Jäsenlehti 51. vuosikerta. 2/2018.

RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. 28.4.2018

Timberfirst 2013. Where does cross laminated timber come from and where is it going? Www-dokumentti. Viitattu 28.2.2018 <https://timber-first.wordpress.com/2012/08/08/where-does-cross-laminated-timber-come-from-and-where-is-it-going/>

Senni Sorri 2016. CLT-tilaelementtikerrostalon rakennussuunnitteluohjeistus. Diplomityö. 28.4.2018

Stora Enso 2016. Building systems by Stora Enso | 3-8 storey modular element buildings. Pdf -dokumentti. Viitattu 24.4.2018 <http://buildingandliving.storaenso.com/products-and-services/building-systems>

Stora Enso 2018. Technical specifications. Www-dokumentti. Viitattu 3.3.2018 <http://www.clt.info/en/product/technical-specifications/>

Weber Thompson Architects 2013. Tall wood buildings have a promising future with CLT. Viitattu 18.4.2018 <http://www.weberthompson.com/blog/2013/06/tall-wood-buildings-have-a-promising-future-with-clt/>

CLT - ristiinliimattu massiivipuulevy

(Cross Laminated Timber)

Cross Laminated Timber (CLT) koostuu nimensä mukaisesti ristiin liimatuista lautakerroksista. Kerroksia voi olla useita. Tavallisimmin kerroksia on kolme tai viisi. Näin muodostuu hyvin paloa kestävä, erittäin luja ja jäykkä sekä ominaisuuksiinsa nähden kevyt levymäinen elementti.

Levyjä voidaan käyttää kantavina ja jäykistävinä rakenteina sekä seinissä että väli- ja yläpohjarakenteissa. Sisätiloissa levyt voidaan pinnoittaa tai palomääräysten niin salliessa jättää sellaisenaan näkyville tavoitellusta ilmeestä riippuen. Keveistä ja jäykistä levyistä voidaan työstää mittatarkasti erimuotoisia rakennuselementtejä. Julkisivuissa ikkunat ja ovet voidaan sijoittaa hyvin vapaasti ja myös kulmaikkunat onnistuvat, koska levymäiset rakenteet toimivat tarvittaessa ulokkeina.

Ulkoseinissä levyt eristetään normaaliin tapaan. Eriste sijoitetaan levyn ulkopuolelle. Välipohjissa levyjä voidaan käyttää myös liittorakenteena yhdessä betonivalun kanssa. Liittorakenteen ansiosta saadaan pidempi jänneväli kuin pelkällä CLT-levyllä. Betonilaattaan voidaan asentaa lattialämmitys ja betonin tuoma lisämassa auttaa myös välipohjan ääneneristävyydessä. Kohteissa, joissa välipohjan ääneneristävyydelle ei ole asetettu kovia vaatimuksia, levyjä voidaan käyttää ilman betonivalua. Liittorakenne myös voidaan korvata uivilla lattiakerroksilla ja levyä jäykistää palkeilla.

CLT elementtien käyttö on hyvin suosittua Keski-Euroopassa, missä käyttäjät ovat tottuneet massiivisiin rakenteisiin. Seuraavassa taulukko on kuvattu CLT -levyn keskeiset rakenteelliset ominaisuudet

Ominaisuus	Arvot	Mittausperuste
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Seinä-, lattia- ja kattorakenteet eri käyttötarkoituksissa rakennuksissa (asuin- ja työpaikkarakennukset, julkiset rakennukset yms.)	
Enimmäislevyys	2,95 m	
Enimmäispituus	16,00 m	
Enimmäispaksuus	400 mm	
Vakiopaksuudet	Tarkistettava valmistajalta	
Kerrosrakenne	Ristiin laminoitu, liimattu	
Puulaatu	Kuusi (muiden puulajien saatavuus varmistettava valmistajalta)	
Lujuusluokka	C24	Rakenteellisen mitoituksen las-kenta-arvo
Kosteuspitoisuus	12 % +/- 2 %	
Liimatyyppi	Formaldehydivapaa PUR liima	
Pintalaatu	Teollisesti hiottu	
Visuaalinen laatu	C tai A/B	EN 13701-1, taulukko 1
Paino	5,0 kN/m ²	Rakenteellisen mitoituksen las-kenta-arvo
Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn suunnassa	0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn paksuudessa	0,24 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
Paloluokka (reaction to fire)	D-s2, d0	Komission päätös 2003/43/EC
Palonkesto (resistance to fire)	Hiiltymisnopeus 0,65 mm/min	EN 1995-1-2
Kosteuden läpäisevyys	20...50	EN 12524
Lämmönjohtavuus (lambda)	0,11 W/(mK)	EN 12524
Lämpökapasiteetti	1600 J/(kgK)	EN 12524
Ilmatiivisyys	Käytännössä tiivis (Effectively airtight)	EN 12114
Käyttöluokka (Service class)	1 ja 2	EN 1995-1-1

Lähteet ja lisätietoja

CLT info www.clt.info