

Suunnittelijan tutustuttaminen CLT:hen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Karppinen, Eemeli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 31	
Työn nimi Suunnittelijan tutustuttaminen CLT:hen		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Valtteri Vaarsalo, Toimitusjohtaja Ins. AMK, Nodetec Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä koottiin yhteen Cross Laminated Timber rakenteisiin liittyviä eristyispiirteitä. Työ tehtiin muodostaakseen suunnittelijalle help tutustua kohtuullisen uuteen rakennusmateriaaliin ja eri rakennusjärjestelmiin.</p> <p>Työ tehtiin Nodetec Oy:n toimeksiantona, yrityksen tahdosta saada lisätieto puurakentamisesta ja CLT:stä. Tavoitteena on auttaa, niin nuoria, kuin vanhempiakin suunnittelijoita, suunnitteluprosessin aloituksessa.</p> <p>Opinnäytetyössä syntyi yleisluontoinen ohje CLT-rakentamiseen, jossa pohditaan ja tuodaan ilmi rakenteiden toimivuutta jo toteutetuissa projekteissa. Tavoitteena oli oppia muiden tekemistä virheistä, jotta niitä voidaan välttää tulevaisuudessa.</p>		
Asiasanat Cross Laminate Timber, delaminoituminen, kosteuspuskuri, osastointi, betoni-core		

Abstract

Author(s) Karppinen, Eemeli	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 31	
Title of Publication Introduction of CLT to a civil engineer		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Valtteri Vaarsalo, CEO Engineer (UAS), Nodetec Oy		
Abstract <p>The goal of the thesis was to gather information regarding Cross Laminated Timber. The thesis was made to form better understanding of a relatively new building material and building system.</p> <p>This thesis was initiated by Nodetec Oy, to gather additional information of wood construction and particularly about CLT. The aim of the thesis was to form a guide for younger as well as for older engineers. Initial purpose was to guide engineers during the first steps of the designing process.</p> <p>The finished product from the thesis was a general guide on CLT construction, with reflections on already found to be functional designs. The aim was to learn from previous mistakes and not to re-produce them in the future.</p>		
Keywords Delamination, vapor barrier, humidity buffer, concrete-core		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	2
2	Cross Laminated Timber CLT	3
2.1	CLT:n valmistus.....	3
2.2	CLT:n rakennusfysikaaliset ominaisuudet.....	4
2.3	CLT:n tekniset ominaisuudet	4
2.4	CLT-rakenteen toiminta	5
3	Rakenneratkaisuja	9
3.1	Alapohja	9
3.2	Ulkoseinä.....	11
3.3	Väliseinä.....	13
3.4	Välipohja.....	14
3.5	Yläpohja	16
4	Liitokset	18
4.1	Tekninen toiminta	18
4.2	Rakennusfysikaalinen toiminta.....	19
5	Jäykistys.....	21
5.1	Betoni-core	21
5.2	Puuristikko.....	22
5.3	Levyjäykistys	23
6	Suunnittelussa muuta huomioitavaa	26
7	Paloturvallisuus.....	28
7.1	Puun palotekninen käyttäytyminen	28
7.2	Liima palotilanteessa	28
7.3	Palosuojaus.....	29
8	Johtopäätökset	30
	Lähdeluettelo.....	32

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen johdosta myös rakennusalalla on tultu pisteeseen, jossa ilmastonmuutos keskustelulta ei voida välttyä. Tästä johtuen puurakentamisen trendi on ollut nouseva lähivuosina. Tilaajat ovat yhä enemmän ja enemmän tietoisia rakentamisen tuottamista päästöistä, joka johtaa rakennusallakin jonkinlaiseen muutokseen. Saavuttaakseen puurakentamisessa entistä korkeampia volyymejä, tulee alalle tuoda lisää ammattilaisia ja halukkaita toteuttajia. Betoni- ja teräsrakentamisen kilpailijaksi on kehitetty insinööripuutuotteita, joista tässä opinnäytetyössä käsitellään korkean suosion saavuttanutta Cross Laminated Timberia (CLT). Aihe on ajankohtainen, sillä puurakentaminen on kasvanut vuosi vuodelta, eikä syytä puurakentamisen vähenemiseen juuri ole. CLT tulee olemaan tulevaisuudessa keskeinen rakennusmateriaali kilpailukykyiselle insinööritoimistolle.

Tässä opinnäytetyössä pyritään kokoamaan CLT-rakennusta suunnittelevalle yleisluontoisen kokoelma ratkaisusta suunnittelun avuksi. Tavoitteena on koota hyviä ratkaisuja liitoksista, jäykistyksestä, ym. CLT on vielä hyvin tuore rakennusmateriaali, eikä vielä ole saavutettu betonirakentamisen tasoa suunnittelussa ja toteutuksessa. Tästä syystä on hyvä koota yhteen ratkaisuja, joilla on tähän asti onnistuttu tuottamaan toimivia ja turvallisia rakenteita. Tämän ohjeen läpikäytyään suunnittelijalla tulisi olla hyvä käsitys CLT-rakentamisen haasteista ja jonkinlainen kuva hyvistä jo toteutetuista rakenteista. Opinnäytetyössä pyritään tutkimaan CLT:tä etenkin rakennesuunnittelijan näkökulmasta.

Työn toimeksiantajana toimii Nodetec Oy, joka on keskisuuri insinööritoimisto. Yritys on perustettu vuonna 2017, tällä hetkellä yrityksessä työskentelee n. 12 henkilöä. Nodetec toimii pääasiassa pääkaupunkiseudulla ja on erikoistunut korjausrakentamiseen. Nodetecilla on ollut myös kasvavissa määrin uudisrakennuskohteita, kuten asuinkerrostaloja, sekä yksi koulurakennus. Yrityksen erikoisalaan lukeutuu tietomallipohjainen suunnittelu, ja halu hyödyntää uusinta teknologiaa.

2 Cross Laminated Timber CLT

2.1 CLT:n valmistus

CLT, eli Cross Laminated Timber on puulevy, joka valmistetaan ristiin liimaamalla lautakerroksia päällekkäin. Kerroslukumäärää ja kerrospaksuutta säätämällä saavutetaan eri ominaisuuksia, esim. hyvä palonkestävyys. Kerroksia eli lamelleja on tavanomaisesti, joko kolme, viisi tai seitsemän. Levyt valmistetaan usein kuudesta tai männystä, toisinaan myös halutaan jättää CLT-levy näkyväksi, jolloin pintakerroksena voidaan käyttää jotain muuta puulajia. (Puuinfo 2020a.)

Nykyään CLT valmistetaan sormijatketuista laudoista liimaamalla ne hydrauliprässissä yhtenäiseksi levyksi, jolloin saavutetaan riittävä liiman tartunta. Riippuen siitä, mitä ominaisuuksia levyltä vaaditaan, voidaan kerrokset liimata yhteen kahdella eri tavalla. Syrjäliimatussa levyssä jokaisen kerroksen laudat liimataan ensin syrjistään kiinni, jonka jälkeen vasta päällekkäiset kerrokset lappeistaan. Syrjäliimaamalla voidaan saavuttaa täysin ilmatiivis rakenne. Puun kuivuminen aiheuttaa sen, että syrjistään liimattu levy tulee halkeilemaan lautojen keskeltä, kun taas syrjäliimaamattomassa levyssä saumat mahdollistavat liikkeen. (Puuinfo 2020a.)

CLT-levy valmistetaan tehtaalla vaadittuihin dimensioihin koneistamalla se CNC-jyrsimellä. Jyrsin tekee levyyn ovi- ja ikkuna-aukot, talotekniikkaa, asennusta, sekä kiinnitystä varten vaadittavat kolot ja reiät. CNC-jyrsinten mittatarkkuus on +/- 1 mm. Koneistuksen jälkeen ulkoseinälevyihin asennetaan eristeet tavanomaisesti levyn ulkopintaan. Kuvassa 1 voidaan nähdä valmis CLT-elementti, johon on koneistettu aukot ja nurkkaliitos valmiiksi. (Puuinfo 2020a.)



Kuva 1. Valmis CLT-elementti (Hoisko 2020b)

2.2 CLT:n rakennusfysikaaliset ominaisuudet

CLT-levy on yksiaineinen, joka edesauttaa kosteuden liikkumista rakenteissa ja estää sen tiivistymisen levyn sisällä (Crosslam 2020a).

Puun hygroskooppisuuden ansiosta, sisäilman kosteuden vaihtelut tasoittuvat huomattavasti puun toimiessa ns. kosteuspuskurina. Puun kosteusvaihtelu on hidasta, joka mahdollistaa sen toiminnan kosteuspuskurina, ilmankosteuden kohotessa puun sisältämä kosteus kasvaa ja ilmankosteuden laskiessa puu vapauttaa kosteutta sisäilmaan. Kosteuspuskurin ansiosta sisäilma koetaan parempi laatusena. (Puuinfo 2020b.)

Massiivipuulevyrakenteinen seinä on eristävyydeltään parempi, sillä puu on eristävä materiaali. Puun eristävyuden vuoksi konvektio eristeessä on pienempi, joten ilmavirtaus eristeessä on pienempi. CLT-levy toimii myös höyrynsulkuna, puu- ja liimakerrokset muodostavat tiiviin höyrynsulkurakenteen. Rakenteen höyrynsulku ei perustu erikseen asennettavaan kerrokseen, joten se on toimintavarmempi koko rakennuksen käyttöajan. (Crosslam 2020a.)

CLT-levyn paksuuden ollessa yli 60 mm, on VTT todennut testauksillaan, että levy on lähes täysin ilmatiivis. Vaikka CLT:n höyry- ja ilmantiiveys on hyvä, on silti suositeltavaa käyttää ulkoseinärakenteissa ilman- ja höyrynsulkukangasta, joka reagoi ilmankosteuteen. Tällöin voidaan varmistaa elementtien liitosten pitävyys, jos asennus tehdään työmaalla. Tehdasasenteisena liitokset on tehtävä tarkoituksen mukaisilla tiivistystuotteilla. (Crosslam 2020b; ePuu 2021; Lahtela 2021.)

2.3 CLT:n tekniset ominaisuudet

CLT:n valmistamiseen käytettävien materiaalien lujuusluokka vaihtelee valmistajakohtaisesti C14 - C30 välillä (Swedishwood 2019, 16), mutta tavanomaisesti Suomessa kuitenkin käytetty lujuusluokka on C24 (Crosslam 2020; Hoisko 2020a; Puuinfo 2019).

Valmistuksessa käytettävä lauta määrittää lamellien paksuuden, paksuus vaihtelee yleensä 20...40 mm välillä valmistajakohtaisesti, yleisin Suomessa käytetty lamellinpaksuus 45 mm. Laudan leveys puolestaan vaihtelee 80...200 mm välillä, paksuuden ja leveyden ideaalinen suhde 4:1. (Swedishwood 2019, 16.) Lautojen pituudet vaihtelevat käytettävän materiaalin ja toimittajan mukaan, laudat sormijatketaan, jotta saavutetaan elementin valmistamiseen vaadittava mitta (Puuinfo 2020a).

Tavanomaisen puurakentamisen tavoin CLT noudattaa samoja lujuusteknisiä piirteitä. Puun ominaisuudet vaihtelevat kuormituksen suunnan mukaan, syiden suuntainen ja syiden vastainen lujuus ovat eriävät, tehden CLT:stä ortotrooppisen rakennusmateriaalin (Swedishwood 2019, 19). Syiden suuntainen kapasiteetti on näistä suunnista vahvempi, jopa 10–20 kertaisesti vahvempi, kuin syiden vastainen. Puun lujuus laskee puun sisältämän kosteuden noustessa, esim. kostean kevätpuun vetolujuus on kuudesosa siitä, mitä kuivan kesäpuun. (Puuinfo 2020c.)

CLT-rakenteet, kuten muutkin puurakenteet ovat viskoelastisia, kuormituksen jatkuessa muodonmuutokset puussa kasvavat. Puussa, kuten betonissakin, tapahtuu virumista, jolloin puun lujuus pienenee. Laskennassa virumalle korjauskertoimet k_{mod} ja k_{def} . (Lahtela 2021).

Crosslam (2020b) mukaan, Suomen olosuhteissa tulisi käyttää syrjäliimaamatonta CLT:tä, haastavien sisäilmaolosuhteiden vuoksi. Syrjäliimaamatonta levyä tulisi käyttää, jos puupinnan säilyminen yhtenäisenä on tärkeää. Puun kuivuessa liimaamaton sauma pääsee elämään, jolloin muutokset levyn pinnassa tapahtuvat saumoissa. Jos levy on syrjäliimatua, levy halkeile lamellien keskeltä, kuten kuvassa 2. Levyn elämisen tapahtuessa saumoista, pysyy pinta visuaalisesti yhtenäisempänä, kuin lautojen keskeisten halkeamien muodostuessa. Liimaustapa ei kuitenkaan vaikuta levyn lujuuteen ja sen mitoitukseen. (ePuu 2021.)

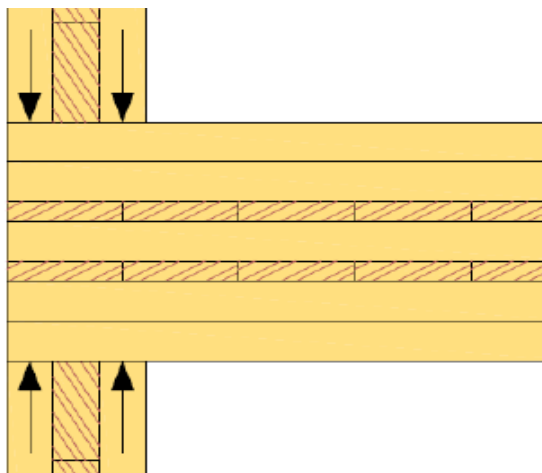


Kuva 2. Liimaustavan erot puun kuivuessa (Crosslam 2020b)

2.4 CLT-rakenteen toiminta

CLT-runko toimii kantavaseinäisenä rakennusjärjestelmänä. Tavallisesti kantavaseinäisen rakenteen kantokykyä rajoittaa pystykuormasta aiheutuva nurjahduskestävyys. CLT-rungossa nurjahduskestävyys ei muodostu yleensä ongelmaksi, koska kantavan seinän paksumutta kasvattamalla saadaan kasvatettua huomattavasti sen nurjahduskestävyyttä. Puurakenteita mitoittaessa ja etenkin CLT:n tapauksessa tulee mitoittaa tukipainekestävyys. Riippuen pysty- ja vaakarakenteiden liitoksesta, voi kantavan seinän paino ja kuormat

aiheuttavat kokoonpuristuvuutta välipohjassa. Kuvassa 3 voidaan nähdä välipohjan ja kantavan väliseinän liitos, jossa seiniltä tuleva kuorma aiheuttaa kokoonpuristuvuutta. Välipohja puristuu, koska kuorma tulee sille epäotollisesta suunnasta. Puun syiden vastainen kestävyys on pienempi, kuin syiden suuntainen. Syiden vastaista kuormaa tulisi välttää ja se tulee huomioida juuri tukipainekestävyyden mitoituksessa. (ePuu 2021; Lahtela 2020.)



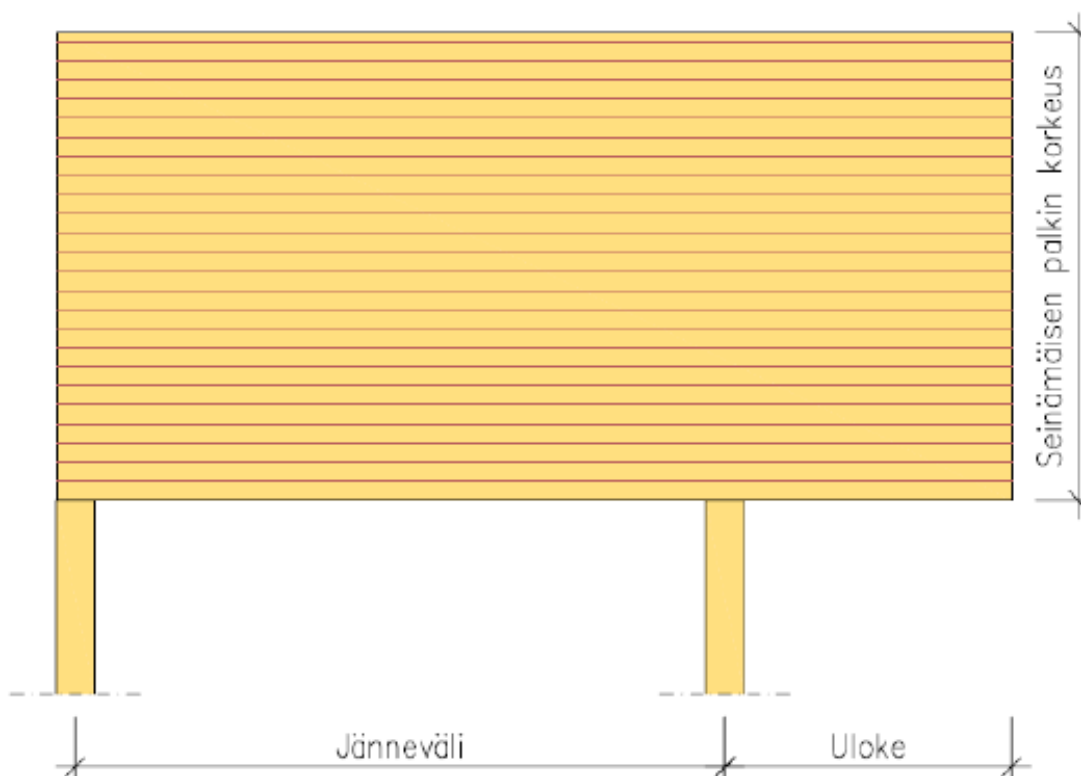
Kuva 3. Välipohjan kokoonpuristuvuus (Lahtela 2020)

Kantavan CLT-seinän korkeus voi olla kerroskohtainen, jolloin välipohjan kiinnitys tapahtuu seinän päälle tuettuna. Seinän korkeuden vaihtuessa kaksikerroksiseksi, kiinnitetään välipohjarakenne liitososilla seinälevyn kylkeen. Välipohjarakenteena toimii joko palkkirakenne tai CLT-levy rakenteinen vaakarakenne. Joissain tapauksissa voidaan myös käyttää betonia vaakarakenteissa, jolloin puun syiden vastaista puristusta ei syntyisi. Kyseisessä tapauksessa voitaisiin käyttää materiaaleja niille optimaalisissa olosuhteissa. Kantavien CLT-seinien välissä olisi betoninen leukapalkki, joka siirtäisi pystykuormat lähes painumatta alemmille rakenteille. Betonisen leukapalkin päälle, sitten asennettaisiin puuvälipohja kotelopalkki- tai massiivilevyrakenteisena. (ePuu 2021; Lahtela 2021.)

Yleensä kantavat seinät otetaan huomioon myös rakennuksen jäykistyksen suunnittelussa. Riippuen jäykistystavasta, voidaan CLT-levyjien lujuutta ja jäykkyyttä käyttää hyödyksi rakennuksen jäykistyksen suunnittelussa. Etenkin levyjäykisteisissä rakenteissa CLT-levy toimii liitososien avulla hyvänä jäykisteenä. Ovi- ja ikkuna-aukot, jotka ovat sijoitettu jäykistäviin seiniin, vaikuttavat jäykistykseen. Tällaisessa tapauksessa seinä mitoitetaan yhtenä kokonaisuutena, mutta pitää muistaa huomioida jäykistyskapasiteetin alenema aukkojen vuoksi. Jotta pystykuormat siirtyvät hallitusti alemmille rakenteille, tulee kantavien ja jäykistävien seinien sijaita kerroksissa yhtenevillä sijainneilla. Tällöin tilasuunnittelussa tulee huomioida seinien sijainnit, sekä aukotusten sijainnit ja koot. Suurempien aukkojen päälle tulee

jättää tarpeeksi tilaa aukkopalkille. Aukkopalkki voi olla itse levy, tai kapasiteettien ylittyessä myös esim. liimapuupalkki. (ePuu 2021)

CLT-levyillä voidaan myös toteuttaa seinämäisiä palkkeja ja ulokkeita. Erityisen tärkeää seinämäisten palkkien ja ulokkeiden suunnittelussa on huomioida tukien kapasiteetti. Palkit ja ulokkeet aiheuttavat suuren pistemäisen kuorman tukiin, jota kuvassa 4 esitetään. Kuvassa on korkea ulokkeellinen seinämäinen palkki, jonka alueelta kuormat siirtyvät pistemäisille tuille. (ePuu 2021)

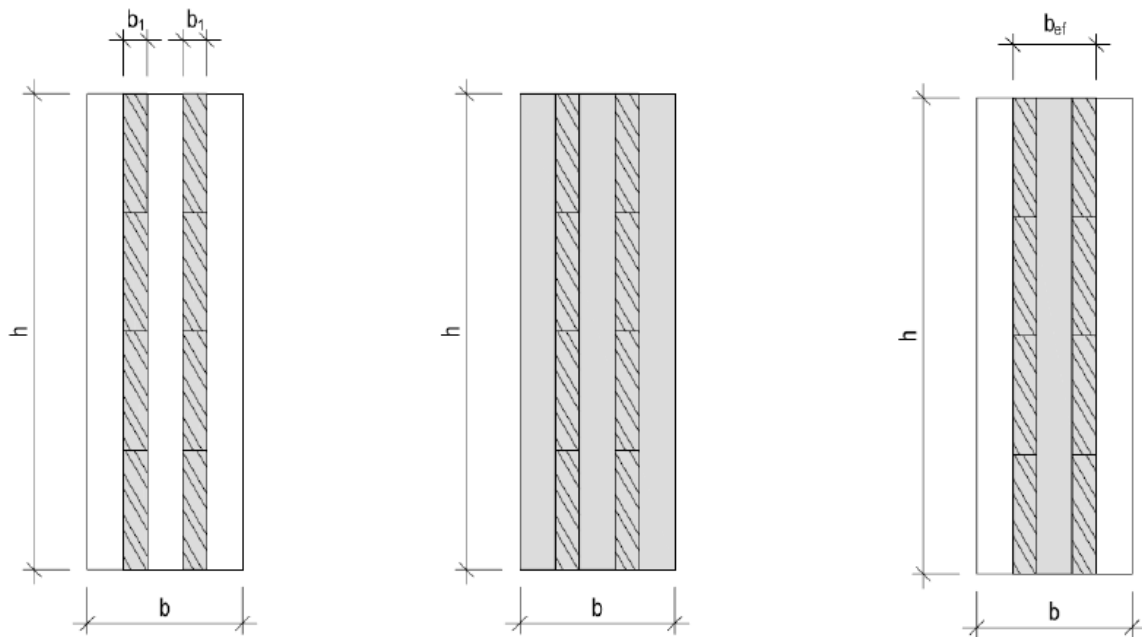


Kuva 4. Ulokkeellinen seinämäinen palkki (Lahtela 2020)

CLT-levyn mitoituksessa tulee huomioida lamellien ja kuormituksen suunta. Seinän tapauksessa ainoastaan pystyasennossa olevat lamellit otetaan huomioon seinän kapasiteettia laskettaessa. Vaakasuuntaisille lamelleille kuormitus tulee syiden vastaisesti, jolloin syntyy liukumaa lamellikerrosten välillä. Liukuman vuoksi poikkileikkauksen taivutusjäykkyys pienenee. Mitoitusta tehdessä on levyn poikkileikkaukselle määritettävä teholliset poikkileikkauksivakiot, joissa huomioidaan ainoastaan lamellit, joilla on kapasiteettia eri kuormitustilanteissa. Samat mitoitusäännöt pätevät myös vaakarakenteissa, mutta poikkisuuntaisia lamelleja voidaan ottaa huomioon värähtelymitoituksessa. Puuvälipohjan yksi mitoittavista

tekijöistä on värähtely, jolloin vaakalamellien hyödyntäminen laskennassa on olennaista. (Crosslam 2015a; Crosslam 2015b; Lahtela 2020.)

Kuvassa 5 esitetään syrjällään mitoitettavan CLT poikkileikkauksen hyödyllisen poikkileikkauksen suureita. Taivutusmitoituksessa käytetään vain vaakalamellien poikkileikkausta b_1+b_1 . Leikkausmitoituksessa puolestaan otetaan huomioon koko poikkileikkaus b . Kiepahdusmitoituksessa huomioidaan muut kerrokset, paitsi uloimma pystylamellit, tehokas leveys b_{ef} . (Kevarinmäki 2017, 5.)



Kuva 5. Tehokkaat leveydet CLT:n mitoituksessa (Kevarinmäki 2017, 5)

3 Rakenneratkaisuja

3.1 Alapohja

CLT-rakenteisessa rakennuksessa voidaan käyttää tavanomaista maanvaraista alapohjarakennetta. Yleisemmin kuitenkin käytetään tuuletettuja alapohjia. Ulkoilmalla tuuletetut alapohjat voivat tuottaa ongelmia, sillä ilmanvaihtuvuus alapohjassa ei ole ilman koneistusta riittävän suuri. Tilanteissa, joissa perusmaan kosteuspitoisuus on korkea esim. savet ja siltit, tuuletuksen tarve kasvaa. Korkean kosteuspitoisuuden vuoksi onteloon haihtuu paljon kosteutta, jolloin tuuletuksen suunnittelu on tärkeässä osassa rakennusfysikaalisesti toimivaa ratkaisua. Suhteellinen kosteus alapohjassa on korkeimmillaan kesällä, jolloin ulkoa johdettu lämmin ilma nostaa viileän ryömintätilan kosteuspitoisuutta. Tuuletus on suunniteltava toimivaksi epäedullisimman tilanteen mukaan, joten kesäajan kosteuskuorma on mitoitettava tekijä. (ePuu 2021.)

ePuun (2021) mukaan ulkoilmalla tuuletetun alapohjan tuuletus toteutetaan tavanomaisesti perusmuuriin sijoitetuilla aukoilla, joista alapohjaan saadaan tuoretta ilmaa. Alapohjasta johdetaan pois ilma katolle johdetuilla tuuletusputkilla. Tällöin saadaan alapohjassa oleva kosteus johdettua pois rakenteesta. Rakennuksen pinta-alan kasvaessa ulkoilmalla tuuletetun alapohjan tuuletuksen toiminta ja suunnittelu vaikeutuu. Tästä johtuen ulkoilmalla tuuletettu alapohja sopii parhaiten pientalojen alapohjaratkaisuksi. Kun rakennuksen pinta-ala kasvaa, tarvitaan koneellista tuuletusta. Koneellisessa tuuletuksessa tulee olla huolellinen koneen toiminnan kannalta. Alapohjan tuuletukselta tulee seurata ja huollon tulee toimia, jotta alapohjan kosteustekninen toiminta pysyy muuttumattomana. (Lehtoviita 2019.)

Tuuletetun alapohjan ympärivuotista lämpötilaa voidaan nostaa lisäämällä lämmöneristettä perusmaan pintaan. Perusmaan päälle sijoitettavien eristeiden lisäksi tulee myös perusmuuri eristää. Alapohjan lämpötilan pysyessä korkeampana ympäri vuoden, suhteellinen kosteus ei nouse niin korkeaksi. Eristeiden ansiosta myös maasta haihtuvan kosteuden määrää voidaan vähentää huomattavasti. Lämmöneriste toimii myös routaeristeenä. (ePuu 2021.)

Kuvassa 6 on esitetty CLT-rakenteinen tuuletettu alapohja. Ryömintätila on lämmöneristetty sekä koneellisesti tuuletettu, joten rakenne soveltuu hyvin esim. asuinkerrostaloon, jonka kerrospinta-ala on suuri. (ePuu 2021.)

Rakennekerrokset (sisältä ulos):

1. Pintamateriaali ARK mukaan
2. Kipsivalu n. 50 mm + lattialämmitys
3. Mineraalivilla 50 mm
4. CLT-levy RAK mukaan 240 mm
5. Tuulettuva ryömintätila min. 800 mm
6. Betonivalu 80 mm
7. EPS 200 mm
8. Perusmaa



Kuva 6. Alapohjarakenne (ePuu 2021)

3.2 Ulkoseinä

Tolppasen (2013, 56) mukaan CLT-ulkoseinäelementin lämmöneriste tulee aina asentaa rungon ulkopuolelle, rungon sisäpuolelle asennettaessa syntyy riski kosteuden tiivistymiselle rungon ja eristeen väliin. Puurakenne toimii lämmöneristeenä, joten CLT-rakenteisen ulkoseinän lämmöneristeen tarve pienenee ~20 % rankarakenteisen seinän eristepaksuuteen verrattuna. ePuu (2021) mukaan CLT-levyn ulkopuolelle tulee asentaa tuulensuojakerroksen sisältävä lämmöneriste. Tällöin vältetään erillinen koolaus ja tuulensuojalevytys. Kuvassa 7 esitetty P2 luokan kerrostalon, ulkoseinän rakennetyyppi, joka täyttää vertailuarvon mukaisen U-arvon 0,17 W/m²K ja on palonkestoluokaltaan R60 (ePuu 2021).

Rakennekerrokset (sisältä ulos):

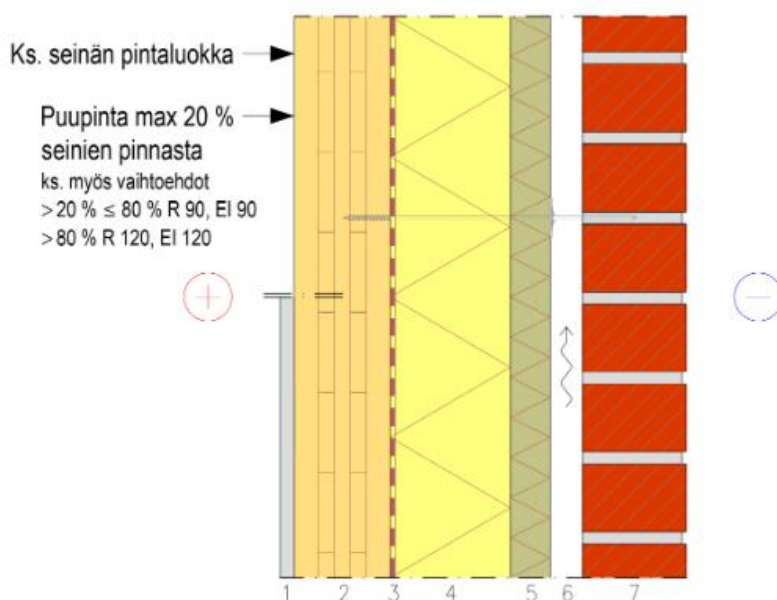
1. Palosuojakipsilevy 18 mm
2. CLT-levy RAK mukaan 100...120 mm
3. Ilman- höyrynsulkukangas (ilmankosteuteen reagoiva) 0,25 mm
4. Jäykkä mineraalivilla 150 mm
5. Tuulensuojakivivilla 50 mm
6. Tuuletusväli min. 40 mm
7. Julkisivumuuraus + tiilisiteet 130 mm

Lahtelan (2020) mukaan, tiilellä on hyvin korkea hygroskooppisuus ja kapillaarisuus, joten rakenteessa tulee olla riittävän suuri tuuletusväli. Tavanomaisesti käytetään vähintään 40 mm tuuletusväliä. Tiilimuuraus kiinnitetään tavanomaisesti tiilisiteillä kantavaan CLT-levyyn eristekerrosten läpi. Tähän liittyen ePuu (2021) toteaa muissa ulkoverhous tavoissa kiinnityksen osoittautuvan ongelmaksi. Paksun eristeen läpi kiinnitykseen on kuitenkin olemassa kiskokannattimia, joissa kiskot kiinnitetään CLT-levyyn. Jotta kyseinen järjestelmä toimii, on käytettävä esim. jäykkää mineraalivillaa ja jäykkää tuulensuojalevyä. Tällöin eristelevyjen saumat tulee limittää.

Lahtelan (2021) mukaan, eristeen ja kantavan rakenteen väliin tulee asentaa höyryn- ja ilmansulkukangas, vaikka CLT-levy onkin hyvin vesihöyryä ja ilmaa sulkeva kerros. Tämä siksi, että saavutetaan tarpeeksi luotettava höyryn- ja ilmansulku koko rakennuksen vaipan osalle, liitoksineen ja aukkoineen. Sulun ei kuitenkaan tule olla tavanomainen höyrynsulkumuovi, jotta CLT:n kosteuspuskuri ominaisuudet eivät kärsi, vaan sulun tulee olla höyryn-

ja ilmansulkukangas, joka reagoi ilmankosteuteen. Tuotteita, joita voidaan käyttää Tiivistalon (2021e) mukaan CLT-rakenteen ilman- ja höyrynsulkuna ovat esim. Intello XN. Kyseinen tuote mahdollistaa ilmankosteuden mukaan muuttuvan diffuusiovastuksen. Tällainen tuote on CLT:n kosteuspuskuri ominaisuuden mahdollistamiseksi olennaista. ePuun (2021) mukaan rakenne voidaan suunnitella joko ilman- ja höyrynsulkukerroksen kanssa tai ilman sitä. Riippuen levyn paksuudesta ja muista ominaisuuksista, kuten liimaustavasta. Levyn valmistajan ohjeiden mukaan on toteutettava ilman- ja höyrynsulku, jotta saavutetaan optimaalinen rakenne. Höyrynsulun läpäisevät läpiviennit ja muut aukot voidaan tiivistää tarkoituksen mukaisilla tuotteilla. Esim. sähköläpiviennin tehdessä voidaan reikä tiivistää tiivistyslaipalla, jolloin saavutetaan oikea tiiveys. Tällaisia tuotteita ovat esim. Tescon Roflex, jolla voidaan tiivistää 6–350 mm halkaisijaltaan olevia putkia. (Tiivistalo 2021) Jos rakenteessa ei ole erillistä ilman- ja höyrynsulkua, tulee liittymien kohdalla olla tarkkana, jotta höyrynsulku pysyy jatkuvana. CLT-elementtien puskusaumaan tulee asentaa näissä tilanteissa saumanauha jokaiseen liitokseen. (Storaenso 2012.)

CLT-levyn pintaan ja tilan huoneselostuksen mukaisesti asennettu palosuojakipsilevy voidaan jättää pois, puupinnalle, kunhan näkyvän puupinnan osuus koko seinäpinta-alasta ei ylitä 20 %. Jos kuitenkin halutaan vielä nostaa puupinnan osuutta seinässä, tulee CLT-levyn palonkesto mitoittaa kuvan 5 mukaisesti. Tapauksissa, joissa CLT-levy jätetään näkyväksi, tulee varmistaa valmistajalta näkyvän pintalaadun menettelyt. (ePuu 2021.)



Kuva 7. CLT-ulkoseinän rakennetyyppi (ePuu 2021)

3.3 Väliseinä

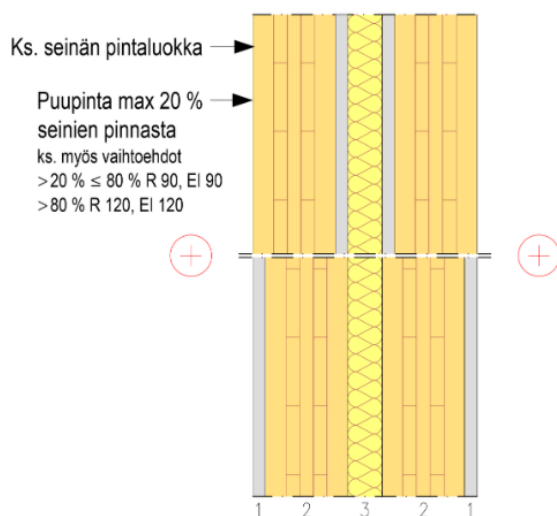
Huoneistojen väliset väliseinät koostuvat yleensä kahdesta erillään olevasta CLT-levystä. Runkopuoliskot eivät saa kytkeytyä toisiinsa, jotta ääneneristävyys ei kärsi. Jo pelkästään villan mekaaniset kiinnikkeet heikentävät seinän ääneneristävyyttä, jolloin kiinnityksen suunnitteluun pitää kiinnittää huomiota. Kiinnitys tulisi tehdä esimerkiksi liimaamalla, jolloin äänitekniistä kytkentää runkopuoliskojen välillä ei tapahdu. Levyjen väliin tulee jättää min. 50 mm ilmatilaa, joka täytetään 50 mm mineraalivillalla. Eristeen lisäksi runkopuoliskojen välissä tai ulkopinnassa kipsilevytys. Kipsilevytys lisätään seinään parantamaan sen äänitekniistä toimintaa. Jos halutaan parantaa seinän ääneneristävyyttä, voidaan se tehdä kasvattamalla runkopuoliskojen välistä ilmatilaa. Tällöin on mahdollista myös toteuttaa huoneistojen välinen seinä ilman kipsilevytystä. (ePuu 2021.)

CLT-rakenteiset kantavat ja ei-kantavat väliseinät voidaan toteuttaa puupintaisina tai palosuojalevytettynä, jolloin noudatetaan samoja ohjeita, kuten kuvissa 7 ja 8. (ePuu 2021; Lahtela 2020).

Kyseisen rakenteen esivalmistusaste on hyvin korkea, sillä väliseinäelementtiin voidaan kiinnittää tehtaalla eriste ja sekä levytys. Kyseinen rakennustapa nopeuttaa työmaalla tehtävää työtä, joka parantaa CLT:n kustannustehokkuutta. (Lahtela 2020.)

Rakennekerrokset:

1. Palosuojakipsilevy 18 mm
2. CLT-levy RAK mukaan 100...120 mm
3. Rako runkopuoliskojen välillä/mineraalivilla 50 mm



Kuva 8. CLT-väliseinän rakennetyyppi (ePuu 2021)

Ei kantavia ja huoneiston sisäisiä väliseiniä voidaan toteuttaa joko rankarakenteisena, tai CLT-rakenteisena. Kustannuksiltaan halvempi toteutus on rankarakenteinen, mutta jos tilassa halutaan tuoda esille CLT-pintaa, voidaan väliseinä toteuttaa CLT-levyllä. Tällaisen väliseinän paksuus on n. 60 mm (Veirak 2020)

3.4 Välipohja

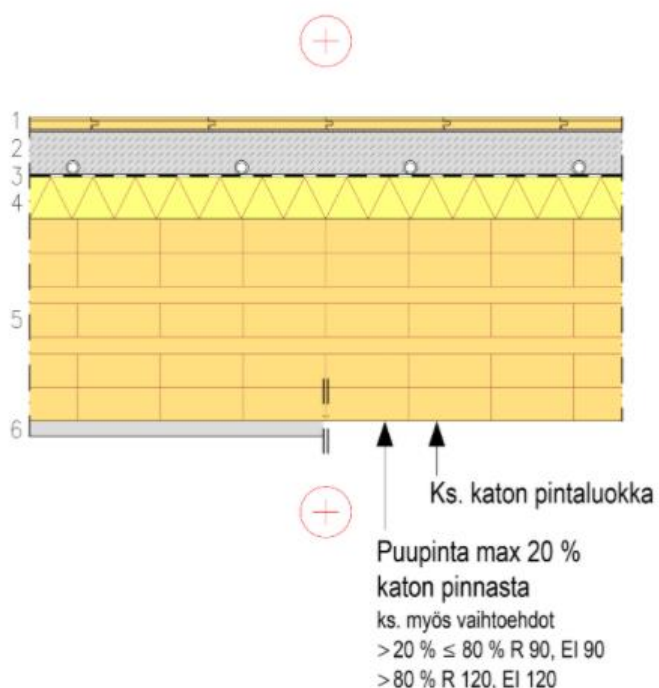
CLT-rakenteinen välipohja voidaan toteuttaa lukuisilla eri tavoilla, kuvassa 9 on esitetty yksi esimerkki CLT-rakenteisesta välipohjasta. Kyseisen välipohjan jännevälin kasvaessa suuremmaksi, hyvin nopeasti CLT-levyn paksuus kasvaa, kasvattaen kustannuksia. Paksu CLT-levy toimii kuitenkin massansa puolesta hyvänä lisänä ääneneristävyydessä. Rakenteessa myös betoni toimii massaa lisäävänä kerroksena. Rakenteen massan kasvaessa saadaan välipohjalle parempi ääneneristävyys ja äänitekniinen toiminta. (Lahtela 2020, Lehtoviita 2019.)

Ääneneristeenä CLT-levyn lisäksi rakenteessa on käytetty mineraalivillaa askelääneneristeenä, sekä betonista pintavalua. Betonivalun ja mineraalivillan väliin tulee asentaa valusuojakangas, jotta betonin sisältämä kosteus ei pääsisi kulkeutumaan eristeeseen aiheuttaen kosteusvaurioita. Välipohjan ja muiden rakenteiden liitokset tulee suunnitella tarkasti. Välipohjan ja kantavan seinän liitoksessa tulee huomioida rakennusfysikaaliset asiat ja kuormien kulkeutuminen ylemmältä rakenteelta välipohjan läpi alemmalle rakenteelle. Esimerkiksi ilman- ja höyrynsulun jatkuvuus välipohjan ja ulkoseinän liitoksessa tulee tarkastella. Kun seinän ilman- ja höyrynsulku toteutetaan kankaalla, voidaan se toteuttaa helposti jatkuvana. Jos CLT-levy suunnitellaan toimivan ilman- ja höyrynsulkuna, täytyy sulun jatkuvuus taata liitosalueella. Sulun jatkuvuus voidaan toteuttaa erilaisilla tuotteilla. Erilaisia tiivistystuotteita löytyy monilta valmistajilta esim. Tescon, Duplex ja Intello. Höyrynsulkujen tiivistämiseen liitosalueilla toimisi Tiivistalon (2021c) mukaan esim. Duplex Pro Clima tiivistysteippi. (Lahtela 2020, ePuu 2021, Tiivistalo 2021b)

Rakennekerrokset (ylhäältä alas):

1. Lattiapinnoite ARK mukaan
2. Pintavalu 50 mm
3. Valusuojakangas 0,5 mm
4. Mineraalivilla 50 mm
5. CLT-levy RAK mukaan 240 mm
6. Palosuojakipsilevy 18 mm

Välipohjan alapinnan jäädessä näkyväksi puupinnaksi, noudattaa pintaluokka samaa vaatimusta, kuin seinissäkin (ePuu 2021). Valusuojakangaan tarkoitus on pitää betonivalun sisältämä kosteus poissa eristeestä, jolloin sen haihtuminen on mahdollista huoneilmaan rakennusvaiheessa. Rakennusvaiheen tuuletus on tärkeää ja valut tulee tehdä hyvissä ajoin ennen rakennuksen luovutusta. (Lehtoviita 2019.)



Kuva 9. CLT-välipohja rakennetyyppi (ePuu 2021)

3.5 Yläpohja

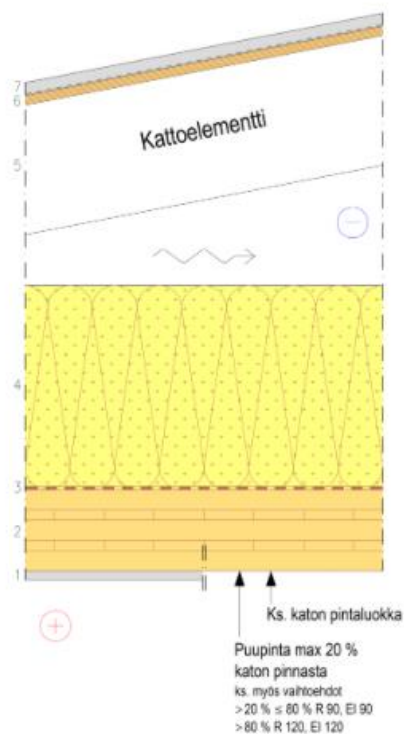
Yläpohjarekonne voidaan toteuttaa käyttäen monia eri puurunkoisia yläpohjatyyppejä, ePuu (2021) toteaa. Erityishuomio tulee kohdistaa rakenteen palotekniseen toimintaan. Yläpohjan ontelo tulee osastoida muista tiloista. Esim. rakennetta mitoittaessa tulee tutkia eri palotilanteet ja niiden vaikutus rakenteen kantavuuteen palon sattuessa. Huoneistopalon ja ullakkopalon vaikutukset rakenteen kantavuuteen ovat eriävät, joten molemmat tilanteet tulee tutkia. Osastointi yläpohjassa voidaan toteuttaa rungon alapuolisella (huoneiston puolisella) palonsuojakipsilevytyksellä. Tällöin levytys mahdollistaa kerrososastoinnin ja levytys voidaan huomioida huoneistopalon tapahtuessa CLT-rungon palosuojauksena.

Palotilanteessa tulee huomioida tilanteesta riippuen eri rakenneosien kiepahdus. NR-ristikko, jonka alapaarre on kantava, on alapaarteen kiepahdustuenta tarkasteltava ja palosuojaus mitoitettava. Myös NR-ristikoiden yläpaarteen nurjahdustuenta täytyy huomioida palotilanteessa. Ristikkorakenteiden lisäksi palkkirakenteet tulee suunnitella palotilanteessa kiepahdusta vastaan. Palkkien välinen kiepahdustuenta pitää suunnitella ontelopa-loa varten. (ePuu 2021.)

Kuvassa 10 on esitetty CLT-rakenteinen yläpohjaratkaisu. Yläpohjarakenne on CLT-levyä lukuun ottamatta hyvin tavanomainen tuulettuva yläpohja. Yläpohja voidaan toteuttaa monilla eri menetelmillä, esim. NR-ristikoilla tai puupalkeilla. Kyseinen yläpohjatyyppe saavuttaa U-arvon vertailuarvon 0,09 W/m²K ja on palonkestoltaan R60. (ePuu 2021.)

Rakennekerrokset (sisältä ulos):

1. Palosuojakipsilevy 18 mm
2. CLT-levy RAK mukaan 160 mm
3. Ilman- ja höyrynsulkukangas 0,25 mm
4. Mineraalipuhallusvilla 400 mm
5. Palkit k900 RAK mukaan
6. Aluskate esim. kuusivaneri 18...19 mm
7. Vesikate esim. konesaumapelti



Kuva 10. CLT-yläpohjan rakennetyyppi (ePuu 2021)

ePuun (2021) mukaan yläpohjarakenteen jänneväli rajoittuu yleensä kantavan rakenteen kestävydestä tai taipumarajoista. Usein myös tuotteiden valmistus dimensiot, sekä kuljetukset rajoittavat yläpohjan jänneväliä. Tavanomaisilla kantavilla rakenteilla saavutettavia jännevälejä ovat esim. suora liimapuupalkki max. 20 m, NR-ristikko max. 20 m ja puisilla kattoelementeillä max. 10...20 m. Näistä suositaan kuitenkin puista kattoelementtiä, sillä elementin valmistus tehtaalla säästää työmaatoteutukseen vaadittavaa aikaa huomattavasti. Kattoelementeillä voidaan saavuttaa hallin yläpohjaa rakentaessa, jopa 1000 m² / päivä nopeus. Puurakenteisten yläpohjien mitoittamiseen löytyy useita valmiita ohjelmia Puuinfon verkkosivuilta. Ohjelmia löytyy palomitoituksesta, jäykistyksestä ja muista kestävyyslaskennoista. (Puuinfo 2021.)

CLT-rakenteisen yläpohjan ilman- ja höyrytiiveyden saavuttamiseksi rakenteessa on käytetty jo useasti mainittua kankaista sulkua. Sulun tiiveyden takaamiseksi liitosalueilla tulee käyttää esim. Tescon Crosseal liitosnauhaa. Liitosnauhalla tiivistetään ulkoseinäelementin ja yläpohjajaelementin välinen liitos luotettavasti. (Tiivistalo 2021d.)

4 Liitokset

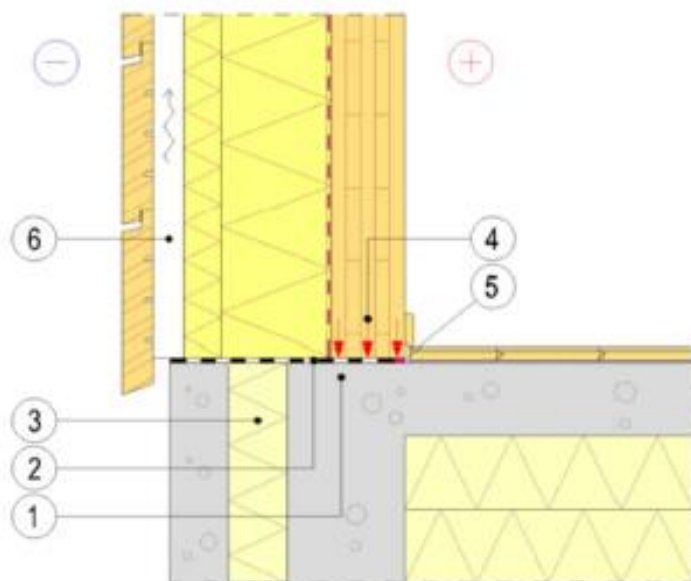
4.1 Tekninen toiminta

Liitosten suunnittelussa tulee huomioida paljon eri asioita, jotta saadaan aikaan työmaatoetukseltaan nopea, luotettava ja toimiva ratkaisu. Tekniseltä toiminnalta todella tärkeää on kuormien kulkeutuminen ylemmiltä rakenteilta perustuksille. Esim. ulkoseinältä perustukselle tapahtuva pysty- ja vaakakuormien siirtyminen. Ainoastaan lamellit, jotka ovat puusyn mukaisesti kosketuksessa perustukseen, siirtävät kuormaa perustuksille. Kuvan X mukainen rakenne toimii kuormien siirtymisen kannalta hyvin, sillä perustuksen ja seinän välissä ei ole painuvia kerroksia. (ePuu 2021, Lahtela 2020.)

Lahtelan (2020) mukaan kuvan X mukainen seinä tulee liittää perustukseen kulmarauodoilla vaakasuuntaisia kuormia vastaan. Liitoksessa tulee kuitenkin huomioida puun luonnollinen kutistuminen. Liitososien tulee sallia liike pystysuunnassa, mutta vaakasuuntainen liike tulee ankkuroida. Perustuksen ja CLT-levyn tukipintojen kestävyys tulee tarkastella tilanteen mukaan, joka on kaikista kuormittavin.

Kuvassa 11 tekniseltä toiminnaltaan haastavaksi osoittautuu kuormien kulkeutuminen seiniltä välipohjan läpi alemmille rakenteille ja jäykistäville rakenteille. Välipohjien väliin asennettava äänen- ja paloneriste aiheuttaa sen, että liitoslevyn pituus kasvaa aiheuttaen mahdollisesti nurjahtelua ja lommahtelua. Myös puisen välipohjan kutistuma on huomattavasti suurempi, kuin pystyrakenteen. Painuma välipohjassa voi olla todella suuria, mitä korkeammaksi kuormat kasvavat. Kyseisessä liitoksessa voidaan käyttää monia eri liitososia, mutta Lahtelan mukaan hyvä vaihtoehto kuormien siirtämiseen voi olla Rothoblaas X-Rad liitoselin. Kyseinen liitin siirtää ruuvien avulla sekä vaaka-, että pystykuormat. Myös kulmalevyillä ja teräslevyillä voidaan toeuttaa kyseinen liitos, joka tulee halvemmaksi. X-Rad järjestelmää käyttämällä säästetään kuitenkin työn osuudessa huomattavasti. (ePuu 2021, Lahtela 2021, Rothoblaas 2021b.)

US - AP



Kuva 11. Ulkoseinän liitos alapohjaan (ePuu 2021)

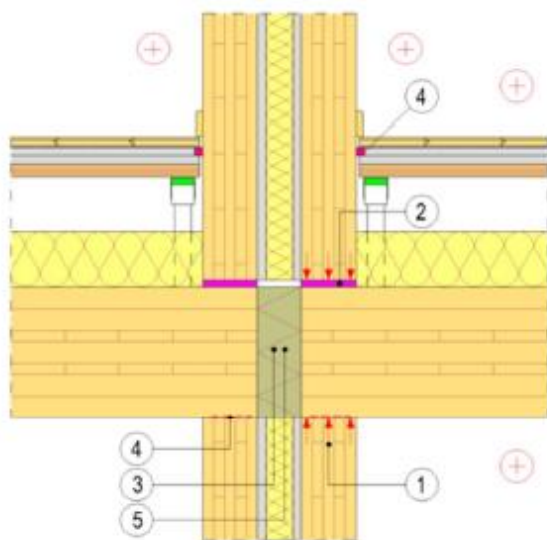
4.2 Rakennusfysikaalinen toiminta

Lahtelan (2021) mukaan kuvan 11 mukainen liitos vaatii myös rakennusfysikaalista suunnittelua monesta eri syystä. Kuvassa nuolella numero kaksi on osoitettu kosteus- ja radonkatko, katko on olennainen CLT-levyn erottamiseksi betonista, josta kosteus voisi muuten siirtyä puuhun. Myös sisäilmaan maasta nouseva radon tulee katkaista tällä katkolla. Rakenteen tuulettamiseksi on huomioitava riittävän suuret tuuletusaukot ulkoverhouksen alapäässä. Seinän alapään ilmantiiveyden varmistamiseksi tulee käyttää liitoksessa sopivaa tuotetta. Liitokseen sopii Tiivistalon (2021d) mukaan esim. Tescon Crosseal liitosnauha. Perustuksen lämpökatko ja sen sijainti pitää sijoittaa siten, että alapohjasta ei synny kylmäsiltoja ja sitä myöden alapohjan suunniteltu rakennusfysikaalinen toiminta ei toteudu.

Kuvassa 12 on esitetty huoneistojen välisen seinän ja huoneistojen välisen välipohjan liitos. Liitoksessa tulee erityisesti huomioida ääniteknisistä asioista äänen sivutiesiirtymä. Sivutiesiirtymää estetään asentamalla välipohjalevyjen väliin eriste, joka erottaa huoneistot toisistaan. Tämän lisäksi väliseinäelementin ja välipohjajaelementin puristusliitokseen tulee asentaa ääneneristyskaista. Tiivistalon (2021b) mukaan eristeen on tarkoitus vaimentaa

askelääniä ja etenkin puurakenteiden värähtelyistä syntyvää infraääntä. Olennaista kaistan toimivuuden ja ääneneristävyyden kannalta olisi löytää tuote, jonka ominaisuudet eivät muutu eri kuormitustilanteissa. Kaistan on myös oltava painumaton, jotta rakenne voi toimia teknisesti. Tiivistalon (2021b) mukaan ääneneristyskaistat kuten PhoneStrip ovat toimivia ratkaisuja CLT-liitoksissa. (ePuu 2021, Lahtela 2020.)

HVS - HVP



Kuva 12. Huoneistojen välisen väliseinän ja -välipohjan liitos (ePuu 2021)

5 Jäykistys

5.1 Betoni-core

Betoni-core eli teräsbetoni elementeistä valmistettu osa puukerrostaloa, jonka tarkoituksena on toimia jäykistävänä rakenteena. Yleisesti puukerrostalon porraskäytävä ja hissi-kuilu valmistettaisiin betonielementeistä, johon sitten CLT-välipohjat ja kantavat seinät tukeutuisivat ja siirtäisivät vaakakuormat jäykälle betoni rakenteelle.

Vaakakuormat siirtyvät jäykistäville rakenteille erilaisten teräслиitososien avulla. Liitososille ei vakinoitunutta standardia, vaan ovat ne lähtökohtaisesti suunniteltava kohde kohtaisesti. Yksi Euroopan suurimmista puurakenteisten kerrostalojen liitososavalmistajista on espanjalainen Rothoblaas. Rothoblaas valmistaa liitososia, höyrynsulkuosia, sekä esim. kattoturvatuotteita. Välipohjan ja betonielementtien liitos tulisi tehdä kulmaraudoilla siten, että liitos estää vaakasuuntaisen liikkeen, mutta sallii pystysuuntaisen liikkeen. Tällöin ongelmaksi ei muodostu kahden eri rakennusmateriaalin eriävät ominaisuudet, esim. kuormitettaessa puu puristuu kokoon enemmän kuin betoni, joten liitos, joka estäisi myös pystysuuntaisen liikkeen, ei olisi ideaalinen tällaisessa tilanteessa. Kuvassa 13 nähdään kyseisen jäykistystavan lukuisat kulmaraudat betoni-coren ja CLT-välipohjan liitoksena. (Lahtela 2021, Rothoblaas 2021a)



Kuva 13. CLT-välipohjan liitos jäykistävään rakenteeseen (Lahtela 2020)

Puurakenteisen kerrostalon ongelmaksi jäykistyksen osalta muodostuu palo- ja äänitekniikan kannalta se, että välipohja tulee jakaa palo-osastojen mukaisesti huoneiston kokosiin laattoihin. Kun kerros ei muodosta yhtenäistä laattaa, tulee laatat liittää toisiinsa teräsluottoilla, jolloin saavutetaan vaadittu jäykkyys. (Lahtela 2021, Metsäwood 2019.)

Betonielementeistä rakennettu porraskäytävä tuo muuten kevyelle puukerrostalolle todella paljon lisää painoa, jota vaaditaan korkeiden rakennusten stabiliteetin saavuttamiseen. Rankarakenteisen tai täysin puuelementeistä rakennetun kerrostalon suureksi ongelmaksi voi muodostua ankkuroinnin tarve, kun rakenteet eivät itsessään ole kovin painavia. Rakennuksen korkeuden kasvaessa, vaakakuormat kasvavat. Vaakakuormat aiheuttavat rakenteeseen kaatavia voimia, jos kaatavan voiman aiheuttama momentti on korkeampi, kuin puisen rakenteen paino, vaaditaan ankkurointia. Betoni-core rakenteisessa kerrostalossa ankkuroinnin tarve kuitenkin vähenee huomattavasti betonielementtien tuoman painon vuoksi. (Lahtela 2021.)

Valmistamalla betonisen jäykistävän rakenteen saavutetaan myös paloteknisesti helpompi ratkaisu. Korkeissa puukerrostaloissa vaadittavat sprinklaus-järjestelmät ovat suuri kulu, sekä yksi epävarmuustekijä lisää palotilanteessa. Betoni-corella sprinklausta ei tarvittaisi rappukäytävän alueella, joka vähentäisi sprinklaustarvetta, sekä kuluja. (Lahtela 2021.)

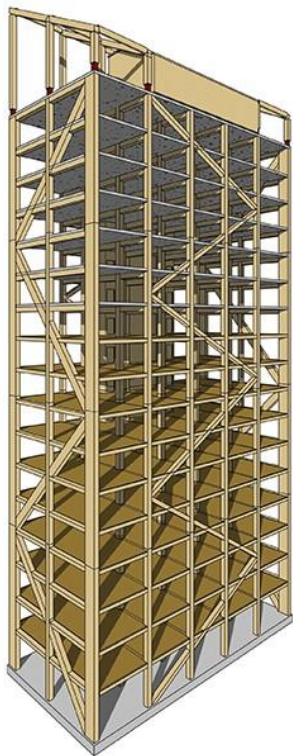
Betonielementtien suunnittelu ja valmistus on Suomessa yleistä, joten kustannukset ovat huomattavasti matalammat ja vaativat vähemmän resursseja niin suunnittelijalta, kuin valmistajaltakin. Myös logistiikka ja asennus on huomattavasti tutumpaa, jolloin ei vaadita erikoisosaamista esim. CLT-elementtien asennuksesta, täten laskien kustannuksia entisestään. (Lahtela 2021.)

5.2 Puuristikko

Maailmalla on tehty pilottihankkeina puuristikkojäykisteisiä kerrostaloja, joissa jäykistävänä rakenteena toimii esim. massiiviset liimapuuristikot. Tästä esimerkkinä maailman korkein puurakenteinen kerrostalo Norjassa, Mjosa Tower. Mjosa Tower on LVL-elementti rakenteinen 85,4 metriä korkea kerrostalo, jonka jäykistävänä rakenteena toimii liimapuuristikko, joka kulkee koko rakennuksen ympäri kehikkomaisesti. Kehikon sisään on sitten rakennettu itse tilat sisään. Kohteessa kymmenen ensimmäistä kerrosta ovat täysin puurakenteisia ja kahdeksan ylintä puolestaan ovat betonivälipohjaisia. Tällaisella rakenteella on tuotu kevyelle puurakennukselle paljon lisää painoa, jotta ankkurointikuormat saataisiin matalammiksi. (Lahtela 2021, Metsäwood 2019.)

Kuvassa 14 on esitetty Mjösa Towerin kantavat rakenteet ja jäykistävät liimapuuristikot. Kuten kuvasta näkee ovat rakenteet todella massiivisia, joka tuo oman haasteensa arkkitehtuurin ja rakennussuunnittelun osalta. Tällaisen rakenteen kustannukset voivat myös olla huomattavasti korkeammat, kuin muilla jäykistystavoilla. Jäykistäviin diagonaalisauvojen valmistukseen kuluu todella paljon liimapuukuutioita, jotta voidaan saavuttaa korkean kerrostalon vaakakuormia vastaavat rakenteet, joka nostaa kustannuksia huomattavasti. (Lah-tela 2021, Sweco 2019).

Puuristikkorakenteisen kerrostalon esivalmistusaste on todella korkea, jolloin työmaavaiheen kesto laskee huomattavasti, esim. verrattuna betonielementeistä rakennettavaan rakennukseen työmaavaiheen kesto voi laskea jopa 40 % (Sweco 2019).



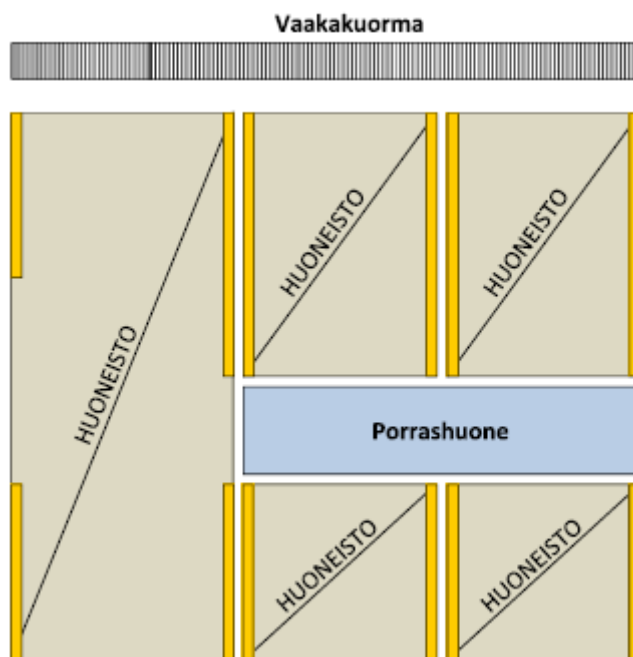
Kuva 14. Puuristikojäykistys (Metsäwood 2019)

5.3 Levyjäykistys

Levyjäykistys on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen ja tavanomainen, levyjäykistys voidaan saada aikaan joko massiivipuulementeillä tai rankarakenteisilla seinillä ja välipohjilla. CLT-rakenteisen ja levyjäykistetyn kerrostalon ideana on tuoda vaakakuormat väliseinien, ulkoseinien ja välipohjien avulla alas perustuksille. Levyjäykisteisen rakenteen

mahdollistamiseksi kaikki liitokset tulee tehdä vaakakuormilta jäykiksi, joka saadaan aikaiseksi tuhansilla kulmarauodoilla ja teräslevyillä. (Lahtela 2021.)

Kuten muissakin jäykistystavoissa, jopa suuremmaksi ongelmaksi muodostuu välipohjan osastointivaatimukset. Välipohjan tulee olla yhtenäinen rakenne, jotta vaakakuormat siirtyvät luotettavasti kantavalle pystyrakenteelle ja sitä myöden alas perustuksille, joten liitososien mitoitus on todella olennaista. ePuun mukaan CLT-levyistä rakentuva välipohjarakenne ei vaadi jatkuvaa kuormaa vastustavaa rakennetta. Levyillä on luonnostaan kyky ottaa vastaan parrevoimia. Parrevoimat siirtyvät levyiltä toiselle esim. teräslevyillä. Levyjen liitoksissa leikkausvoima otetaan vastaan ruuviliitoksilla. Ruuviliitokset tulee tehdä vinoruuviliitoksilla, jotta jokaisen lamellin kestävyys voidaan huomioida. Kuvassa 15 on esitetty levyjäykisteisen rakennuksen välipohjan osastointi huoneiston kokoihin laattoihin. (Lahtela 2020.)



Kuva 15. Välipohjan osastointi (Lahtela 2020)

Levyjäykisteisen CLT-rakenteen heikkoutena ilmenee puun matala paino. Painon puutteen vuoksi ankkuroinnin tarve kasvaa huomattavasti, jolloin sen suunnitteluun tulee käyttää huomattava määrä resursseja rakennuksen korkeuden kasvaessa. Joensuussa on toteutettu CLT ja LVL rakenteinen lähes 50 metrin korkuinen kerrostalo (Lighthouse), joka on tehty levyjäykisteisesti. Rakennus on Suomen korkein puukerrostalo ja se on ensimmäinen levyjäykisteinen kerrostalo, joka on toteutettu ankkuroimalla rakennus, koko korkeudeltaan

perustuksiin asti, terästangoilla. Kyseisessä kohteessa ankkurointi tehtiin kolmen kerroksen pituisilla ankkureilla, jotka sitten kytkettiin toisiinsa ja tuotiin perustuksille. Kohteen ankkuroinnin tarve pieneni, mitä korkeammalle noustiin. Alin kerros vaati jopa 94 ankkuria ja ylin puolestaan 34. (Puuinfo 2020d.)

Levyjäykisteisessä rakennuksessa suurimmat hyödyt muiden jäykistystapojen ylitse on, pienemmät puukuutiot, koko rakenne puusta ja teräksestä, jolloin betonin valmistuksen ilmastokuorma jää pois. Kustannuksiltaan levyjäykistys on hieman matalampi, kuin muut rakennustavat, mutta suunnittelua kyseinen toteutus vaatii huomattavasti enemmän. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon puun ja teräksen eriävät materiaaliominaisuudet, niin rakennusvaiheessa, kuin rakennuksen eliniän loppupuolella. (Lahtela 2021.)

Jäykistävän CLT-seinän suunnittelussa tulee huomioida seinän aukotukset. Ainoastaan seinä umpinainen osa toimii jäykistävänä osana. Seinälle tuleva pystyvoima aiheuttaa jäykistäville umpinaisille osille leikkausvoiman. Leikkausvoima jakautuu seinälle osien jäykkyyksien suhteessa. Suunnittelussa voidaan ottaa myös huomioon aukon ylä- ja alapuolella olevat puuosat, jolloin ankkuroinnin tarve pienenee. Tällöin tulee kuitenkin huomioida se, että seinän tulee koostua yhdestä CLT-levystä, eli seinään on leikattu aukko, eikä seinä koostu useammasta osasta. Tällaisen seinän jäykistyskapasiteetti on kuitenkin alhaisempi, kuin täysin umpinaisen seinän, joka tulee huomioida suunnittelussa. (ePuu 2021.)

ePuun (2021) mukaan jäykistävä seinä tulee ankkuroida alempaan rakenteeseen, jos seinän omapaino ei riitä kumoamaan ankkurointiin vaadittavaa voimaa. Puurunkoisen rakennuksen ankkurointi on lähes aina välttämätöntä puun matalan painon vuoksi. Jäykistävät seinät tulee myös ankkuroida leikkausvoimaa vastaan. Jos ankkuroitavan seinän aukkojen ylä- ja alapuoliset osat on huomioitu jäykistyksessä, voidaan seinä ankkuroida ainoastaan seinän päistä. Muissa tapauksissa tulee ankkurointi tehdä jäykistävän seinän umpinaisten osien päistä.

6 Suunnittelussa muuta huomioitavaa

Lahtelan 2020 mukaan massiivipuurakentamisessa ja -suunnittelussa tulee kiinnittää erityishuomiota asioihin, joita esim. betonirakentamisessa ei olla totuttu huomioimaan. Suunnittelijan tulee huomioida asioita niin työmaatoteutusta varten, kuin CLT:n valmistajaa varten. Erityisen tärkeää on, että suunnittelijat ja työmaaorganisaatio osaavat kommunikoida erityisistä vaaroista ja haasteista. Esimerkiksi nostoja suunniteltaessa tulee ottaa huomioon puun syiden suunta. Nostoelimet tulee kiinnittää CLT-elementissä lamelliin, jonka syyt ovat kohtisuorassa ruuvattavaan nostolenkkiin. Kuten kuvassa 16 on esitetty. Väärin kiinnitettäessä ruuvin tartunta puussa on todella huono, joka voi johtaa nostettaessa koko elementin irtoutumiseen nostolenkeistä. Rothoblaas:n mukaan WASP nostolenkki on ehdoton valinta massiivipuurakentamisessa. Kyseinen tuote on sertifioitu täyttämään eurokoodin vaatimat ominaisuudet. Lahtelan (2020) mukaan puurakentamisessa tulisi käyttää hyväksi todettuja ja ennen kaikkea turvallisia tuotteita, jotta saavutetaan toimiva tuote tehokkaasti ja turvallisesti.



Kuva 16. Nostolenkin kiinnitys elementtiin (Rothoblaas 2021c)

Puurakentamisessa myös elementtien aukotukseen ja sen suunnitteluun tulee kiinnittää huomiota. Valmistaja kohtaisia ohjeita ja vaatimuksia voi olla. Yleensä elementtien aukoista ylijäävä puumateriaali on myös laskutettavaa, joten kustannuksissa tulee ottaa huomioon CLT-kuutiot aukkojen kanssa, Lahtela (2020) toteaa. Tällaisissa tapauksissa myös arkkitehtuuri nousee isoon rooliin, sillä ylijäävällä puumateriaalilla voidaan toteuttaa esimerkiksi ovia, jotka jatkavat seinän puun syiden mukaisesti. CLT-levyn aukotusta suunniteltaessa tulee huomioida toleranssien lisäksi myös valmistaja ja tehdaskohtaiset rajoitukset koneistuksessa. Usein CNC-koneella työstäminen ei mahdollista täysin suoria kulmia, vaan koneen terän pyöreys ja koko aiheuttavat pyöristetyt kulmat aukkoihin. Pyöristys voidaan myös poistaa jälkikäteen käsityökaluilla, mikä nostaa valmistus aikaa ja kustannuksia. (Crosslam 2020c)

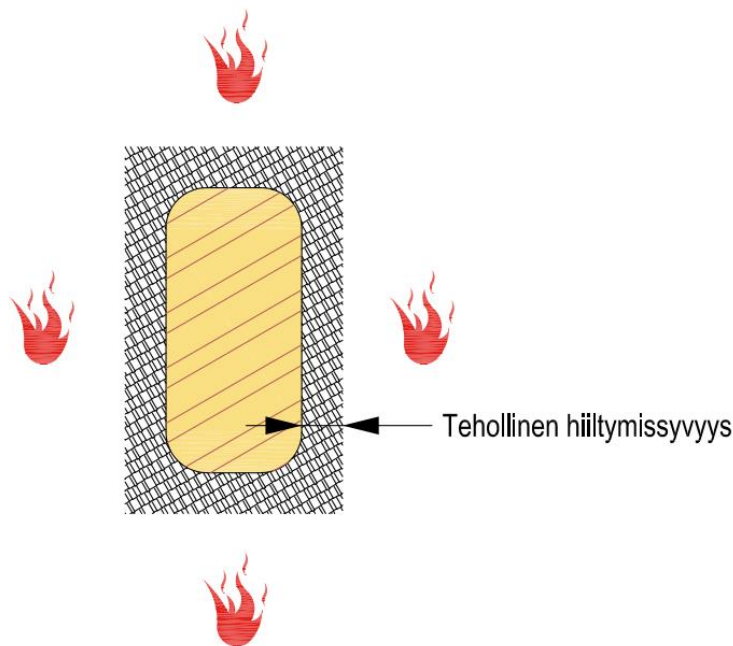
Suunnitelmien lähtiessä tehtaalle tulee kaikkien urien, upotusten, reikien ja kolojen olla tiedossa ja suunnitelmissa. Tehtaalla tehtäessä työ on nopeampaa ja jälki siistimpää. Esim. jäykistävän seinän ja välipohjan liitosta varten tulee molempiin elementteihin tehdä upotus liitoselimelle ja ruuveille. Upotettuina voidaan varmistaa, että kulmaraudat ja teräslevyt sijoitetaan oikeille paikoille. Tämän lisäksi upotettuina liittimet eivät jää puulevyn pinnan ulkopuolelle, aiheuttaen asennus ongelmia muille seinä ja lattiarakenteille. (Lahtela 2020.)

Tuotetoimittaja kohtaisia vaatimuksia suunnitelmiin liittyen on monia. Esim. Crosslam:n mukaan elementtikuvat tulee olla tehtaalla vähintään viikkoa ennen elementtien valmistusta. Kuvien ensisijainen toimitusmuoto on 3D-solid. Elementtikuvista pitää käydä ilmi elementin kuvaussuunta, elementin kuva edestä, sekä päädyistä. Jokaisella kuvalla tulee olla yksilöity tunnus ja jokaisen elementin kuvassa tulee tuoda ilmi lamellien vaadittu suunta. Kuvista tulee käydä ilmi pintalaadut, aukotukset ja viisteet. Edellä mainitut asiat tulee osoittaa niin selvästi, että ei synny virhetulkintoja. Mittojen lisäksi myös sähköasiat ja putket tulee osoittaa reunaetäisyyksillä, sekä ilmoittaa reikien ja työstöjen syvyydet. (Crosslam 2020c.)

7 Paloturvallisuus

7.1 Puun palotekninen käyttäytyminen

CLT on puun tavoin palava materiaali. Puun palamisen kehittyminen palon aikana tunnetaan hyvin. Puun hiiltyessä palaneet uloimmat kerrokset suojaavat puuta palolta, jolloin rakenteen poikkileikkaus pienenee hyvin ennakoitavasti, kuten kuvassa 17 nähdään. Palo-suojamattomille puurakennustuotteille on määritetty hiiltymisnopeudet, jonka avulla voidaan arvioida palotilanteen hiiltymissyvyyksiä, yms. (Puuinfo 2018, 80.)



Kuva 17. Puun hiiltyminen (Puuinfo 2018, 81)

Palotilannetta varten mitoittaessa tulee ottaa huomioon poikkileikkaus pinta-alan pienentyminen palon aikana. Palonkestoajan lopussa poikkileikkauksesta on jäljellä tehollinen poikkileikkaus, jonka tulee kestää palotilanteen pienennetyt rasitukset. Suojamattoman rakenteen palomitoitus tehdään kasvattamalla poikkileikkausta. (Puuinfo 2018, 80.)

7.2 Liima palotilanteessa

Puurakenteissa, joissa liima toimii lamelleja yhdistävänä komponenttina, tulee huomioida liiman vaikutus palotilanteen kestävyydelle. Fenolipohjaiset liimat tiedetään käyttäytyvän hyvin palotilanteessa, jolloin palomitoitus tehdään, kuten sahatavaran kohdalla. Polyuretaanipohjaisia liimoja käytettäessä on havaittu lamellien irtoamista, eli delaminoitumista. Suurin

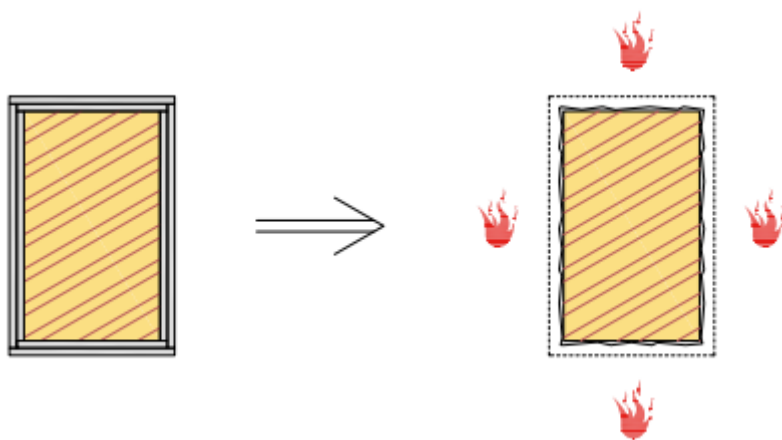
riski CLT- rakenteissa delaminoitumiselle on vaakarakenteissa, kuten välipohjissa. Kuvassa 18 on polttokokeella havainnollistettu CLT-levyn delaminoituminen. Delaminoituessa lamel- likerros irtaää äkillisesti, jolloin sen lujuus pienenee huomattavasti. (Puuinfo 2018, 80.)



Kuva 18. CLT-levyn delaminoituminen (Puuinfo 2018, 81)

7.3 Palosuojaus

Puurakenne voidaan suojata koko palonkestoajalle, tai vain osittain. Täysin vaaditun palonkestoajan kestävän suojarakenteen hyötynä on se, että puurakenne ei ole palolle alttiina koko palotilanteen aikana, jolloin sen kestävyys ei laske. Suojarakenteena toimii usein palosuojakipsilevytys. Kuvassa 19 on esitetty koko palonkestoaikaa vastaan suojattu puurakenne. Osittain palonkestoajan kestävä suojaus toimii niin, että palosuojailevytyksen palassa puun ympäriltä, puu alkaa palaa tavanomaisesti. Esim. R 60 -rakenteessa palosuojaus on suunniteltu suojaavan rakennetta 30 minuuttia ja seuraavat 30 minuuttia sallitaan rakenteen hiiltyminen. (Puuinfo 2018, 81.)



Kuva 19. Palosuojattu puurakenne (Puuinfo 2018, 87)

8 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa työkalu kokemattomalle puurakennesuunnittelijalle, sekä löytää yleisesti hyväksi todettuja ratkaisuja. Työssä myös oli tärkeää löytää CLT:lle ominaisia piirteitä ja vaatimuksia. Työn yksi tavoitteista oli myös koota laajalle levinyttä tietoa CLT:stä yhteen paikkaan, jotta syvempi tiedonhaku helpottuisi varsinaista suunnittelua tehdessä.

Tutkimustyö alkoi tavanomaisesti CLT:n yleisistä ominaisuuksista ja valmistuksesta. Kyseistä aihetta on tutkittu ja siitä on tehty opinnäytetöitä, joten levyn rakennusfysikaaliset ja tekniset ominaisuudet käytiin lävitse lähinnä esittelevällä tavalla. Tästä huolimatta lyhyesti esitettynäkin tekstistä käy ilmi olennainen tieto, jonka pohjalta suunnittelija voi tehdä tarkempaa tarkastelua muiden lähteiden pohjalta. Keskeisenä ominaisuutena työssä kävi ilmi CLT:n kosteuspuskuri ominaisuus. Kosteuspuskurina toimiva CLT-levy on rakennuksen sisäilman kannalta arvoa kohottava tekijä.

CLT-rakenteessa hyötynä muiden rakennusmateriaalien ylitse on korkea jäykkyys ja keveys. CLT-levyistä voidaan rakentaa jäykkä rakenne edelleen säilyttäen keveyden. Rakenteen keveys aiheuttaa myös haittoja rakenteen toiminnalle. Etenkin rakennuksen korkeuden kasvaessa kevyt puurakenne on tuulikuormien takia altis ns. kaatumaan. Rakenteen kaatumista vastaan täytyy rakenne ankkuroida perustuksiin. Ankkuroinnin suunnittelu on puurakenteissa vielä alkutaipaleella, joten erikoistumista ja tietoa, sekä tutkimuksia aiheesta tulee tehdä.

Työssä käytiin hieman yksityiskohtaisemmin rakennetyyppejä, jotka on todettu toimiviksi. Työn keskeinen tehtävä olikin löytää vaaranpaikkoja eri rakennetyypeistä. Esimerkiksi kantavan seinän rakennetta suunniteltaessa tulee huomioida puurakenteen ja muiden rakenteiden eriävät painumat. Myös CLT-levyn toiminnan ymmärrys nousee suureen rooliin kantavan seinän ja kantavan vaakarakenteen suunnittelua. Tulee ymmärtää puun syiden suuntainen ja puun syitä vastaan olevan kestävyiden erot.

Yleisellä tasolla työssä käytiin läpi puurakenteille tavanomaisia jäykistysjärjestelmiä, joista löytyvää tietoa on vielä kovin vähän. Jäykistysjärjestelmää valittaessa tulee tehdä päätös rakennusmateriaaleissa. Kustannustehokkuus, toteutettavuus ja suunnittelutyön määrä vaihtelee paljon eri jäykistysjärjestelmiä käytettäessä. Puurakennetta suunniteltaessa ei kuitenkaan pidä sulkea muita rakennusmateriaaleja pois, esim. betoni-core tuo rakenteelle paljon lisää jäykkyyttä, sekä painoa. Kun rakenteen paino nousee, etenkin korkeissa rakennuksissa, ankkuroinnin tarve vähenee.

CLT-rakenteet tuovat myös suunnitteluun ja toteutukseen muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna paljon erityispiirteitä, kuten aukotukset ja asennusvarat. Elementti, jossa on paljon aukkoja maksaa saman verran materiaaleissa, kuin täysin ehjä levy. Betonirakenteissa taas ainoastaan käytetyt betonikuutiot maksavat. CNC-koneistuksen heikkoudeksi lukeutuu koneistuspään koko ja liikkeet. CLT-elementin ikkuna-aukko vaatii kulmien pyöreiden vuoksi jälkityöstöä käsityökaluin, tai tulee pyöristykset ottaa huomioon ikkunan valmistuksessa tai suuremmilla toleransseilla.

Tiedon luotettavuus on työssä vaihtelevaa. Osa tiedosta on suoraan tuotetoimittajien ja elementtivalmistajien sivuilta, joka voi olla hieman puolueellista tai vääristynyttä. Työssä yhtenä suurena lähtötiedon pohjana on ollut myös voittoa tavoittelemattomia yhtiöitä, kuten Puuinfo. Puuinfoa voidaan pitää hyvin luotettavana, koska puuinfo on toiminut alalla hyvin pitkään pyrkien standardisoimaan puurakentamista. Lähteenä käytetyt korkeakoulu kurssit ovat myös luotettavan tiedon hyviä lähteitä. Korkeakouluopettajat ovat perehtyneet kyseisiin aiheisiin jopa monia kymmeniä vuosia, joten virheellinen tieto on huuhtoutunut suuremmilta osin pois. Haastatteluissa puolestaan sain tietoa henkilöltä, joka on toiminut puuinfon luennoitsijana ja muutenkin toiminut puurakentamisessa kunnioitettavissa projekteissa, joten häneltä saatu tieto on hyvinkin luotettavaa. Työssä tulisi olla vieläkin enemmän haastattavia, jotta esimerkiksi toteutetuille rakenteille saataisiin työmaatoteutuksen ja suunnittelun kannalta lisätietoa. Tämä lisätieto olisi hyvin tärkeä tulevaisuuden tuotekehitykselle.

Lähdeluettelo

Crosslam 2015a Seinän nurjahduskestävyys. Viitattu 15.4.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/mitoituslaskelmat-1-seinn-cc-83n-nurjahdus-kestn-cc-83vyys.pdf>

Crosslam 2015b Välipohjan kestävyys. Viitattu 15.4.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/mitoituslaskelmat-4-vn-cc-83lipohjan-kestn-cc-83vyys.pdf>

Crosslam 2020a CLT-levyn tekniset tiedot. Viitattu 8.2.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/tuotteet/tekniset-tiedot.html>

Crosslam 2020b Syrjäänliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin. Viitattu 25.2.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/syrjaliimaamaton-clt-paras-suomen-olosuhteisiin.html>

Crosslam 2020c CLT-suunnittelun ohje. Viitattu 27.5.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/clt-suunnittelun-ohje.pdf>

ePuu 2021 Työkaluja puurakennushankkeen valmisteluun. Viitattu 31.3.2021. Saatavissa <https://epuu.fi/jarjestelmat>

Hoisko 2020a HOISKO CLT -elementin tekniset ominaisuudet. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa <https://hoisko.fi/clt/tekniset-ominaisuudet/>

Hoisko 2020b Mitä on HOISKO CLT? Viitattu 15.4.2021. Saatavissa <https://hoisko.fi/clt/?lang=fin>

Lahtela, T. syksy 2020. Puurakenteiden suunnittelu. LAB-ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.3.2021.

Lahtela, T. 2021. Rakennesuunnittelija. Insinööritoimisto Lahtela Oy. Haastattelu 18.3.2021 Viitattu 20.3.2021

Lehtoviita, T. syksy 2019. Rakennusfysiikka. LAB-ammattikorkeakoulu. Viitattu 24.5.2021.

Metsäwood, 2019 Mjøstårnet, maailman korkein puurakennus. Viitattu 30.3.2021. Saatavissa <https://www.metsawood.com/fi/media/referenssit/Pages/Mjostornet-maailman-korkein-puurakennus.aspx#>

Puuinfo 2018 Paloturvallinen puutalo – Asuin- ja toimitilarakentaminen. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/paloturvallinen-puutalo-asuin-ja-toimitilarakentaminen/>

Puuinfo 2019 Massiivipuulevyjen teknisiä ominaisuuksia. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Massiivipuulevyjen_teknisia_ominaisuuksia.pdf

Puuinfo 2020a Monikerroslevy (CLT). Viitattu 8.2.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puu-tieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>

Puuinfo 2020b Puu sisäilman kosteuden tasaajana. Viitattu 15.2.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puu-sisailman-kosteuden-tasaajana/>

Puuinfo 2020c Puun ominaisuudet, Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/>

Puuinfo 2020d Lighthouse Joensuu. Viitattu 31.3.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/lighthouse-joensuu/>

Puuinfo 2020e Mitoitusohjelmat. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/suunnittelu/mitoitustyokalu/>

Rothoblaas 2021a Catalogues. Viitattu 31.3.2021. Saatavissa <https://www.rothoblaas.com/catalogues-rothoblaas>

Rothoblaas 2021b X-Rad connection system. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/x-rad/x-rad>

Rothoblaas 2021c WASP hook for timber elements transport. Viitattu 27.5.2021. Saatavissa <https://www.rothoblaas.com/products/machines-and-tools/transport-and-lifting/wasp>

Storaenso 2012 CLT-rakentamisen yleisperiaatteet. Viitattu 17.5.2021. Saatavissa <https://docplayer.fi/5755293-Clt-rakentamisen-yleisperiaatteet.html>

Sweco 2019 The world's tallest wooden building, Mjosa Tower, created new experience in wood construction design. Viitattu 30.3.2021. Saatavissa <https://www.sweco.fi/en/our-offer/Structural-Engineering/design-and-consultancy-of-structural-engineering/mjosa-tower/>

Swedishwood 2019 The CLT Handbook. Sveriges Skogsindustrier. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdf/er/CLT-handbook-2019-eng-m-svensk-standard-2019.pdf>

Tiivistalo 2021a Tiivistyslaippa kaapelille tai putkelle. Viitattu 17.5.2021. Saatavissa <https://www.tiivistalo.fi/lapiviennit/roflex-20/>

Tiivistalo 2021b Äänieristyskaista monikerroksisiin CLT- ja MHM-rakenteisiin. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://www.tiivistalo.fi/aanieristeet/phonestrip/>

Tiivistalo 2021c Kaksipuolinen tiivistysteippi PRO CLIMA -höyrynsulkujen, aluskatteiden ja tuulensuojakankaiden tiivistämiseen. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://www.tiivistalo.fi/tiivistysteipit/duplex/>

Tiivistalo 2021d Liitosnauha puurakenteisten elementtien liittämiseen ala- ja yläpohjaan. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://www.tiivistalo.fi/tiivistysteipit/tescon-crosseal/>

Tiivistalo 2021e INTELLO XN – uuden sukupolven höyrynsulkukangas. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://www.tiivistalo.fi/system-intello/>

Timbeco 2020 Svavelstickan kerrostalo Norrköpingissä, Ruotsissa. Viitattu 16.2.2021. Saatavissa <https://timbeco.ee/fi/portfolio/svavelstickan-kerrostalo-norrkopingissa/>

Tolppanen, J. 2013 Suomalainen Puukerrostalo. Helsinki: Opetushallitus.

Veirak 2020 Rakenteet. Viitattu 31.3.2021. Saatavissa <https://www.veirak.fi/rakenteet.html>

Ari Kevarinmäki 2017 RIL 205-1-2017 lisäohjeet: CrossLam Kuhmo CLT. Viitattu 15.4.2021. Saatavissa <https://docplayer.fi/70811987-Ril-lisaohjeet-crosslam-kuhmo-clt.html>