


KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tuukka Nykänen

PUU-PUULIITOKSET CLT-RAKENTAMISESSA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2021

	<p>OPINNÄYTETYÖ Toukokuu 2021 Rakennustekniikan koulutus</p> <p>Tikkarinne 9 80200 JOENSUU +358 13 260 600</p>
<p>Tekijä Tuukka Nykänen</p>	
<p>Nimeke Puu-puu liitokset CLT-rakentamisessa</p>	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia puu-puuliitosten kestävyyttä CLT-rakentamisessa. Tehävänä oli kehitellä ja valmistaa erityyppisiä CLT-liitoksia ilman metallisia kiinnikkeitä ja ruuveja sekä testata näiden liitosten kestävyyttä koulun laboratoriossa.</p> <p>Tässä työssä valmistettiin kolme erilaista liitosta: kaksi väliseinäliitosta sekä yksi nurkkaliitos. Niistä jokaista tehtiin kolme kappaletta, jotta saataisiin mahdollisimman oikea kuva liitoksien kestävydestä. Työssä keskityttiin mittaamaan pelkästään liitosten vetolujuutta. Testit suoritettiin laboratoriossa veto-puristuskoneella. Vetorasitustestin maksivoimaksi saatiin kestävimille väliseinäliitoksille 24,5 kN ja 7,3 kN. Vahvimman nurkkaliitoksen maksivoima oli 22,9 kN.</p> <p>Opinnäytetyössä pääsin tutustumaan paremmin CLT:hen rakennusmateriaalina ja keräämään siitä tärkeää informaatiota tulevaisuuttani ajatellen. Uskon että CLT tulee olemaan tulevaisuudessa koko ajan isommassa roolissa puurakentamisessa sen ekologisuutensa ja helpon rakennettavuutensa ansiosta.</p>	
<p>Kieli suomi</p>	<p>Sivuja 41</p>
<p>Asiasanat CLT, puu-puuliitos</p>	

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS May 2021 Degree Programme in Construction Engineering Tikkarinne 9 FI 80200 JOENSUU FINLAND Tel. +358 13 260 600
Author Tuukka Nykänen	
Title Wood-wood Connections in CLT-Construction	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to study durability of wood-wood connections in CLT construction. The task was to develop and build a few different types of wooden connections without any nails, screws, or other metal fasteners. The connections were tested in the school laboratory.</p> <p>Three different kind of connections were made, two partition joints and one corner joint. Three connections of each model were made to get the most accurate results. The test focused on measuring only the tensile strength of joints. The test was made in the school laboratory on a press machine. The maximum forces of the tensile stress test were 24,5 kN and 7,3 kN for the most durable partition joints. The maximum force of the strongest corner joint was 22.9kN.</p> <p>During this thesis, the author got to know CLT better as a building material and collected important information about it for the future. CLT will most likely play an increasingly important role in wood construction in the future due to its ecology and ease of construction.</p>	
Language Finnish	Pages 41
Keywords CLT, wood-wood connections	

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Puukerrostalojen rakennejärjestelmät	6
2.1	Rankarakenteiset suurelementit	6
2.2	CLT runkoelementti järjestelmä	7
2.3	Pilari-palkkijärjestelmä	8
2.4	Tilaelementit	8
2.5	Yhdistelmärakenteet	9
3	Rakennuksiin kohdistuvat kuormat.....	10
3.1	Kuormat	10
3.2	Voimat	10
3.3	Standardit	11
4	Puuliitokset.....	11
4.1	Liitoksien ryhmittely	12
4.2	Liitoksien vaatimukset.....	13
4.3	Puuliitoksia	14
5	CLT	16
5.1	Hyödyt	18
5.2	Haitat	19
6	Yleisimmät liitosratkaisut CLT-rakentamisessa	19
6.1	CLT-elementtien väliset liitokset	20
6.2	Seinän nurkkaliitos.....	22
6.3	Välipohja-seinäliitokset	23
7	Innovatiivisia CLT-liitoksia maailmalta.....	24
8	Työn toteutus.....	26
9	Liituskappaleet	27
9.1	Kiilautuva urospontti	27
9.2	Väliseinäliitos kiilapaloilla.....	29
9.3	Hammasliitos puutapeilla	31
10	Mallipalojen testaaminen.....	33
11	Tulosten tarkastelu.....	35
11.1	Kiilautuva urospontti	35
11.3	Hammasliitos puutapeilla.....	37
11.4	Liitoksien kestävyyskuvaajat.....	38
12	Pohdinta.....	39
	Lähteet	41

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia puu-puuliitosten kestävyyttä CLT-rakentamisessa. Tehtävänä oli kehitellä ja valmistaa erityylisiä CLT-liitoksia ilman metallisia kiinnikkeitä ja ruuveja sekä testata näiden liitosten kestävyyttä koulun laboratoriossa. Työssä valmistettiin kolme erilaista liitosta: kaksi väliseinäliitosta sekä yksi nurkkaliitos. Niistä jokaista tehtiin kolme kappaletta, jotta saataisiin mahdollisimman oikea kuva liitoksien kestävyydestä. Työssä keskityttiin mittaamaan pelkästään liitosten vetolujuutta. Testit suoritettiin laboratoriossa veto-puristuskooneella.

Sain melko vapaat kädet suunnitella ja tehdä työtä mikä lisäsi mielenkiintoa aiheetta kohtaan. CLT:n valitseminen materiaaliksi oli helppo valinta. Olen kuullut paljon kyseisestä aiheesta, mutta en ole koskaan perehtynyt siihen sen tarkemmin. Opinnäytetyötä tehdessä pääsin kirjaimellisesti raapaisemaan CLT:n pintaa vähän syvemmälle.

Puurakentaminen kasvaa nykyisin kovalla vauhdilla ja CLT tulee koko ajan suosittumaksi rakennusmateriaaliksi sen hyvien ominaisuuksien takia. Liitokset ovat kuitenkin huonosti tehtynä rakennusten heikkoja kohtia, ja puurakentamisessa liitoksiin käytetäänkin paljon metallisia kiinnikkeitä vahvistamaan niitä. Ideana oli tutkia pystyisikö liitokset tekemään helposti ilman metallisia kiinnikkeitä mutta kuitenkin siten, että niistä tulisi tarpeeksi kestäviä ja asennushelppous työmaalla säilyisi. Jos metallisia osia saataisiin vähennettyä liitoksista, olisi se myös ekologisesti kannattavampaa.

2 Puukerrostalojen rakennejärjestelmät

Puukerrostalojen rakentaminen on nykyisin pääasiassa teollista rakentamista. Rakenneosat voidaan esivalmistaa hyvinkin pitkälle tehtaalla ja kuljettaa sen jälkeen työmaalle. Tämä vähentää työmaalla tapahtuvaa rakentamista ja pienentää osaltaan muun muassa onnettomuusriskiä työmailla. Yksinkertaiset liitokset, hyvin suunnitellut ja pitkälle esivalmistetut elementit nopeuttavat rakentamista huomattavasti. [18,32.]

Puurakentamisen avuksi Suomessa on laadittu avoin puuelementtirakentamisen teollisuusstandardi RunkoPES, joka ohjaa yleisiä suunnitteluperiaatteita puurakentamisessa. Puukerrostaloihin on olemassa monia erilaisia rakennejärjestelmiä. Ne lajitellaan niiden runkoratkaisujen perusteella kantavaseinäisiin ja pilari-palkkirakenteisiin. Sen lisäksi ne jaotellaan vielä taso- ja tilaelementtijärjestelmiin niissä käytettyjen rakenteiden elementointien perusteella. Järjestelmän valintaan vaikuttavat teknillisyyys ja taloudellisuus kohteen mukaan. [18,30.]

2.1 Rankarakenteiset suurelementit

Paljon käytetty tyyli puurakenteisia rakennuksia tehdessä on rankarakenteiset suurelementit (kuva 1). Seinä muodostuu mitallistetusta sahatavarasta, kerto- tai liimapuusta tehdyistä runkotolpista, ylä- ja alasidepuista sekä seiniä jäykistävästä levytyksestä. Elementteihin voidaan asentaa jo tehtaalla valmiiksi eristeet, muovit, levyt, ulkoverhous, ikkunat ja ovet, jolloin näitä ei tarvitse nostella enää paikalleen työmaalla. Tavallisesti elementit tehdään kerroksen korkuisina ja seinän mittaisina suurelementteinä. Rankarakenteisella ulkoseinällä voidaan saavuttaa hyvät energiatehokkuus- ja ilmatiiviyslukemat. [18,40.]



Kuva 1. Rankarakenteinen järjestelmä [2].

2.2 CLT runkoelementti järjestelmä

CLT eli ristiin liimattu massiivipuulevy (Cross Laminated Timber) sopii kaikkiin kantaviin rakenteisiin, jotka sijaitsevat maanpinnan yläpuolella (kuva 2). Ristiin liimatuista laudoista koostuva CLT-massiivi puulevy on erityisen kilpailukykyinen vaativissa rakennuskohteissa ja korkeissa puukerrostaloissa sen lujuuden, helpon liitostekniikan ja rungon jäykkyyden takia. Se toimii jäykistävänä ja kantava rakenteena yhtä aikaa, joten erillisiä jäykistäviä rakenteita ei välttämättä tarvita. Ominaisuuksiensa ansiosta sillä voidaan tehdä jopa 30-kerroksisia rakennuksia.



[18,44.]

Kuva 2. CLT-elementeistä tehty talo [19].

2.3 Pilari-palkkijärjestelmä

Pilari-palkkijärjestelmässä (kuva 3.) liimapuiset pilarit ja palkit muodostavat rakennuksen rungon. Ylä- ja välipohjat tukeutuvat palkkien varaan. Ulkoseinät ja väliseinät tehdään ei-kantavina ratkaisuin. Tämän järjestelmän etuna on sen suunnittelu- ja muuntojoustavuus. Tiloista voidaan tehdä isompia suurten pilari-palkkirungon jännevälien ansioista ja kantavien väliseinien puuttuessa. [18,46.]



Kuva 3. Pilari- palkki järjestelmä [19].

2.4 Tilaelementit

Tilaelementit esivalmistetaan tehtaalla hyvinkin pitkälle valmiiksi. Niihin on tavallisesti asennettu valmiiksi ikkunat, ovet, seinät, lattiat, kiintokalusteet ja listat (kuva 4). Tilaelementtien runko voidaan tehdä rankarakenteisena tai CLT-levyjä käyttäen. Elementit kuljetetaan työmaalle, jossa ne nostetaan nosturilla paikalleen. Työmaalla rakennuksen pystyttäminen on todella nopeaa. Puukerrostalon

valmiusaste voi olla jopa 90 % sen jälkeen, kun elementit on nostettu paikalleen. [18,48.]



Kuva 4. Tilaelementin nosto paikoilleen [19].

2.5 Yhdistelmä rakenteet

Puukerrostaloja rakentaessa voidaan käyttää myös erilaisia yhdistelmä rakenteita, joissa yhdistellään eri rakennusmateriaaleja ja rakennustapoja. Näin saadaan valmistettua kustannustehokkaampia ja kestävämpiä rakenteita. Hyviä esimerkkejä yhdistelmä rakenteista on hissikuilut ja porraskuilut, jotka voidaan tehdä betonista. Toinen paljon käytetty yhdistelmä rakenne on puukerrostalojen välipohjat. Puisen välipohjan päälle valetaan betoni- tai kipsivalu saavuttaen isompi massa ja parempi ääneneristävyys. Betonia ja puuta voidaan käyttää yhdessä myös kantavissa rakenteissa. Tätä kutsutaan liittorakenteeksi. Esimerkiksi puu-betoniliittolaatoilla päästään välipohjissa pitkiin jänneväleihin ja saavutetaan hyvä ääneneristävyys. [18,49.]

3 Rakennuksiin kohdistuvat kuormat

Rakennuksiin kohdistuu monia erilaisia kuormia. Rakenteiden tehtävä on kuljettaa nämä kuormat perustuksille ja sitä kautta maahan. Tässä kuormien välittämisessä rakenneliitokset ovat merkittävä osa rakenteita. Ne pitää olla tarpeeksi lujia ja jäykkiä pitämään rakenneosat paikoillaan ja välittämään rakennukseen kohdistuneita kuormia eteenpäin. [1.] Tutkimukset maailmalta osoittavat, että rakennusten vaurioitumiset luonnonilmiöiden kuten maanjäristysten tai hurrikaanien jälkeen, ovat johtuneet useasti heikoista tai väärin asennetuista liitoksista. [5.]

3.1 Kuormat

Rakennuksiin vaikuttaa vaaka- ja pystykuormia, jotka jaotellaan pysyviin (G) ja muuttuviin(Q) kuormiin niiden ajallisen vaihtelun mukaan. Pystykuormat muodostuvat rakenteen omasta painosta, lumikuormasta ja hyötykuormasta. Omapaino määräytyy rakenteissa käytetyn materiaalin painon mukaan. Puurakenteisissa rakennuksissa omapaino on vähäinen verrattuna esimerkiksi betonirakennuksiin. Tämä johtuu siitä, että puu on kevyt materiaali. Lumikuorma taas muodostuu rakennuksen päälle kertyvän lumen painosta ja se määritellään maaston, maantieteellisen sijainnin ja katonmuodon perusteella. Hyötykuormaa ovat esimerkiksi rakennuksen sisällä olevat tavarat, laitteet ja ihmiset. [10,11.]

Vaakakuormia ovat tuulikuormat ja mahdollisesti maanjäristyksen aiheuttamat kuormat. Tuulikuorma määräytyy rakennuksen ympärillä olevan maaston sekä rakennuksen korkeuden mukaan. Rakennuksissa olevien jäykistävien vaakarakenteiden ja jäykistävien seinien tehtävä on siirtää näitä vaakakuormia pystyrakenteille ja sitä kautta perustuksille ja maahan. [10,12.]

3.2 Voimat

Rakenteisiin ja liitoksiin syntyy erilaisia jännityksiä ja muodonmuutoksia kuormien seurauksena. Suunniteltaessa rakenteita on pystyttävä laskemaan, millaisia ra-

situksia rakenteille kohdistuu ja kestävätkö käytettävät materiaalit niihin kohdistuvat voimat. Jos materiaalille annetut lujuusarvot ylittyvät, seurauksena on rakenteen vaurioituminen. [13.] Se, missä suunnassa rasitus eli ulkoinen voima kohdistuu kappaleeseen, määrittää rasituksen tyypin. Rasituksilla on kuusi pääajia: veto, puristus, taivutus, leikkaus, vääntö ja nurjahdus. [14.] Näitä voimia on tarkasteltava, kun suunnitellaan rakennusten liitoksia.

Kun rakennuksen korkeus on yli kaksikerroksinen, sen rakenteiden ja liitosten voimat alkavat kasvaa enemmän. Tällaisissa rakennuksissa liitoksilta vaaditaan kestävyyttä. Esimerkiksi puurakenteisia rakennuksia suunniteltaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennuskerrosten ankkurointiin toisiinsa nähden sekä alimman kerroksen ankkurointiin perustukseen. Tämä johtuu puurakenteiden keveydestä eli siitä, että kantaviin seiniin kohdistuva pystykuorma (omapaino) on yleensä pienempi kuin vaakakuorman aiheuttama nostovoima. [15.] Olisi tärkeää kuitenkin pyrkiä suunnittelemaan rakenteet siten, että ankkurointitarvetta ei olisi, koska se on kustannuksiltaan merkittävä lisä rakennuksiin. [18,93.]

3.3 Standardit

Rakennusten suunnittelua määrittelevät standardit. Ne varmistavat rakennusten vertailukelpoisuuden, yhtenäisyyden ja turvallisuuden. [11.] Suunnittelussa käytettävät kuormat ja niiden määrittämiseen tarvittavat ohjeet saadaan SFS-EN 1991 -standardista ja sen kansainvälisistä liitteistä. Puurakenteita suunniteltaessa voidaan käyttää puurakenteiden lyhennettyä suunnitteluohjetta RIL-205-1-2017. [10,8.]

4 Puuliitokset

Rakennusten, kalusteiden ja työkalujen valmistuksessa puuliitoksilla on merkittävä rooli rakenteiden kestävyyttä ja kantavuutta tarkasteltaessa. Eri kulttuureissa on valmistettu erilaisia liitoksia jo tuhansien vuosien ajan, ja esimerkiksi Japanissa ja Kiinassa on olemassa satoja eri tekniikoita, joista haastavimmat vaativat hyviä puusepän taitoja (kuva 6). Nykyisin tietotekniikka (CNC) mahdollistaa monimutkaisten liitoksien tekemisen tietokoneohjatulla robottitekniikalla,

mutta silti yksinkertaisimmat liitokset ovat yhä yleisimpiä niiden taloudellisuuden ja nopean asentamisen vuoksi. [16.]

Rakennusten liitokset suunnitellaan yleensä taloudellisuuden ja rakenteen mukaan, jos liitoksen estetiikkaan ei tarvitse kiinnittää huomiota. Tällaisia liitoksia ovat rakenteiden sisään jäävät liitokset. Näkyviin jäävien kantavien rakenteiden liitoksien ulkonäköön täytyy kiinnittää enemmän huomiota, ja ne korostuvatkin monesti arkkitehtonisena yksityiskohtana. Näkyvillä olevien metallisten liitoskappaleiden heikkous on palonkestävyys. Esimerkiksi naulalevyillä se on enintään 15 minuuttia. Tämän takia metalliset kiinnikkeet asennetaan yleensä rakenteen sisään tai verhoillaan muulla rakenteella. [17,63.]

4.1 Liitoksien ryhmittely

Liitokset ryhmitellään kolmeen eri pääryhmään niiden hyväksymismenettelyn perusteella [17,63]:

1. Normitetuille liitoksille on puunormeissa asetetut rakenneohjeet ja suunnitteluarvot. Näitä liitoksia voi kuka tahansa valmistaa.
2. Erikoisselvityksen vaativat liitokset eivät ole puunormien mukaisia. Rakennustarkastaja voi tarvittaessa vaatia asiantuntijan lausunnon näistä liitoksista.
3. Luvanvaraisille liitoksille on asetettu korkeat vaatimukset. Niiden valmistusoloja, -tekniikkaa ja -laitteita pitää pystyä valvomaan. Tällaisia liitoksia ovat liimaliitokset ja naulalevyliitokset.

Liitokset määritellään lisäksi niiden geometrisen muotonsa tai fysikaalisen toimintansa perusteella. Fysikaalisia liitoksia ovat mekaaniset liitokset ja liimaliitokset. Geometrisia taas puskuliitokset ja lapaliitokset. Näistä jäykin liitos on liimaliitos. Mekaanisissa liitoksissa kappaleet yhdistetään toisiinsa erilaisten liittimien avulla ja voimat siirtyvät liittimien ja materiaalin kosketuspintojen kautta eteenpäin. Pusku- ja lapaliitokset ovat helppo valmistaa, mutta ne eivät ole niin kestäviä. [17,63.]

Puuliitoksia valmistaessa materiaalin ymmärtäminen sekä liitoksien tekninen ymmärtäminen on perustana rakennesuunnittelulle. Hyvin suunnitellut ja tehdyt lii-

tokset toimivat ilman sidosaineita, mutta useasti niissä käytetään puutappien lisäksi esimerkiksi liimaa ja ruuveja. Liitoksen tyylin valintaan vaikuttavat sen käyttötarkoitus ja siihen kohdistuvat rasitukset. Hyvän ja tukevan liitoksen tekemiseen vaaditaan seuraavia asioita [16]:

- oikean puulajin valinta
- puun kosteuselämisen tunteminen
- kosketuspintojen sopivuus toisiinsa
- liitoksen tiukkuus
- liitokseen kohdistuvan rasitussuunnan määrittäminen
- oikea liitostyyppin valinta.

4.2 Liitoksien vaatimukset

Puurakentamisessa ei ole määritetty yhtä tiettyä standardia rakennusosien liittymien suunnitteluun. Myös erilaisia käytettäviä rakennetyyppejä on paljon, ja ne vaihtelevat eri toimittajien välillä. Tämän takia liittymien suunnittelu tehdään tavallisesti tapauskohtaisesti pääsuunnittelijan ja puuosatoimittajan yhteistyössä. [4.]

Liitoksille kohdistuvat vaatimukset voidaan jakaa toiminnallisiin, asennusteknisiin ja taloudellisiin vaatimuksiin. Ne määräytyvät liitosten kestävyys- ja rakentamismääräysten vaatimusten mukaan. [3.]

Toiminnalliset vaatimukset ovat seuraavat:

- Liitosten tulee mahdollistaa rakenteiden yhteistoiminta.
- Liitosten tulee olla tarpeeksi lujia ja jäykkiä.
- Hyvät lämpö-, palo-, ääni- ja kosteustekniset ominaisuudet.
- Huollettavuus, pitkäikäisyys, esteettisyys ja tarkasteltavissa olevuus.

Asennustekniset vaatimukset ovat seuraavat:

- Elementtien asennus ja liitosten teko tulee olla helppoa ja turvallista.
- Liitostekniikoiden on mahdollistettava järjestelmän mukaisten vakio-osien käyttö.
- Liitosten ja liitospintojen tulee olla yksinkertaisia

- Mitta- ja muotopoikkeavuudet on oltava hallittavissa.

Taloudelliset vaatimukset ovat seuraavat:

- Työkustannuksiin vaikuttavat liitosten tekemisen nopeus ja helppous.
- Liitosten materiaalikustannukset koostuvat työkustannusten ohella liitoksiin tulevista liittimistä ja tiivisteistä.
- Liitosten on mahdollistettava eri valmistajien tuotteiden ja eri tuotantotapojen yhteensopivuus ja yhdisteleminen.

4.3 Puuliitoksia

Perinteisesti käytettyjä liitoksia ovat **kosketusliitokset**. Kosketusliitoksessa erilaiset loveukset, pultit ja tapit pitävät liitoksen paikallaan puristusvoimien siirtyessä kosketuksen avulla liitoksesta eteenpäin. [17,64.]

Naulaliitos on vahva ja edelleen paljon käytössä oleva liitostyyppi. Sitä käytetään etenkin pientalotyömailla, koska se on helppo valmistaa ja sen kestävyyttä saadaan lisättyä lisäämällä naulojen määrää tai kokoa. Nykyisin käytetään paljon myös naulalevyjä naulaliitosten sijaan. **Naulalevyt** ovat metallisia levyjä, jotka naulataan tai ruuvataan kiinni. Kantavissa rakenteissa niiden käyttö on kuitenkin luvanvaraista. [17,64.]

Metallisia muotokiinnikkeitä käytetään, kun halutaan liittää nopeasti ja helposti pieniä rakenneosia toisiinsa. Ne voidaan kiinnittää rakenteisiin ruuveilla tai nauloilla kiinnikkeisiin esiporatuista rei'istä. Muotokiinnikkeitä on lukuisia erilaisia niin kulmarauodoista suoriin teräslevyihin. Tavallisimmat käyttökohteet ovat pilarien, palkkien ja jatkosten liitokset. [17,69.]

Järeissä rakenteissa voidaan käyttää **pulttiliitoksia**, jos liitoksen jäykkyydelle ei ole asetettu vaatimuksia. Pulttien tarkoitus on pääasiassa pitää rakenneosat paikallaan, kun voimat siirtyvät pintapuristuksella liitoksesta eteenpäin. [17,64.]

Vaarnaliitos kykenee ottamaan vastaan hyvin leikkausrasituksia. Sitä käytetään yhdessä pulttien kanssa. Vaarnat jaotellaan sen mukaan, tehdäänkö puuhun ura valmiiksi vai puristetaanko vaarna puuhun ilman esitehtyä uraa. Vaarnatyypit jaotellaan tappivaarnoihin, suorakaidevaarnoihin, uravaarnoihin ja hammasvaarnoihin. [17,67.]

Ruuviliitos on yleinen kiinnitystapa puurakentamisessa ja niitä käytetäänkin paljon teräsosien kiinnittämiseen. Ruuvit soveltuvat myös hyvin rakenteiden toisiinsa liittämiseen, jos liitoksissa olevat voimat ovat pieniä. On kuitenkin hyvä muistaa, että ruuvien vetolujuus puun syytä vastaan on heikko, mutta syyn vastaisesti se kestää vetoa melko hyvin. Leikkauskestävyys ruuveilla on myös melko hyvä, jos ruuvi on tarpeeksi paksu. [16.]

Lohenpyrstöliitos eli sinkkaliitos (kuva 5.) on etenkin hirsirakentamisessa yleisesti käytetty liitos, kun halutaan liittää kappaleet kulmauksessa päistä toisiinsa. Se on luja liitos, joka lukitsee itse itsensä vinosti sahattujen lovien ansiosta. Liitoksen lujuus perustuukin suureen liimapinta-alaan ja sen kykyyn kestää räsitusta eri suuntiin. Tarkasti ja hyvin tehtynä se on myös erittäin koristeellinen liitos. [16.]



Kuva 5. Lohenpyrstö nurkka [19].

Poratappiliitos on hyvin tehtynä luja, kestävä ja näkymätön liitos ja sitä käytetäänkin paljon huonekalujen kasaamisessa. Puutapin pituutta ja paksuutta lisäämällä saadaan kasvatettua liimauspinta-alaa ja näin nostettua liitoksen lujuutta. [16.]

Liimaliitoksien käyttö kantavissa rakenteissa on luvanvaraista ja siksi niitä tehdään suurimmaksi osaksi vain tehtaissa, joissa valmistusta pystytään helposti

valvomaan. Liimaliitoksia käytetään esimerkiksi sormiliitoksissa, liimapuun saumauksessa, uuman liitoksissa ja puulevyjen valmistuksessa. Liitosliimana käytetään kaseiini- ja kertamuoviliimoja. [17,69.]



Kuva 6. Japanilainen Sunrise Dovetail-liitos [19].

5 CLT

CLT (Cross Laminated Timber) on melko uusi rakennustuote maailmalla. Ristiin liimatuista puulevyistä valmistettua massiivipuutuotetta käytetään kantavina rakenteina niin puukerrostalokohteissa, pientaloissa kuin silloissakin. 90-luvun puolivälissä Itävallassa ja Sveitsissä alettiin kehittää ja testata nykyistä CLT-tuotetta. Kesti kuitenkin useita vuosia ennen kuin tuote saatiin markkinoille, koska tästä oli hyvin vähän kerättyä tietoa maailmalla. 2000-luvun aikana sen suosio on kasvanut hurjasti. Nykypäivänä se on melko suosittu rakennusmateriaali Euroopassa ja myös hiljalleen muualla maailmassa hyvän ääneneristävyyden, palonkestävyyden ja ympäristöystävällisyytensä ansiosta. [1,18.]

CLT:n rakenne koostuu ristiin liimatuista puulevyistä, tavallisimmin joko kuusesta tai männystä (kuva 7). Se on ominaisuuksiltaan luja, jäykkä ja kevyt. [2.] CLT toimii niin kantavana kuin jäykistävänä rakenteena yhtä aikaa, joten erillisiä jäykistäviä rakenteita ei tarvita. Toisin kuin hirsitaloissa, CLT:ssä painumista ei juurikaan synny ja kosteuseläminen on melko vähäistä. [18,44.] Puulevyissä käytet-

tävä lautatavara on tarkoin valittu ja lujuusluokiteltu. Liimattuja kerroksia eli lamelleja on yleensä 3, 5, 7 tai enemmän, riippuen halutun CLT-elementin paksuudesta. Lamellien paksuudet ovat 20–40 mm ja elementtien paksuus vaihtelee 60–400 mm välillä, riippuen kohteesta ja valmistajasta. Elementin leveys on tavallisesti 2 450–3 500 mm ja pituus 12–24 metriä. [2.] Suuri levykoko nopeuttaa rakentamista ja vähentää levyjen välisten liitosten määrää. Tämä taas parantaa osaltaan rakennuksen ilmatiiviyttä. [18,44.]



Kuva 7. Poikkileikkaus CLT-levyistä. [1].

CLT:n valmistuksessa käytetään useampia eri tekniikoita riippuen valmistajasta, mutta itse puutavaran liimauksessa käytetään pääasiassa kahta eri tapaa. Syrjäliimaamista tai syrjäliimaamatonta tekniikkaa. Syrjäliimaamisessa lamellit liimataan syrjistään levyiksi, jonka jälkeen levyt ladotaan ristiin ja liimataan lappeista toisiinsa. Näin syntyy täysin ilmatiivis massiivipuulevy. Syrjäliimaamattomassa lamellit ladotaan ristiin ja liimataan pelkästään lappeiltaan toisiinsa kiinni. Syrjäliimaamattomissa kosteuseläminen tapahtuu lamellien saumoissa, kun taas syrjäliimatuissa kosteuseläminen saattaa aiheuttaa lautojen halkeilua. [2.]

CLT-levy toimii itsessään hyvänä lämmöneristeenä, joten lisälämmöneristeitä ei välttämättä tarvitse. Tarvittavat lisälämmöneristeet asennetaan ulkopuolelle CLT-elementin ja ulkoverhouksen väliin. CLT-rakenteet voidaan jättää sisältä puupinnalle, jos palo- ja äänitekniset määräykset toteutuvat. Muussa tapauksessa seinät joudutaan suojalevyttämään myös sisältä päin. [18,45.]

5.1 Hyödyt

Rakenteen ominaisuudet

Koska CLT muodostuu monesta eri kerroksesta, lujuutta voidaan helposti lisätä vaihtamalla puulajia CLT:ssä tai lisäämällä lamellikerroksia elementissä. Tämä antaa suunnittelijoille hyvän lisämahdollisuuden, jos elementin kokoa ei haluta kasvattaa eikä terästä tai betonia käyttää. CLT-elementin helppo työstäminen moneen eri muotoon mahdollistaa haastavatkin geometriset muodot rakenteissa. [12,8.]

Tuotannon hyötysuhteet

CLT on suhteellisen helppo valmistaa ja minimoida valmistusvirheet tehtaalla. Sen valmistus on myös paljon energiatehokkaampaa kuin betoni- ja teräselementtien. Myös elementtien asennus työmaalla on nopeaa. [12,8.]

Paloteknisyys

Toisin kuin helposti ajatellaan, CLT:n palonkestävyysominaisuudet korkeissa lämpötiloissa ovat paremmat kuin esimerkiksi teräksellä. Johtuen kehittyneestä rakennustekniikasta sekä CLT:n hyvistä lujuus ja palonkesto-ominaisuuksista, voidaan nykyiset puurakennukset rakentaa jo huomattavasti korkeammaksi kuin aikaisemmin. [12,8.]

Keveys

Koska puu on kevyempää kuin betoni ja teräs, on myös rakenteiden painot vähäisempiä. Tästä syystä myös perustuksille tuleva kuorma on pienempi ja niiden kokoa voidaan mahdollisesti pienentää. [12,8.]

Ekologisuus

Puu sitoo itseensä paljon hiilidioksidia ja se säilyy varastoituneena puurakenteissa, joten puurakenteinen rakennus on merkittävä hiilivarasto. Puurakenteinen rakennus on myös helppo kierrättää, kun se tulee elinkaarensa päähän. [12,8.]

Maanjäristyksen kestävyys

CLT-levyjen vakaus ja jäykkyys tekevät siitä hyvän rakennus tuotteen seismisillä alueilla. Puukerrostaloja on testattu maanjäristys simulaattorilla, ja testitulokset ovat osoittaneet sen kestäväen hyvin maanjäristyksen aiheuttamia kuormia.

5.2 Haitat

Liitokset

Olemassa olevat CLT-levyt liitetään toisiinsa ensisijaisesti metalliosilla ja ruuveilla. Suurin osa liitimistä ei kykene kuitenkaan siirtämään suuria kuormia, joten monet metalli kiinnikkeet on tarkoitettu pienempiin rakennuksiin, joissa on pienemmät kuormat. [12,9.]

Standardit

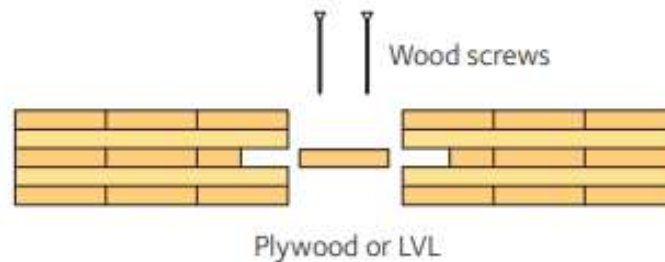
CLT-rakentamiselle ei ole olemassa mitään tiettyä standardia vaan esimerkiksi liitokset joudutaan tekemään tapauskohtaisesti. [12,9.]

6 Yleisimmät liitosratkaisut CLT-rakentamisessa

Tässä osiossa käydään läpi yleisimpiä CLT seinä-seinä- ja seinä-välipohjaliitostyyppisiä. Suosituin kiinnitystapa on käyttää itseporautuvia puuruuveja CLT-elementtien liitoksissa niiden asennushelppouden ja kestävyysominaisuuksien takia. Myös erilaiset kulmaraudat, naulalevyt ja muut metallikiinnikkeet ovat laajasti käytössä. [1,229.] Liitoksissa suositellaan käytettävän lisäksi eristenuhaa tai massaa. Niiden tarkoitus on toimia lämmön- ja ääneneristeenä sekä parantaa rakennuksen ilmatiiveyttä. Ennen eristenuhan laittoa on varmistettava, että liitoksissa ei ole likaa tai sahanpurua. Näin saadaan parempi tartuntapinta eristenuhalle. [7,36.]

6.1 CLT-elementtien väliset liitokset

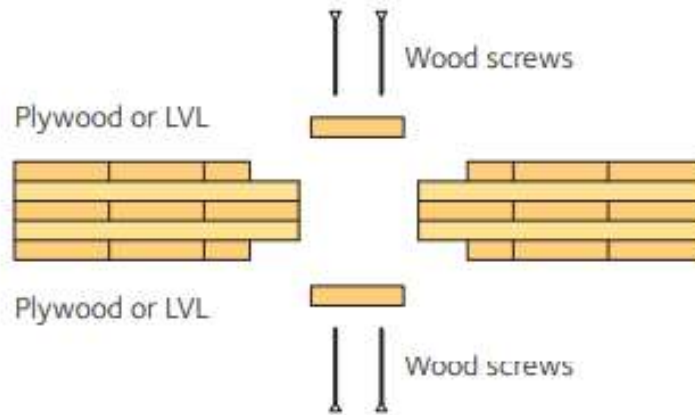
CLT- seinä- ja välipohjaelementtien välisissä puskuliitoksissa on käytössä muutamia eri liitostyyppisiä. Alla esitettynä tavallisimmat elementtien väliset liitokset.



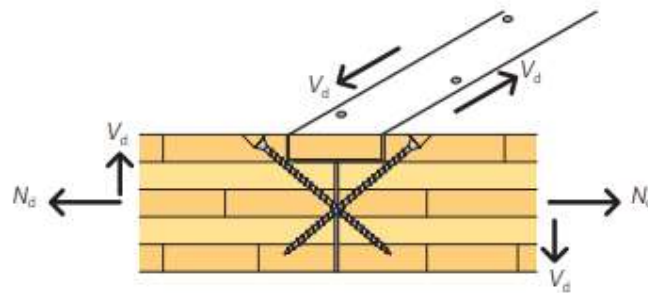
Kuva 8. Uraliitos [6].

Uraliitoksessa elementteihin tehdään ura keskelle elementtiä ja uraan laitetaan liitoskappale, joka voi olla vaneria, LVL:ää tai metallilevy (kuva 8). Elementit puristetaan yhteen ja ruuvataan kiinni liitoskappaleen läpi. Joissakin tapauksissa on käytetty kahta uraa, joka tekee liitoksesta lujemman. Liitoksissa täytyy kuitenkin olla tarkasti tehdyt lovet, muuten työmaalla saattaa olla hankaluuksia saada elementit liitettyä toisiinsa. [5,15.]

Liitoskappale voidaan myös lovetta vain toiselle puolelle elementtiä (kuva 10.) tai molemmille puolille, siten että se jää näkyviin (kuva 9). Molemmilla puolilla liitoskappale lisää liitoksen lujuutta ja leikkauskestävyyttä, mutta samalla myös lisää työmäärän kaksinkertaiseksi ruuvimäärän kasvaessa. [5,17.] Liitoksia voidaan myös lujittaa ruuvaamalla pitkät ruuvit vinosti sauman kohdalta. (Kuva 10)

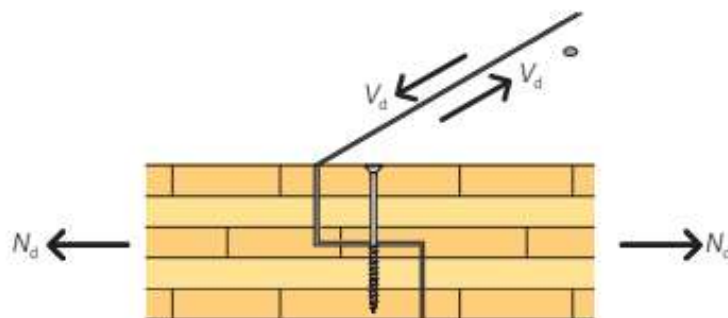


Kuva 9. Liitos kahdella liitoskappaleella [6].



Kuva 10. Liitos yhdellä liitoskappaleella ja vinoruuvauksella [6].

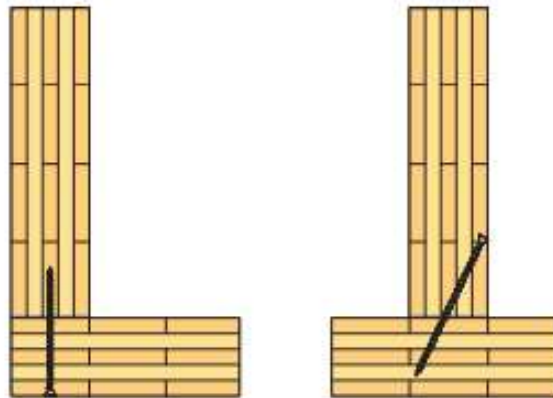
Ponttiliitos on yksinkertainen ja nopea tapa asentaa elementtejä (kuva 11). Elementteihin on tehty lovet siten, että elementit sopivat toistensa jatkoksi. Elementit ruuvataan kiinni toisiinsa CLT-liitoksiin tarkoitetuilla puuruuveilla. [6,76.]



Kuva 11. Ponttiliitos [6].

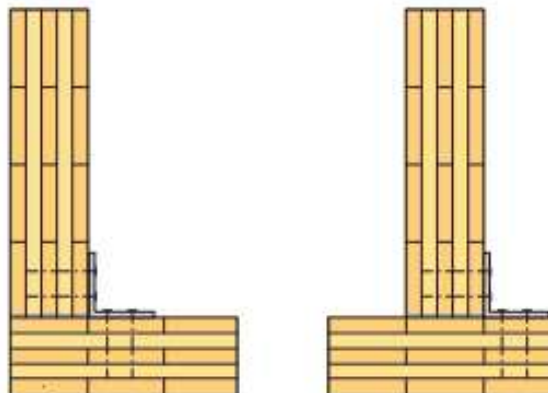
6.2 Seinän nurkkaliitos

CLT-elementtien nurkkaliitoksissa käytetään yleisimmin pitkiä ruuveja (kuva 12.) tai kulmarautoja (kuva 13). Ruuvattaessa elementtejä toisiinsa kohtisuoraan elementtiä vasten, on tärkeää tarkastaa ruuvien sijainti. Vaarana tässä on ruuvata CLT-levyn lamellien saumaan tai suoraan syytä vasten, jolloin ruuvi ei tartu kunnolla vastakappaleeseen. Siksi vaihtoehtoisena tapana on asentaa ruuvit vinosti lamelleihin nähden ja näin ollen välttyään kyseiseltä ongelmalta. [6,77.]



Kuva 12. Seinänurkan ruuviliitos [6].

Toinen tapa on käyttää kulmarautoja liitoksissa. Ne ovat hyvä ja kestävä ratkaisu, mutta kulmaraudat jäävät näkyvälle pinnalle ja niillä ei ole niin hyvät palonkesto-ominaisuudet kuin piiloliitännöillä. [1,241.]

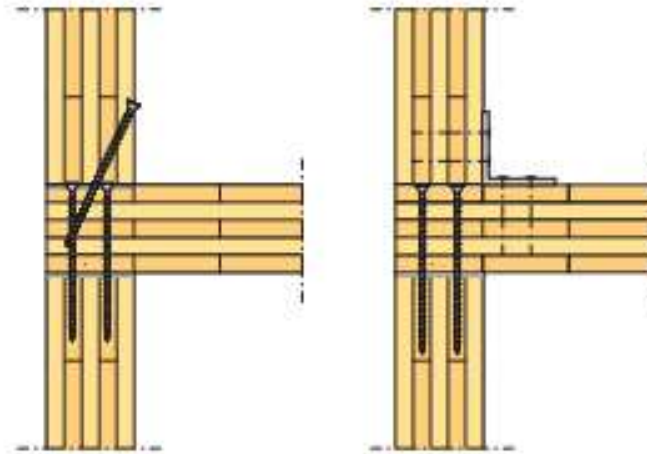


Kuva 13. Nurkkaliitos kulmarautoilla [6].

6.3 Välipohja-seinäliitokset

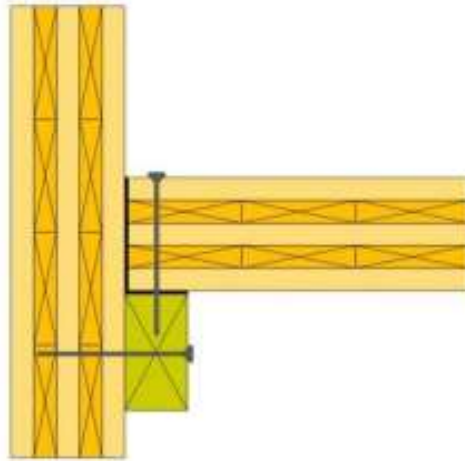
Välipohjan ja seinän liitoksissa on kaksi yleistä tapaa rakentaa: platform ja balloon-rakenne. Platform-tavassa välipohjat tulevat suoraan seinän päälle ja seuraava kerros rakennetaan taas välipohjan päältä (kuva 14). Ne on helpompi suunnitella ja nopeampi rakentaa. Balloon-tyylissä välipohja liitetään seinäelementin kylkeen erillisillä kulmarauodoilla tai puutuella (kuva 15). [1,255.]

Seinät ja välipohja voidaan liittää toisiinsa poraamalla ruuvit välipohjan läpi alempaan seinään ja ylempi seinä vinoruuvauksella välipohjaan. Liitoksissa voidaan käyttää myös kulmarautoja, jolloin saadaan lujuutta liitokseen. Kulmaraudat kiinnitetään ruuvein tai ankkurinauloihin. [5,78.]



Kuva 14. Platform-rakenne. Välipohja-seinäliitos ruuveilla ja kulmarauodoilla [6].

Balloon-rakenteessa välipohja liitetään seinäelementin kylkeen kulmaraudalla tai vastaavalla metallituella. Seinään voidaan asentaa myös esimerkiksi liima-puupalkki, jonka päälle välipohja asetetaan ja ruuvataan kiinni. [1,256.]



Kuva 15. Balloon-rakenne. Välipohja asennettuna puupalkin päälle [1].

7 Innovatiivisia CLT-liitoksia maailmalta

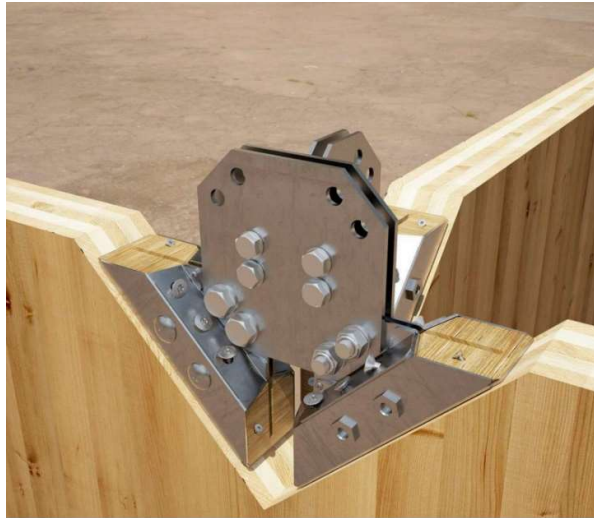
Itävaltalainen yritys X-Fix on kehittänyt kiinnitysmenetelmän, jolla CLT-elementit voidaan kiinnittää toisiinsa ilman metalliosia (kuva 16). Liitos-osa koostuu kahdesta viistosti leikatusta pyökki- tai koivuvanerista valmistetusta kappaleesta. Elementteihin on työstetty tehtaalla kolot valmiiksi X-Fix kiinnikkeille, jotka lyödään paikalleen lekaa käyttäen. Kappaleet kiilautuvat toisiaan vasten puristaen



elementit Kuva 16. Seinä ja välipohja elementin kiinnitys X-Fix kappaleita käyttäen [8].

tiukasti yhteen. [8.] Nykyisin paljon käytetyn tietokoneohjatun CNC-tekniikan avulla kolojen ja reikien työstäminen elementteihin on helppoa. [18,45].

Italialainen yritys Rothoblaas on kehittänyt paljon erilaisia kiinnitysmenetelmiä CLT-rakentamiseen. Kuvassa 17 näkyvällä X-Rad liitinkappaleella saadaan liitettyä esimerkiksi seinäelementit ja välipohjaelementit toisiinsa. Elementtien liitoskohtaan asetetaan X-Rad metalliosat ja kun elementit asennetaan paikoilleen, ne liitetään toisiinsa pulteilla ja metallilevyllä. [9,324.]



Kuva 17. X-Rad Connection System [9].

8 Työn toteutus

Kun sain puu- puu liitokset aiheen koululta opinnäytetyöhöni, minulla oli myös melko vapaat kädet suunnitella ja toteuttaa työtä. Valitsin materiaaliksi CLT-levyt, koska se on minulle kiinnostava tuote, ja halusin päästä tutustumaan siihen ja sen ominaisuuksiin paremmin. Aivan aluksi selvitimme opettajani kanssa minkälaista CLT-levyä olisi mahdollista saada koululle, ja sen pohjalta aloin suunnittelemaan Autocad piirto-ohjelmalla erityyisiä puu- puu liitoksia. Materiaaliksi saimme 80 mm paksua kolmeen kerrokseen laminoitua CLT-levyä (kuva 18). Suunnittelun lähtökohtana oli, että liitoksissa ei käytettäisi lainkaan metalli osia ja liitokset olisivat sellaisia, joita olisi mahdollisesti helppo jalostaa työmaaoloihin sopiviksi. Tarkoituksena oli testata liitoksien vetolujuutta. Näiden tietojen pohjalta loin muutaman erilaisen liitostyyppin, joita tarkastelimme yhdessä opettajieni kanssa ja valitsimme niistä parhaat työhöni. Sain paljon hyviä vinkkejä ja ratkaisuideoita malleihin opettajiltani ja siitä oli iso apu. Työn suoritin koulun laboratorio tiloissa, jossa puitteet olivat todella hyvät työn tekoon. Koululta löytyi työhön kaikki tarvittavat työkalut ja materiaalit. Työssä käytin pääasiassa käsityökaluja, joista akkusirkkeli oli kenties se käytetyin.



Kuva 18. CLT-levyjä koulun työsalissa

9 Liitoskappaleet

9.1 Kiilautuva urospontti

Ensimmäinen liitoskappale oli väliseinäliitos kiilatekniikalla. Toiseen CLT-levyyn tein urospalat ja vastakappaleeseen vastaavasti kolot (kuva 19). Kolojen ala- ja yläreunat tein viistoiksi ulospäin. Uroskappaleet halkaisin vannesahalla kahdesta kohdasta ja porasin reiät halkeamien päihin, jotta kappale ei halkeaisi pidemmälle (kuva 20). Kun kappaleet liitetään toisiinsa, lyödään urospalasan halkeamiin kiilat ja näin saadaan liitos laajenemaan ja lukittautumaan toisiinsa kiinni (kuva 21). Liitoksesta tuli todella lujan tuntuinen. Hankalinta ja työläintä oli tehdä koloja CLT-levyyn. En meinannut löytää sopivia työkaluja reiän tekemiseen, mutta loppujen lopuksi sain jyrsimen ja itsetehtyjen ohjureiden avulla työstettyä kolot valmiiksi. Myös CLT-levyjen talttaaminen oli hankalaa koska levyt on ristiin liimattua ja syyt menevät välillä poikittain.



Kuva 19. Urospala ja naaraspala väliseinäliitoksessa



Kuva 20. Urospala halkaistu kahdesta kohdasta kiilausta varten



Kuva 21. Seinäelementit on liitetty toisiinsa ja liitos lujitettu kiilaamalla.

9.2 Väliseinäliitos kiilapaloilla

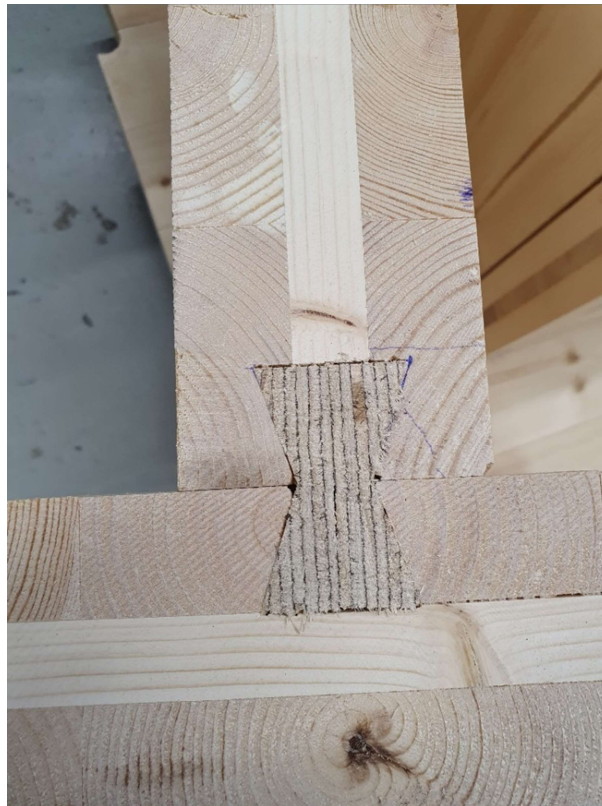
Toiseen liitoskappaleeseen sain idean nähtyäni itävaltalaisen X-Fix yrityksen valmistamia liitosmalleja. Vaikutuinkin tästä innovatiivisesta ideasta ja halusin kokeilla myös itse, kuinka luja tämä liitos on. Tämä liitos on myös väliseinäliitos. Siinä tein molempiin CLT-levyihin samankokoisen, koko levyn korkuisen, kolmion muotoisen uran (kuva 22). Uraan tein kertopuusta juuri urien kokoisen ja X-kirjainta muistuttavan kappaleen. Kappaleen halkaisin keskeltä pituussuunnassa vinosti halki, jotta saisin kappaleet kiilautumaan toisiinsa nähden. Tämän liitoksen avulla CLT-levyjen asennus oli yksinkertaista ja helppoa. Asensin levyt kohdakkain ja upotin kertopuusta tehdyn kiilapalan koloon paksumpi pää edellä. Tämän jälkeen laitoin toisen kiilapalan uraan toisin päin ja hakkasin sen vasaraa käyttäen sisään (kuva 23). Kappaleet kiilautuivat toisiaan vasten ja lukitsivat seinäelementit yhteen (kuva 24).



Kuva 22. Toinen liitosmalli. Molempiin kappaleisiin tehty samanlaiset urat kiilapalauksia varten



Kuva 23. Kertopuusta valmistetut kiilavat liitoskappaleet lyödään lekalla sisään



Kuva 24. Liitoskappaleet lyöty paikoilleen ja seinäliitos valmiina.

9.3 Hammasliitos puutapeilla

Kolmas liitosmalli oli nurkkaliitos. Siinä ideana oli tehdä nurkkaan hammasliitos ja lukita kappaleet toisiinsa puutapeilla (kuva 25). Molempiin levyihin tein hammasliitokset siten, että kappaleet uppoutuivat ikään kuin toistensa sisään. Molemmiin puolin ulkonurkkaa porasin reiät puutapeille. Puutappeina käytin 24 mm paksua harjanvartta. Tapit katkaisin 15 cm pituisiksi, jotta ne ylettyvät myös pitkälle vastakappaleeseen. Harjanvarret olivat melko sileitä pinnaltaan, joten karhensin niitä raspilla, että sain liiman pitämään paremmin. Tämän jälkeen laitoin tappeihin liimaa ja löin ne vasaraa käyttäen valmiiksi porattuihin reikiin (kuva 26). Näin sain nurkan lukkiutumaan joka suuntaan. Liitoksesta tuli todella tukevan oloinen.



Kuva 25. Nurkkaliitos hammastustekniikalla. Puutapit lujittavat liitoksen.



Kuva 26. Nurkkaliitos valmiina. Tappeihin on laitettu liimaa ja lyöty sisään.

10 Mallipalojen testaaminen

Mallipalojen vetolujuutta testattiin veto-puristuskoneella koulun laboratoriossa. Ennen testausta kävin koneen asetukset läpi yhdessä laboratorioinsinöörin kanssa ja tutkimme, miten saisimme koekappaleisiin tehtyä parhaiten vetorasi-
tustestin. Tässä yhteydessä huomasimme, että paloja ei saa tukevasti kiinnitettyä laitteeseen, joten jouduin tekemään adapterin puristimen ja liitospalojen väliin (kuva 27). Adapterin tein metallityösalissa hitsaamalla U-profiili malliseen kappaleeseen pyöreän tapin, johon tein reiän kiinnityspultille. Tämän pultin avulla sain adapterin kiinnitettyä puristimeen ja U-profiilin taas siihen porattujen reikien avulla CLT-paloihin (kuva 28). CLT-kappaleisiin porasin myös reiät oikeille kohdille ja kiinnitin adapterin niihin pitkillä pulteilla.



Kuva 27. Adapteri CLT-levyn päällä. Pyörötanko tulee kiinni puristimeen pultin avulla.

Testit suoritin yhdessä opettajani kanssa. CLT-liitoksissa oli sen verran massaa, että yksin niiden siirtely olisi ollut hankalaa. Olin edellisenä päivänä valmistellut koneen asetukset kuntoon ja laittanut kaikki tarvittavat asiat valmiiksi, joten testipäivänä päästiin suoraan asiaan eikä tarvinnut kuluttaa aikaa asetusten säätämiseen. Siitä huolimatta mallikappaleiden testaaminen sujui oletettua nopeammin ja ilman ongelmia.



Kuva 28. CLT-levy puristimessa testaamista vaille valmiina

11 Tulosten tarkastelu

11.1 Kiilautuva urospontti

Alunperinkin vahvimaksi oletettu liitos osoittautui vetotestissä kestävimmäksi. Kaksi liitosta kolmesta oli heikompia liian vähäisen kiilautumisen takia, ja nämä liitokset tulivat aika helposti ulos liitoksesta. Ensimmäisessä kappaleessa uskalsin kiilata urospalaa tarpeeksi paljon, vaikka puu rutisi ja paukkui uhkaavan kuo-loisesti kiiloja lyötäessä. Tämän takia löin seuraavia kiiloja hieman vähemmän, koska pelkäsin että liitos halkeaa jo ennen testiä, jos lyö kiilapaloja liikaa. Ensimmäinen liitos oli kuitenkin kaikkein kestävin ja liitos hajosi vasta kun CLT:n poikkisyyn lamellit repesivät (kuva 29). Vahvimman liitoksen maksimivoima oli noin 24.5 kN. Luulen että liitoksesta olisi saanut vieläkin kestävämmän, jos olisin uskaltanut lyödä kiilapaloja vieläkin syvemmälle. Kaksi muuta kappaletta kestivät 8,7 kN ja 12,6 kN.



Kuva 29. Urosponnit murtuivat poikkisyyn olevien lamelleiden kohdalta.

11.2 Väliseinäliitos kiilapaloilla

Tässä liitoksessa ensimmäiset kaksi koekappaletta olivat jo odotetusti heikompia kuin viimeinen. Kaksi liitosta meni niin sanotusti harjoitellen ja viimeisestä sain vasta tehtyä tarpeeksi lujan tuntuisen. Viimeiseen malliin sain tehtyä kaikista tiukimman sovitteen kiilapalalle, mikä ilmeisesti teki siitä myös kestävimmän liitoksen. Kaksi ensimmäistä murtuivat CLT-levyn ohuimmasta kohdasta kolmion mallisen uran sivusta, (kuva 30.) ja viimeinen kestävin malli murtui ohuimmasta kohdasta keskeltä kiilapalaa (kuva 31). Hieman leveämpi CLT-levy ja useampi kerros lamelleja olisi tehnyt tästä liitoksesta todennäköisesti kestävämmän. Näin ollen myös kiilapalasta olisi voinut tehdä hieman isomman. Kiilapala olisi voinut myös olla esimerkiksi koivuvaneria kertopuun sijaan, mikä olisi luultavasti ollut kestävämpi materiaali. Kestävimmän kappaleen maksimi vetovoima oli 7,3 kN. Kaksi muuta kappaletta kestivät 2,7 kN ja 2,1 kN.



Kuva 30. ja 31. Ensimmäiset liituskappalet murtuivat sen ohuimmasta kohdasta (vasen kuva) ja kestävin kappale murtui keskeltä kiilapalaa. (oikea kuva)

11.3 Hammasliitos puutapeilla

Tämä liitos hajosi oletetusti sitten, kun puutapit leikkoutuivat poikki (kuva 32). Kuitenkin hieman yllätti, kuinka kestäviä puutapit olivat. Jostakin syystä yksi liitos oli paljon kestävämpi kuin kaksi muuta. Ehkä kohtisuorassa vetoa vastaan olleet liimatapit olivat hieman tiukempia sovitukseltaan ja tämä toi lisäkestävyyttä liitokseen. Tämä liitos oli myös todella lujan oloinen ja kestäisi hammersuksen takia todennäköisesti myös nurjahdusta hyvin. Vahvimman liitoksen maksimivoima oli 22,9 kN. Kaksi muuta kappaletta kestäivät 11,8 kN ja 15,2 kN.

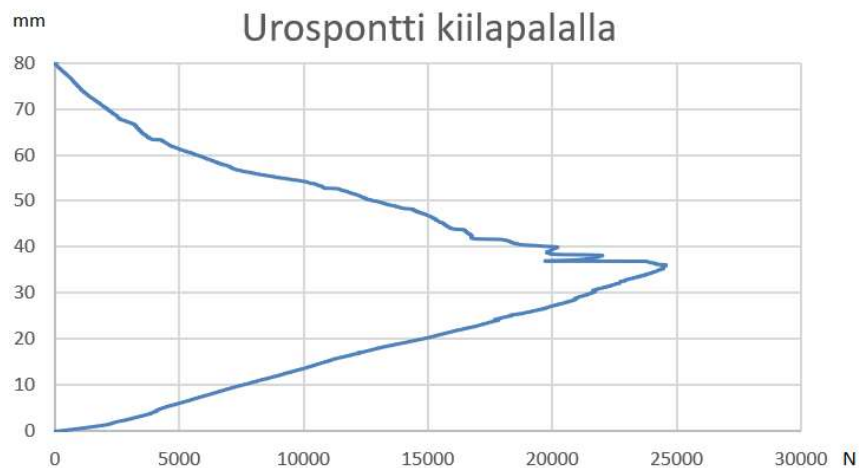


Kuva 32. Puutapit leikkoutuivat poikki mutta CLT-levy säilyi melko ehjänä.

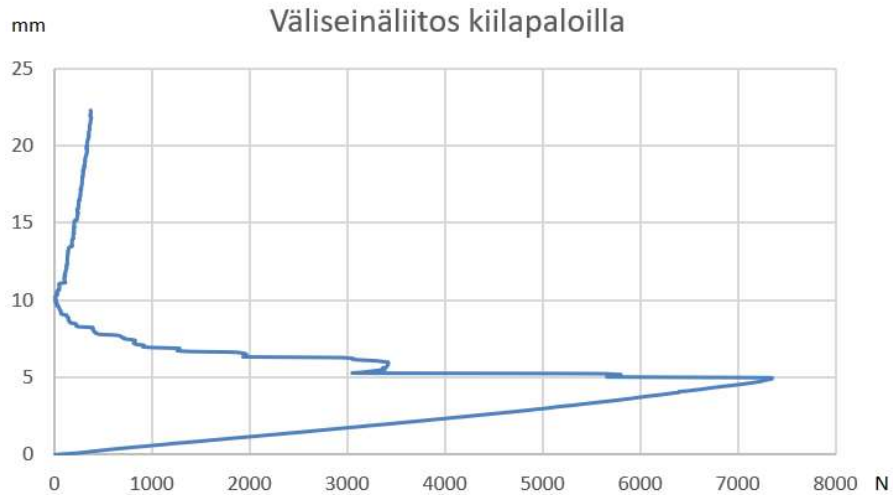
11.4 Liitoksien kestävyyskuvaajat

Alla on esitettyä liitoksien kestävyttä osoittavat kuvaajat. Kuvaajissa on esitettyä pystyakselilla koekappaletta vedetty matka (mm) ja vaakakselilla vastavasti voima Newtonina (N) mikä liitoksiin kohdistuu. Kuvaajiin on otettu vertailuun jokaisesta liitosmallista kestävin kappale.

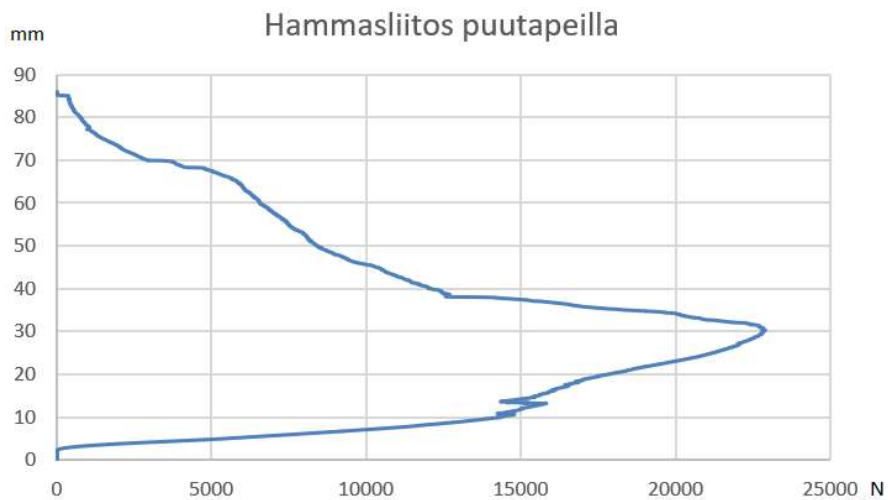
Suurin eroavaisuus alla olevissa kuvaajissa on kestävyden lisäksi väliseinäliitos kiilapaloilla (Kuvio 2) olevan kuvaajan jyrkkyys. Koekappaleet irtosivat toisistaan saman tien, kun murtuminen tapahtui. Kaksi muuta koekappaletta (Kuvio 1 ja Kuvio 3) murtuivat tietyssä pisteessä, mutta hajoaminen ei ollut niin äkillistä, vaan niitä täytyi vetää vielä hetki ennen kuin kappaleet irtosivat lopullisesti toisistaan. Mielestäni tämä on hyvä ominaisuus liitoksissa: ne eivät hajoa äkillisesti vaan kestävätkin vielä rasitusta jonkin aikaa murtumisen jälkeenkin. Näin voidaan välttyä äkillisiltä vaurioilta ja ehditään mahdollisesti tehdä asialle jotakin, jos huomataan liitoksen murtuneen.



Kuvio 1. Urosponntti kiilapalalla



Kuvio 2. Väliseinäliitos kiilapaloilla



Kuvio 3. Hammasliitos puutapeilla

12 Pohdinta

CLT-levyjen työstämistä hankaloitti se, että en käyttänyt tietokoneohjattua CNC-jyrsintä. Etenkin kolojen tekeminen levyyn käsityökaluilla on hankalaa ja aikaa vievää työtä. Koska lamellit ovat ristiin liimattuja niin myös puun syyt menevät välillä poikittain, mikä tekee esimerkiksi talttaamisesta hankalaa. Jos tekisin työn uudestaan, käyttäisin ehdottomasti CNC-konetta. Koneella työstäminen olisi helpompaa ja jälki mittatarkkaa. Etenkin paksumpiin levyihin CNC-kone olisi melkein ehdoton.

Työn tuloksissa ei tullut suuria yllätyksiä. Liitosten järjestys vahvimmaista heikoimpaan oli etukäteen helppo arvata. Urosponttiliitoksen olisi voinut saada vieläkin kestävämmäksi kiilaamalla paloja rohkeasti enemmän. Liitos oli jo nyt kuitenkin kestävin kaikista. Rakennuksien seinäliitoksiin ei kuitenkaan tule puhdasta vektorasitusta kovinkaan paljon, joten uskon että liitokset olisivat sen puolesta tarpeeksi kestäviä rakenteisiin. Olisi mielenkiintoista tehdä uusia koekappaleita ja testata myös niiden muita ominaisuuksia kuten nurjahduskestävyyttä. Luulen että urospontti- sekä hammasliitos kestäisivät nurjahdusta melko hyvin niiden liitosten rakenteen takia. Liitosten kestävyys olisi voinut vaikuttaa helpoiten valitsemalla useampi lamellisen CLT-levyn. Etenkin urosponttiliitoksessa useampi kerros lamelleja olisi lisännyt sen kestävyttä useamman syynsuuntaisen lamellikerroksen ansiosta.

Opinnäytetyö oli todella mielenkiintoinen toteuttaa ja sain kerättyä valtavasti lisäinformaatiota CLT-rakentamisesta. Uskon tästä olevan hyötyä minulle tulevaisuudessa, koska tulen melko varmasti työelämäni aikana vielä törmäämään kyseiseen rakennusmateriaaliin. CLT tulee olemaan tulevaisuudessa yhä merkittävämmässä roolissa puurakentamisessa sen hyvien ominaisuuksien ansiosta. Luulenkin että CLT-rakentamisesta on nähty vasta pintaraapaisu ja tulevaisuudessa sen käyttö tulee lisääntymään entisestään. Sen jatkuva kehitys ja testaaminen antavat koko ajan enemmän uusia mahdollisuuksia käyttää puuta rakennusmateriaalina. Pientalorakentajana toivon myös, että CLT:n hinnat tulisivat tulevaisuudessa enemmän alas, joten myös yksityisellä rakentajalla olisi pienempi kynnys valita CLT pientalon materiaaliksi.

Lähteet

1. Gagnon S. ja Karacabeyli E. 2019. Canadian CLT Handbook 2019 edition. FPInnovations.
2. Puuinfo 2020. Monikerroslevy (CLT) 23.6.2020 <https://puuinfo.fi/puutieto/in-sinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>
3. Kilpeläinen M. Ukonmaanaho A. Kivimäki M. 2001. Avoin puurakennusjärjestelmä- elementtirakenteet. Wood Focus Oy.
4. Puuinfo. 2020. Rakennusosien liittymät. 10.7.2020. <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rakennusosien-liittymat/>
5. Mohammad M. Bradford D. Douglas R. & Steven E.P. 2013. The U.S Edition of the CLT Handbook. FPInnovations.
6. Borgström E. & Fröbel J. 2019. The CLT Handbook. CLT structures- facts and planning. Swedish wood.
7. Sirkka A. & Pirttinen V. 2017. CLT-monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali.
8. X-fix Brettsperrholz BSP Verbinder / CLT Connectors. www.x-fix.at
9. Rothoblaas. 2019. Plates and connectors for timber. Buildings, structures and outdoor.
10. Puuinfo. 2020. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Viides painos. Eurokoodi 5.
11. Rakentaminen ja standardit SFS. www.sfs.fi
12. Professor J. Lawson. 2018. CLT Shearwall dovetail connection.
13. Lujuusoppi – Wikipedia. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lujuusoppi>
14. Jussila J. & Hirvonen J. Lujuusoppi
15. Puuinfo. 2020. Massiivipuulevyrakenteet. Rakennuksen jäykistys. 10.7.2020 <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rakennuksen-jaykistys/>
16. Puuproffa. Puun liitokset. <https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/puun-liitokset/-Puuproffa>
17. Siikanen U. 2008. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy
18. Tolppanen J. Karjalainen M. Lahtela T. Viljakainen M. 2013. Suomalainen puukerrostalo. -Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Opetushallitus
19. Pinterest <https://pinterest.com>