



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PUUKERROSTALOT SUOMESSA

TEKIJÄ: German Pitkänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) German Pitkänen			
Työn nimi Puukerrostalot Suomessa			
Päiväys	5.5.2017	Sivumäärä/Liitteet	44/2
Ohjaaja(t) Rakennetekniikan yliopettaja, TkT Arto Puurula ja rakennetekniikan lehtori, DI Matti Mikkonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia AMK ja Stora Enso			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä oli tavoitteena kertoa puukerrostalojen historiaa sekä puukerrostalon kehitysvaiheita Suomessa näihin päiviin asti. Aineistosta selviää mitä rakennusmateriaaleja puukerrostaloissa käytetään; tällaisia ovat esimerkiksi CLT:n massiiviset seinän rakenteet (ristiinliimattu puu) ja LVL-rakenteiset pilari- ja palkkijärjestelmät (viilupuuta). Opinnäytetyössä tarkasteltiin molempien valmistusprosessia ja kyseisten rakennusmateriaalien käyttöä rakennuskohteissa. Insinööripuita ovat CLT- ja LVL-puutuotteet. Insinööripuu-nimitys annetaan jatkojalostetuille puille, joitten lujuusominaisuudet ovat huomattavasti parempia kuin sahatavaralla.</p> <p>Opinnäytetyössä vertailtiin viilupuuta sen kilpailijoihin kustannuksien ja ominaisuuksien osalta. CLT:stä ei voitu tehdä analyysiä tiedon vähyyden vuoksi. Tarkastelussa oli erilaisten rakennejärjestelmien vaihtoehtoja ja rakenneratkaisuja. Tutkimuksessa koeistettiin ruuvien ja viilupuun kestävyttä vetokokeella. Selvitettiin kertopuun palokestävyyttä.</p> <p>Tuloksista selviää vertailu kilpailijoihin nähden. CLT:n ja LVL:n hinta oli korkeampi kuin sahatavaran, mutta lujuudessa sahatavara oli huonompi. Lopuksi on pohdittu puukerrostalojen rakentamisen onnistumista Suomessa. Lisäksi on tarkasteltu puukerrostalojen kehitystä tähän päivään asti sekä rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä.</p>			
Avainsanat Puukerrostalo, Suomi, CLT, LVL, ominaisuudet, valmistus, kustannukset, vetokoe			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) German Pitkanen			
Title of Thesis Wooden Apartment Houses in Finland			
Date	5 May, 2017	Pages/Appendices	44/2
Supervisor(s) Mr Arto Puurula, PhD, Principal Lecturer and Mr Matti Mikkonen, MSc, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Stora Enso and Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to introduce the history of wooden apartment houses in Finland and the development stages of wood apartment houses until present day. The study shows which wood materials are used in wooden apartment houses, like CLT massive wall construction (cross laminated timber) and LVL pillar beam system structures (laminated veneer lumber). This final project discusses the construction process of both structures and the use of these materials in construction. CLT and LVL are engineer timbers. The name <i>engineer timber</i> is given to further processed timber that has better strength properties than ordinary saw timber.</p> <p>In this project the cost and properties of LVL were compared to the products of other competitors. Due to lack of information it was not possible to make an analysis of CLT. Different options for structural systems and solutions were investigated. The resistance of screws and LVL was researched with pull tests. LVL fire test resistance.</p> <p>As a result of the project there was a comparison showing that the price of CLT and LVL is more expensive than of timber, but in strength the properties of timber are worse. Finally, the success of building wooden apartment houses was discussed as well as the development of building and the factors that affect the choice of materials as well.</p>			
Keywords wood apartment house, Finland, CLT, LVL, feature, manufacture, cost, pull test			

ESIPUHE

Haluan kiittää opinnäytetyöni aiheesta ja kaikesta ohjauksesta rakennetekniikan yliopettajaa, TKT Arto Puurulaa. Kiitän myös koeistuksen järjestelystä ja toteutuksesta laboratorioinsinööriä Juha Lehtikantoa sekä materiaalitestauksen asiantuntijaa Kalle Kivirantaa.

Kuopiossa 5.5.2017

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Taustat ja tavoitteet.....	7
2	PUUKERROSTALO.....	8
2.1	Mikä on Puukerrostalo?	8
2.2	Suomen puurakentaminen.....	9
3	PUUKERROSTALOJEN KEHITYS JA LÄHIHISTORIA	10
3.1	Puukerrostalojen koerakentamisvaihe 1995-1997.....	10
3.2	Puukerrostalorakentaminen vuosina 1997 - 2012	11
4	INSINÖÖRIPUUTUOTTEET	13
4.1	Cross laminated timber - CLT.....	13
4.1.1	CLT-rakentamisen ominaispiirteitä.....	14
4.2	Laminated veneer lumber - LVL	15
4.2.1	LVL:n rakentamisen ominaispiirteet.....	16
4.3	Kustannukset.....	18
4.4	Palomääräykset 2018	19
5	RAKENNERATKAISUT	20
5.1	Alapohjaliittymä	20
5.2	Välipohjaliittymä	21
5.3	Väliseinäliittymä.....	22
5.4	Ulkoseinä	24
5.5	Yläpohja + katto.....	24
5.6	Rakennejärjestelmät	25
5.6.1	Kantavat seinät -järjestelmä	25
5.6.2	Pilari-palkkijärjestelmä.....	26
5.6.3	Tilaelementti.....	27
5.6.4	Yhdistelmärakenteet.....	27
6	KOKEET.....	28
6.1	Vetokoe.....	28
6.1.1	Tulos vetokokeista	30
6.2	Polttokoe.....	32
6.2.1	Polttokokeiden tulokset	34

6.3 13 ruuvin vetokoe	37
7 YHTEENVETO.....	41
LÄHTEET	42
LIITTEET:	43

1 JOHDANTO

1.1 Taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyöni aiheena on tutkia puukerrostaloja Suomessa, tarkoitus on ymmärtää puurakentamiseen liittyviä vaiheita sekä historian kehitystä. Puukerrostalojen rakentaminen Suomessa on vielä vähäistä, siksi on hyvä perehtyä kerrostaloon, joka rakennetaan puurunkoisena.

Opinnäytetyössä tarkastelen puukerrostalojen kehitysvaiheita historian ensimmäisestä puukerrostalosta ja tutkin sen kehitystä tähän päivään asti. Perehdyn jatkojalostettuihin puumateriaaleihin, jotka mahdollistavat rakentamisessa enemmän mahdollisuuksia kuin sahatavara pelkästään. Tarkastelussa on myös kustannusten vertailua, jossa nähdään selvä eroavaisuus tavallisen sahatavaran ja jalostetun puun ero. Rakennerratkaisuissa puretaan puukerrostaloille tyypillisimmät periaatteet. Teen myös kokeistuksia, vetokokeiden ja polttokokeen avulla pyritään ymmärtämään materiaalin vahvuuksia ja heikkouksia.

2 PUUKERROSTALO

Puhutaan puukerrostalon rakentamisen aikakaudesta. Suomessa ei vielä parikymmentävuotta sitten osattu arvoida, että kerrostalo voidaan rakentaa puusta. Kuitenkin kasvassa globalisatiossa mahdollista on tullut mahdolliseksi. Puukerrostalojen tietotaito kasvassa määrin mahdollistaa rakentamisen näyttäviä taloja, esimerkiksi ensimmäinen kuva alhaalla antaa ymmärtää. Nykyään ei rakenneta pelkästään sahatavarasta vaan myös jalostetuilla puutuotteilla, niin kutsutuilla insinööripuulla. Näitä ovat LVL, viilupuu ja CLT, ristiinliimattu puu. Puukerrostaloja on kuitenkin vielä hyvin vähän, verrattuna naapurimaahan Ruotsiin. Ruotsissa ollaan paljon edellä rakentamisessa ja niitten ammattitaito on siellä paljon korkeammalla. Pikkuhiljaa Suomessa ollaan ymmärretty puukerrostalon valoisia puolia. (Tolppanen 2013.)



Kuva 1. Puukerrostaloja (Puuinfo)

2.1 Mikä on Puukerrostalo?

Mikä määrittää rakennuksen saadakseen kerrostalon? Vaatimuksena on vähintään kaksikerroksinen rakennus, mutta voidaan korkeintaan rakentaa kahdeksaan kerrokseen asti. Ylhäällä kuva 1 antaa kuvan millainen on puukerrostalo. Kantavana runkona on pääosin puu. Julkisivussa käytetään puuta, mutta ei ole pakollinen. Sisäpintaverhoilussa puun käyttö on tällä hetkellä tarkasti ohjattu palomääräysten takia. Määräys kuitenkin lievenee 2018 vuodesta lähtien, jolloin puuta voidaan entistä enemmän jättää näkyville sisäpinnoissa. (Tolppanen 2013.)

Eroavaisuutta muihin kerrostaloihin esimerkiksi betonikerrostaloon ei ole. Kerrostaloille on yhtä lailla samanlaiset rakentamismääräykset materiaalista riippumatta. Puukerrostalorakentamisessa voidaan soveltaa erilaisia rakentamistapoja ja runkojärjestelmiä. Valinta riippuu suunnittelijan päätöksestä

valita kohteelle paras ratkaisu. Kuitenkin nykyään rakentaminen tapahtuu muualla eli teollinen esivalmistus, jossa rakentaminen on säältä suojattu. Valmiit elementit tuodaan nostettaviksi paikoilleen työmaalle. (Tolppanen 2013.)

2.2 Suomen puurakentaminen

Suomesta löytyy metsää joka puolella. Puu on Suomelle merkittävä luonnonvara ja kansantaloudelle erittäin tärkeä. Huomattava tekijä vaikuttaa myös se, että metsiämme hoidetaan kestävästi. Eli toisin sanoen metsää kasvaa enemmän kuin niitä korjataan. Puurakentamisen saralla etulyönti asema on yksi merkittävimmistä mahdollisuuksista.

Suomalaisille rakentajille puu ei ole mikään uusi asia. Pien- ja rivitalot sekä lähes kaikki vapaa-ajan rakennukset tehdään puurakenteisina. Nyt puu antaa kasvumahdollisuuden kerrostalolle, unohtamatta teollisuushalleja. Direktiivien ja normien asetusten myötä puun tarjoama etu kiristyy energi-, ilmasto- ja ympäristöhaasteisiin on huomattava. Vihreät arvot ovat kasvussa ja ilmastomuutoksen pysäytys antavat puulle kovan etulyönti aseman kilpailulle.

Suomen työllistyminen puun parissa on pitkä ketju. Alkupisteestä metsästä jatkojalostettavaksi teollisuuteen ja siitä eteenpäin käyttö kohteisiin. Rakentamisen saralla työllistyminen on kasvava tekijä, varsinkin puutalon rakennustöistä suurempi osa tehdään sisätiloissa tehdashallissa hyvissä työoloissa vieläpä säältä suojattuna, mikä nostaa työmoraalia korkealle. (Tolppanen 2013.)

3 PUUKERROSTALOJEN KEHITYS JA LÄHIHISTORIA

Suomessa puurakentaminen ei ole mikään uutinen, mutta puukerrostalojen osalta tarina on aivan erilainen. Uuden rakentamistavan myötä kilpailu rungon materiaalin valintaan on lisääntynyt. Ennen betoni käytännössä dominoi 50-luvulta lähtien kerrostaloissa rakennusmateriaalina. Nyt on alkanut uusi käänne. ihmiset ovat huomanneet, että puukerrostalo on arkkitehtuurisesti näyttävämpi kuin myös elävämpi verrattuna tylsään harmaseen betoniin. Kuitenkin puukerrostalon luottamus ky-senalaistetaan kansan keskuudessa – Kestääkö puukerrostalo palon aikana? Vastaus on tähänkin saatu myönteisenä.

Huomattava tuki tulee myös Ruotsista, jossa ollaan pitkällä puukerrostalojen osalta. Suomen kanalta rakentamismääräykset ovat tiukat, etenkin ottaen huomioon palomääräykset, joka ovat puulle tiukempi. Palomääräyksiä osalta puukerrostalojen sisäpinnat saavat näkyä jatkossa vuodesta 2018. (Tolppanen 2013.)

3.1 Puukerrostalojen koerakentamisvaihe 1995-1997

Ennen Suomessa oli pitkään voimassa rakentamismääräys, joka kielsi käytännössä kaikki yli kaksi-kerroksisten puurunkoisten ja puuverhoiltujen rakennusten rakentamista. Tilanne muuttui globalisaation myötä. Alettiin vähitellen kiinnittämään huomiota uusiutuviin raaka-aineisiin. Ympäristöystävällisyyden lisääntymisen seurauksena puu on saanut uuden käyttökohteen rakentamisessa. EU:hun liittyminen johti vanhojen palomääräysten uudistamiseen ja tulee siten edistämään puukerrostalorakentamista Suomessa.

Koerakentaminen oli väistämättä tehtävä saadakseen tietoa, minkälaista rakentaminen suomalaisiin olosuhteisiin soveltuva puurakentamisen työmaa- ja asennustekniikka on oltava? Tavoitteena on rakentaa, niin arkkitehtuurisesti kuin asuttavuudeltaan korkeatasoisia puukerrostaloja. Mallitalojen avulla selvitettiin rakennusfysikaalisia ja rakenteellisia suunnitteluratkaisuja, jotka noudattavat hyvää rakennustapaa.

Suomen ensimmäiset 3-4-kerroksiset puukerrostalot tehtiin koerakentamishankkeina:

- Kiinteistö Oy Ylöjärven vuokratalot (1996) 3 taloa, 19 asuntoa, 1 465 k-m²
- Kiinteistö Oy Puukotka (1997) 3 taloa, 33 asuntoa, 2 190 k-m²
- kiinteistö Oy Viikinmansio (1997) 7 taloa, 65 asuntoa, 5 833 k-m²

Havainnekuva ensimmäisestä puukerrostalosta löytyy alhaalta kuva 2, kiinteistö Oy Viikinmansio. (Tolppanen 2013.)



Kuva 2. Kiinteistö Oy Viikinmansio (Puuinfo)

3.2 Puukerrostalorakentaminen vuosina 1997 - 2012

Koerakentamisen jälkeen saadut tulokset olivat hyvin myönteisiä, jolloin esimerkiksi paloturvallisuusmääräykset vuonna 1997 uudistettiin. Tämä antoi mahdollisuudet rakentaa kerrostaloja puusta. Kuitenkin määräys rajasi neljanteen kerrokseen asti, joka taas oli jarruttava tekijä, koska esimerkiksi betonisessa kerrostaloissa ei ollut rajoituksia kerrosäärällä. Puukerrostalojen haaste oli silti taloudellisuuden kilpailukyvyyn parantaminen sekä byrokratinen puolen määräysten ja käytännön vakiinnuttamisessa. Aikavälillä 1997 - 2006 rakennettiin vain kahdeksan puukerrostaloa eli erittäin vähän.

Suomessa 1997-2006 rakennetut yli kaksikerroksiset puukerrostalot (8 taloa)

- Tuusulan Hyrylän puukerrostalot (1997) 2 taloa, 46 asuntoa, 3 622 k-m²
- Raision asuntomessujen puukerrostalot (1997) 3 taloa, 42 asuntoa, 2 550 k-m²
- Asunto Oy Porvoon Fredrika (1998) 1 talo, 19 asuntoa, 1 371 k-m²
- Asunto Oy Porvoon Aleksanterinkatu 29 (1999) 1 talo, 24 asuntoa, 2 498 k-m²
- Naantalın puukerrostalot (2000) 3 taloa, 51 asuntoa, 4 080 k-m²
- Oulun Puu-Linnanmaan puukerrostalo (2002) 1 talo, 14 asutnoa, 994 m-k²
- Lahden Puu-Paavolan puukerrostalot (2003) 4 taloa, 74 asuntoa, 7 300 m-k²
- Vuosaaren kiintestöt Oy Omenämäki (2006) 3 taloa, 131 asuntoa, 12 165 k-m²

Havainnekuva Lahdesta Puu-Paavolan puukerrostalosta löytyy alhaalta.



Kuva 3. Lahden puu-Paavola puukerrostalot (Puuinfot)

Puukerrostalojen rakentaminen hiipui kuitenkin 2000-luvun puolivälissä huomattavasti. Tässä vaiheessa ei ollut vielä tapahtunut teollista läpimurtoa, joka olisi laukaisut puukerrostalojen rakentamisen enemmässä määrin. Ruotsista on saatu paljon myönteisiä kokemuksia puukerrostalonrakentamisesta, joka herätti kiinnostusta Suomessa kerrostalon rakentajissa. Suurten metsäyhtiöitten kiinnostus puurakentamisen järjestelmien kehittämiseen heräsi. Alettiin myös ymmärtämään rakentamisen nopeuden merkitys ja sitä kautta saavutettava hyvä kilpailukyky. Toisekseen uudistus palomääräyksien osalta vuonna 2011 antoi puulle luottamuksen rakennusmateriaalina, jolloin puukerrostaloja voitiin rakentaa aina kahdeksaan kerrokseen saakka.

Kestävän kehityksen rakentamisesta on tullut tälle vuosisadalle motto. Erilaiset energiatehokkuuskyvykset, ympäristöarvot ja ekologisuus ovat innoittaneet viranomaisia kuin myös rakentajatkin kiinnostumaan puusta aivan uudella tavalla. Ympäristöarvot ovat varsinkin antaneet puulle etulyöntiaseman. Median roolia on turha väheksyä, koska sen antama informaatio kansalaisille on ollut merkittävää. Se on parantanut hankkeitten uskottavuutta ja lisännyt yleistä mielenkiintoa puurakentamisen mahdollisuuksien kohtaan.

Suomeen rakennettiin 2010-luvulla kaksi uutta yli kaksikerroksista asuinpuukerrostaloa:

- Asunto Oy Heinola puuera (2011) 1 asunto, 27 asuntoa, 5. kerrosta
- Viikin Latokartanon puukerrostalo kortteli (2012) 5 asuntoa, 104 asuntoa, 6 300 k-m²

Molemmissa kohteissa päästiin kustannustehokkaisiin ratkaisuihin. Kohteita yhdisti pitkälle viety teollinen esivalmistus, jolloin on saatu säästöjä nopeasta rakentamisesta. Kohteet panostivat erityisesti energiatehokkuutteen ja rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämiseen. (Tolppanen 2013)

4 INSINÖÖRIPUUTUOTTEET

Puurakentaminen on nopeasti kehittyvä ala. Mitä enemmän teknologia kehittyy, sitä enemmän on mahdollisuuksia. Kun halutaan tilaratkaisuja isommiksi, tarvitaan yhä lujuusominaisuudella parempia ja vahvempia puutuotteita. Markkinoille on tullut kahden tyyppisiä jalostettuja puita, LVL eli laminated veneer lumber ja CLT eli cross laminated timber. Tämän myötä rakentamisesta on tullut paljon monipuolisempaa ja suunnittelu ratkaisut ovat entistä näyttävämpiä. On myös olemassa palkkimaisia tuotteita kuten esimerkiksi I-palkki, mutta se sivutetaan aiheen laajuuden vuoksi pois.

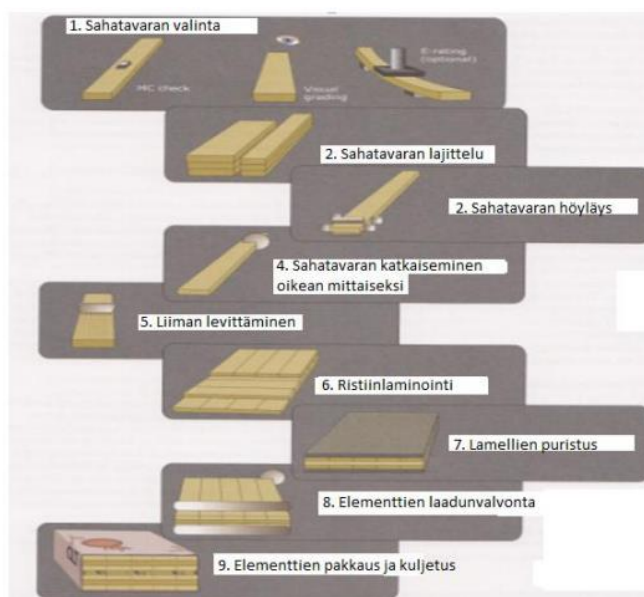
Uudet tulokkaat ovat kasvattaneet puun mielenkiintoa rakennusmateriaalina. Kiinnostus on varsinkin kasvannut liittyen edulliseen hiilijalanjälkeen, korkeaan teollisen esivalmistusasteeseen sekä sisäilman laatuksymyksiin. LVL on tunnettumpi kuin CLT. LVL tuli markkinoille suomeen 1980-luvulla eli materiaali on jo entuudestaan tuttu. CLT on uusi tuote Suomessa, mutta varsin yleinen Euroopassa. Seuraavassa tarkastellaan molempien ominaisuuksia.



Kuva 4. CLT-levy (puuinfo)

4.1 Cross laminated timber - CLT

CLT tarkoittaa vapaasti suomennettuna ristiinliimattua puuta. CLT elementti rakennetaan tehtaissa valmiiksi tilattujen piirustussuunnitelmien mukaisesti. Esimerkiksi tilaelementtin rakentaminen säältä suojattuna ja hyvissä työolosuhteissa takaa kuivat rakenteet ja huolellisen työnjäljen. Työmaalle tilaelementit viedään säältä suojaavassa paketissa suoraan työmaalle nostettavaksi paikoilleen. Itse CLT:n valmistusprosessi ei ole kovinkaan vaikea. CLT:n levy koostuu puulevyistä kolmesta yhdeksänteen kerrokseen asti siten, että jokainen seuraava lamellikerros (höylätty sahatavara) tulee kohti suoraan edellistä kerrosta vastaan. Laudan paksuudet vaihtelevat 19...60 mm ja leveys 80...240 millimetriin riippuen valmistajasta. Lamellien kiinnittäminen toisiinsa tapahtuu liimaamalla, jotka ovat ympäristöystävällisiä formaldehydittömiä. CLT-levyjen vahvuus riippuu lamellienkerroksien määrästä, joten se vaihtelee 60...400 millimetrin välillä. CLT:tä valmistetaan suurina levyinä, 2,95 x 16 m elementtinä, joka taas mahdollistaa nopean rakentamisen ja minimoi levyjen välisten puskuliitosten määrää. CLT käyttö on yleensä kantavissa rakenneosissa ja on huomioitava massiivisten puuelementtien käytön suurimittakaavaisessa rakentamisessa. (CLT-info 2017.)



Kuva 5. CLT-valitusprosessi (FPInnovations 2011a)

4.1.1 CLT-rakentamisen ominaispiirteitä

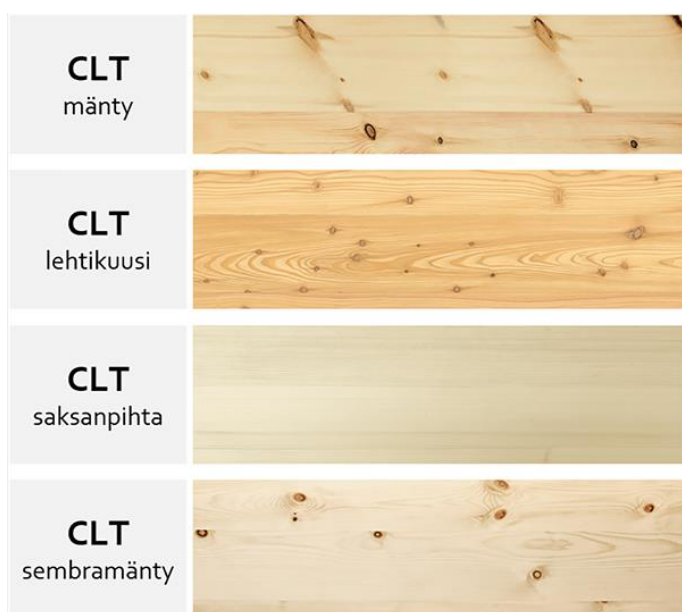
CLT:sta tulee ominaisuuksiensa ansioista olemaan tulevaisuuden rakennusmateriaali. Painonsa puolesta se on kevyempää kuin betoni tai tiili ja CLT on kosteusteknisesti kuivempi menetelmä johtuen valmistusprosessista tehtaassa. Toinen tärkeä insinööripuiden ominaisuus on niiden vähäinen kokoonpainuma. Insinööripuulle on kokoonpainumiselle. Rakenne ei juurikaan painu kasaan, jolloin saavutetaan erinomainen työstötarkkuus (+-1 mm). Kantavuus on suuri johtuen CLT:n valmistusmenetelmästä.

CLT -elementtien käytölle ei ole rajoitteita. Tyypillisimmät kohteet ovat rakennusten välipohjat, katot sekä väli- ja ulkoseinät. Tarvittavat reikien, kuten ikkunoitten ja ovien teko elementtiin tapahtuu tehtaassa sekä erilaisten tiivisteitten ja eristeitten asentamisessa. Energiatohokkuus ja tiiveys on CLT:n massiivisenrakenteiden vahvuuksia. Puun ns. hengittävyys on olennainen asia sisäilman laadussa, puu sitoo kosteutta ja vapauttaa kosteutta, jolloin sisäilman kosteus ja lämpötila tasaantuvat puurakennuksessa. Nopea pystytys ja tiivistäminen estävät kosteuden pääsyn rakenteisiin. Rakenne toimii jo itsessään jäykisteenä, joten erillistä jäykistävää levytystä ei tarvita. Puurakenteiden liitokset pystyvät ottamaan rakennukseen kohdistuvat vaakavoimat vastaan.

CLT rakenteiden paloturvallisuus on hyvä, johtuen rakenteiden paksuudesta, 100 mm paksun CLT:n seinän palonkestävyys ilman palosuojaa on REI 60. REI 90 saavutetaan lisäämällä 12,5 mm palonkestävä levy seinän pintaan. REI 120 saadaan laittamalla lisäeristystä, 40 millimetriä kivivillaa sekä 12,5 mm palonsuojalevy. Vaikka pinta palotilanteessa tummuu ja hiiltyy, se silti suojelee sisällä olevia lamellikerroksia. Tämä edesauttaa, ettei seinä romahda palossa. Määräysten mukaan P2 paloluokkaan kuuluvaan taloon, joka on yli 2-kerroksinen, on asennettava automaattinen palonsammutusjärjestelmä eli sprinkleri-järjestelmä, mikä lisää puukerrostalojen paloturvallisuutta.

Puukerrostalijen äänieritys on haastaavaa. Puhe ja muut korkeataajuiset äänet saadaan eristettyä hyvin, mutta matalataajuiset ovat ongelmallisia. Askeläänet kulkeutuvat CLT rakenteissa hyvin. Puun paksuudella ei ole vaikutusta ääneneristävyyteen, vaan äänen heijastuminen johtuu puun heijastavasta rakenteesta. Sen seurauksena asuinhuoneistot joudutaan eristämään toisistaan, niin, etteivät äänet siirtyisi värähtelyn kautta huoneistosta toiseen.

Stora Enson tarjoaa nykyään myös erikoispintoja CLT elementille, näitä vaihtoehtoja on esitetty kuvassa X. Viimeinen erikoislamelli on 20 mm paksuudelta, joka tulee näkyvälle puolelle. Seuraava kuva alhaalla näyttää millaisia vaihtoehtoja on tarjolla. (CLT-info 2017.)



Kuva 6. CLT:n erikoispinnat Stora Enson (CLT – info)

4.2 Laminated veneer lumber - LVL

Seuraava insinööriutuote on Suomessa tunnettu melkein 30 vuotta. LVL on vapaasti suomennettuna viilupuu. Viilupuu kauppanimet ovat Kertopuu tai Kerto. Kyseisiä tuotteita valmistaa Stora Enso Varkaudesta 2016 vuodesta lähtien. Valmistus tapahtuu useasta havupuuviiiluista liimaamalla päällekkäin. Puunsiyöt ovat yleensä samansuuntaiset, mutta esimerkiksi vanerissa seuraavan kerroksen siyöt ovat erisuuntaan. Sorvatun viulun paksuus 3 millimetriä, jotka kuivatetaan kuivaamossa. Viilut liimataan säänkestävällä fenolihartsilla liimalla yhteen ja puristetaan kuivumisen ajaksi yhteen mekaanisesti. Levytuotteiden rakenne eroaa keskellä olevasta poikittaisviilusta, joka lisää poikittaista lujuutta ja jäykkyyttä.

LVL tuotteita voidaan käyttää palkkeina, seinärankoina, sekä lattia- ja seinälevyinä. Kestävyyden takia tuotteet toimivat kantavina rakenteina hyvin. Kerto-S käyttökohteet ovat ala- väli- ja yläpohjat. Kerto-T käytetään ulko- ja sisäseinissä runkotolppina. Kerto-Q käytetään jäykistävinä katto-, seinä- ja lattialevyinä. (Win-hanke 2017.)



Kuva 7. Stora Enson LVL tuote (Puuinfo)

4.2.1 LVL:n rakentamisen ominaispiirteet

Kertopuun tuotantotekniikka ja varsinkin sen rakenne mahdollistavat hyvät lujuusarvot ja pienen omapainon. Liimapuuhun ja sahatavaraan verrattuna kertopuuhun saavutetaan sama kantavuus pienemällä materiaalimäärällä. Tällä tavoin saadaan kilpailukykyinen materiaali niin taloudellisesti kuin materiaalin raaka-aineen säästöä ajatellen. Huomoitavaa on myös rakenteen pienempi paino johdettujen materiaalin menekin vähyydestä. Kertopuun sisäilman päästöluoksi tulee M1 (taulukko liitteenä), joka on paras mahdollinen. Vertailun vuoksi alhaalla on kaksi taulukkoa, josta ensimmäinen taulukko sisältää sahatavaran ja liimapuun ominaisuuksia ja alempana kertopuun lujuusominaisuuksia.

Taulukko 1. Ominaislujuudet sahatavarakkeelle ja liimapuulle (Puuinfo)

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu	
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL28c	GL32c
Ominaislujuudet (N/mm ²)						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)						
Kimmomoduuli	E_{mean}	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90,mean}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m ³)						
Ominaisstiheys	ρ_k	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	430	470

Taulukko 2. Kertopuun ominaisuudet (Puuinfo)

Tyyppi		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q
Paksuus (mm)		21 - 90	27 - 75	27 - 69
Ominaislujuudet (N/mm²)				
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	32
KokovaikutusekspONENTTI	S	0,12	0,15	0,12
Taivutus lappeellaan	$f_{m,0,flat,k}$	50	32	36
Veto syysuuntaan	$f_{t,0,k}$	35	24	26
Veto poikittain syrjällään	$f_{t,90,edge,k}$	0,8	0,5	6,0
Puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	26
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90,edge,k}$	6	4	9
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90,flat,k}$	1,8	1,0	2,2
Leikkaus syrjällään	$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5
Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3
Jäykkyysominaisuudet (N/mm²)				
Kimmomoduuli	E_{mean}	13800	10000	10500
Liukumoduuli	$G_{edge, mean}$	600	400	600
Tiheydet (kg/m³)				
Ominaisstiheys	ρ_k	480	410	480
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	510	440	510

Vertailuna nähdään, että Kertopuutuotteet ovat selvästi parempia lujuusomaisuudella kuin sahatavaran tai liimapuun ominaisuuksiin verrattuna. (Puuinfo 2017.)

Käyn tässä lyhyesti Stora Enson kehittämät uudet LVL tuotteet:

- T-laatu, käyttökohde seinätolppana
- S-laatu, parhaiten käyttö palkkina
- X-laatu, ristiinlaminoidut viilut, joitten käyttö on seinälevyinä

T-laadun tuotteissa syysuunta on pitkittäin. Tuotteet ovat mittatarkkoja, suoria ja keveitä. S-laadussa kaikkien viilut ovat samaan suuntaan, antaen hyvät lujuusomaisuudet. Ideaalinen rakennusteollisuuden käyttökohde. X-laadussa viilut on liimattu ristiin, tuoden mittatarkan materiaalin. Käyttökohde, jossa määräävänä mitoituksena käytetään leikkauslujuutta tai halutaan isoa jänneväliä esim. välipohjassa.

Kyseiset uudet tuotteet testataan VTT:n toimesta. Testien myötä Stora Enso tulee julkaisemaan kattavan teknisen manuaalin kyseisistä tuotteista. Liitteenä löytyy kyseisten tuotteitten ominaisuustaulukot. (Puuinfo 2017.)



Kuva 8. Pilari-palkkijärjestelmällä rakennettu kerrostalo, Metsä woodin kerto- tuotteet (Puuinfo)

4.3 Kustannukset

Tavallisesti hinta ratkaisee paljon rakentamisessa, pyritään laadullisesti parhaaseen ja hinnaltaan edulliseen ratkaisuun. Tarkasteluun otin kerrostalon rakentamisessa eniten käytetyt materiaalit. Taulukko 3:ssa on väliseinätolpan ja palkin hintavertailu. Tuotteiden hinnat ovat verollisia alv 24%. Hinnat on selvitetty nettisivulta www.taloon.com

Taulukko 3. Väliseinätolpan hinta vertailu.

Väliseinätolppa	Mitat	Laatu	Hinta €/m
Kertopuu	39x66x3000	Kerto-T	2,33
Kertopuu	39x66x6000	Kerto-T	2,05
Mitallistettu kuusi	48x98	C24	2,3
Mitallistettu kuusi	42x66x3000	C24	1,39

Taulukko 4. Pilari/palkin hintavertailu.

Pilari/palkki	Mitta	Laatu	Hinta €/m
Kertopuu	75x225x1000	Kerto-S	18,2
Kertopuu	45x300x1000	Kerto-S	14,6
Liimapuu L40	90x225	GL32c	17,8
Liimapuu L30	90x90x3000	GL32c	7,47
Mitallistettu kuusi	48x198	C24	4,5
Mitallistettu kuusi	48x173	C24	4,0

Taulukosta voidaan todeta sahatavaran, varsinkin männyn osalta halvemmaksi kuin kertopuu väli-seinätolppana. Eroavaisuus on kuitenkin huomattava pilarissa. Hinta ratkaisee materiaalin valinnassa, mutta lujuusominaisuudet jäävät vähemmän huomiolle. Nykyään sahatavaran saanti on varmempaa ja nopeampaa, mikä saattaa olla ratkaiseva tekijä sen suosiossa. Kertopuun saanti riippuu varaston tilanteesta ja jos sitä sieltä ei saa, joutuu tilamaan tuotantolaitokselta ja siinä taas kuluu aikaa sen saantiin. Siksi sahatavara on edullisen hinnan ja saatavuuden perusteella eniten käytetty puutuote.

CLT:n hintoja ei ole saatavilla, uuden tulokkaan markkina-arvoa on siksi vaikea arvioida.

4.4 Palomääräykset 2018

Rakentamista koskevat asetuksen tulevat uudistumaan 2018. Suora lainaus ympäristöministeriön sivuilta: ” Paloturvallisuutta koskevien vaatimusten kohdalla ympäristöministeriö selvittää, voidaanko automaattisten sammutusjärjestelmien suojaamissa massiivipuurakenteissa keventää paloturvallisuutta varmistavaa suojaverhous.” (Ympäristöministeriö 2016). Puukerrostaloilla on ns. tuplavarustus, jossa on sprinkleri-järjestelmä ja suojaverhous puun pinnalla. Asetuksessa palonsuojalevyn voi pois, jolloin puu pinnat sisätiloissa tulisivat näkyviin. Lyhyesti voidaan todeta, että palomääräyksistä puretaan puurakentamiseen liittyviä esteitä. Ohje on tarkoitus julkistaa keväällä 2017. Uudet määräykset astuvat voimaan 1.1.2018.



Kuva 9. Joensuun Metla – talot (Puuinfo)

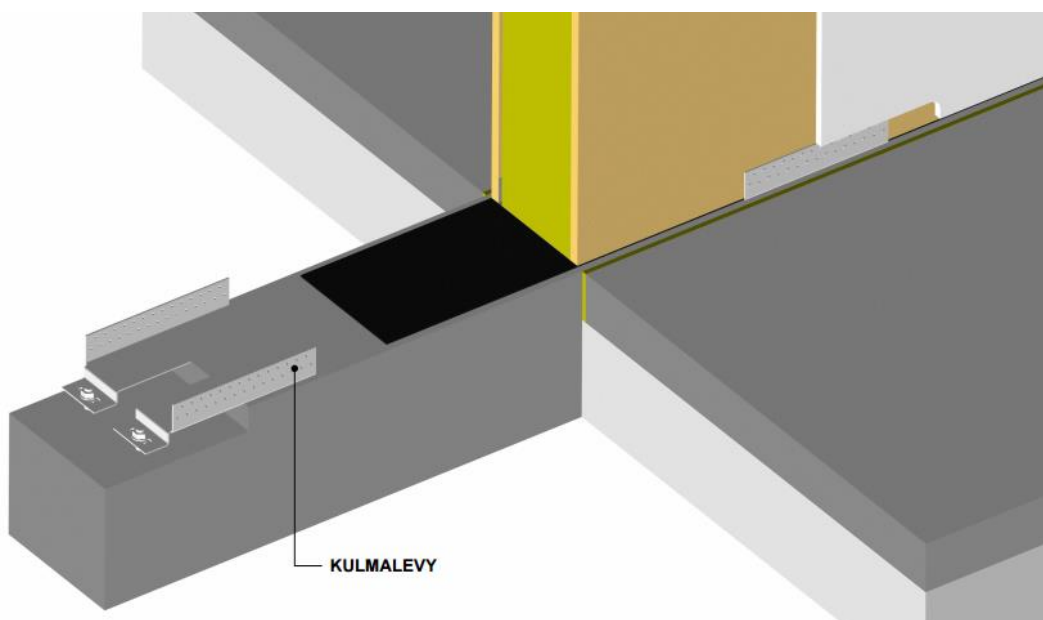
5 RAKENNERATKAISUT

Rakenneratkaisut kehittyvät koko ajan paremmiksi ja nopeaksi. Huomio on kiinnittynyt etenkin sisäilman laatuun ja kosteudenhallintaan. Esimerkiksi märkätiloissa käytetään sertifioituja tuotteita, järjestelmiä ja menetelmiä, jotka ovat tarkasti testatut. Sisäilmassa pyritään M1- luokkaan. M1- luokan saavuttaa kaikki sisätiloissa olevat rakennusmateriaalit, joista haihtuu erittäin vähän yhdisteitä huoneilmaan. Talojen rakentamisessa pyritään energiataloudelliseen ratkaisuun säästöä ajatellen. Hyvin suunniteltuihin ratkaisuun on mahdollista tehdä lisä- ja muutotöitä.

Seuraavassa käydään läpi puukerrostalolle tyypillisiä rakenneratkaisuja, joita nykyään käytetään hyvää rakentamistapaa noudattaen. Periaate on, että runkon kantavana seinänä toimivat ulkoseinät ja tarvittaessa osa väliseinistä. (Puuinfo 2017.)

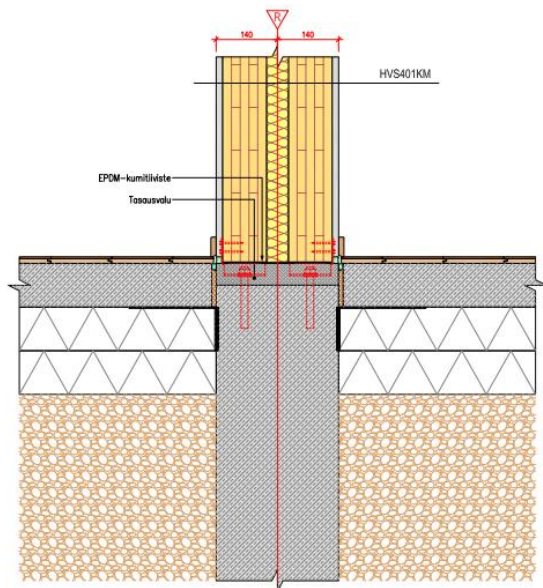
5.1 Alapohjaliittymä

Alapohja ei eroa muista rakentamisessa käytetyistä rakenteista. Puukerrostalossa ensimmäinen kerros tai ns.kellarikerros on aina betoninen, josta seuraavat kerrokset ovat puurakenteisia. Yleensä kantavat rakenteet ankkuroidaan kiinni alapohjaan. Kiinnityspeiraatteita on monia, kulmalevyllä, kuva 10, tai L-mallinen teräslevyllä. Mikään ei estä rakentamista perinteisellä alaohjauspuulla ja sen ankkurointi perustuksiin ja siitä ylöspäin CLT:n levyjen pystytystä. Alaohjauspuuna käytetään sahatavaraa. Alapohja on yleensä maavarainen betonilaatta.



Kuva 10. Väliseinän kiinnitys perustuksiin (Puuinfo – RunkoPES 2.0)

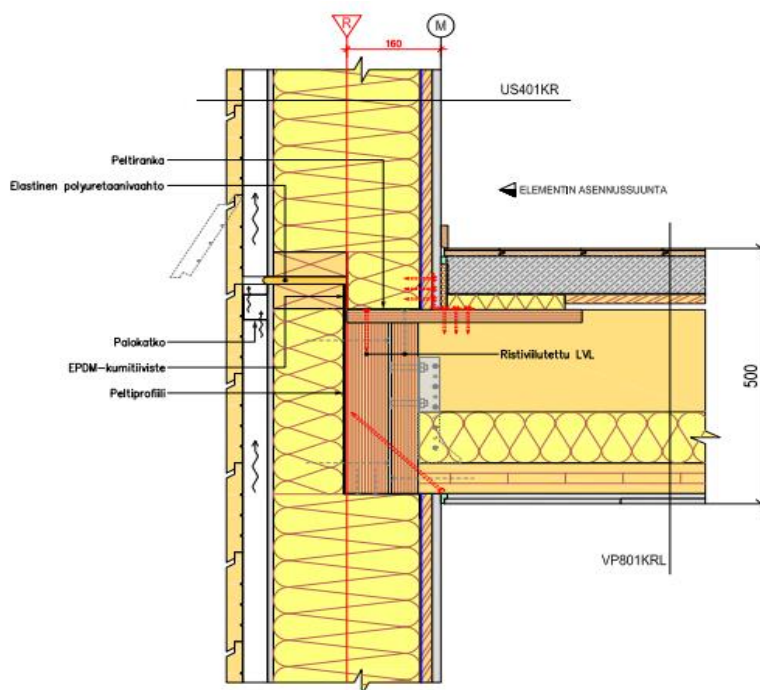
Ns. metallikenkä kiinnitetään perustuksiin, jolloin CLT-elementti voidaan asentaa paikoilleen, mikä on helppokäyttöinen ja nopea tapa. Alapohjan täyttössä käytetään yleensä kapilaarikatkona sorakerosta ja päälle tasaushiekkaa ja lämpöeristys. Alapohjan ja perustuksen välinen rako on tiivistettävä huolella, esim. bitumilla.



Kuva 11. Alapohjaan kiinnitys CLT-elementti teräslevyllä (Puuinfo)

5.2 Välipohjaliittymä

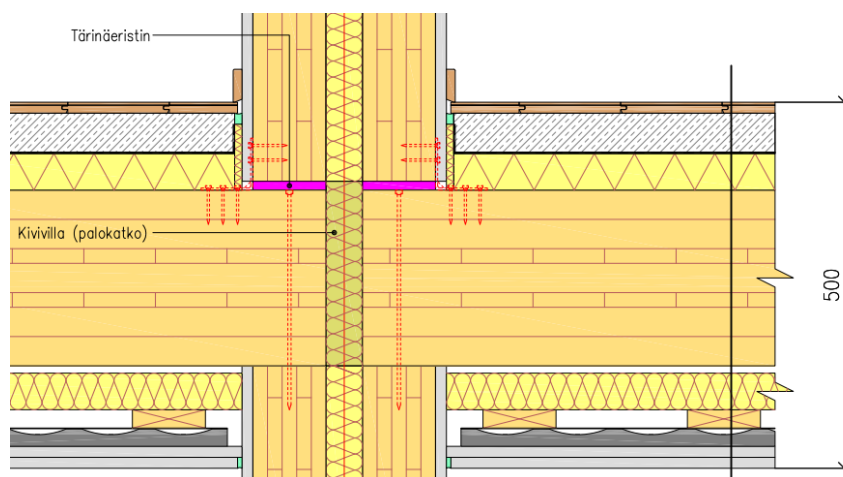
Puukerrostaloissa ongelmana ovat äänet ja varsinkin värähtelyt. Insinöörit ovat kehitelleet erilaisia ratkaisuja niiden kulkeutumisen estämiseksi. Ulkopuolisen meluntorjunta on haastavaa varsinkin kaupungeissa, joissa lähistöllä liikennöi runsasta liikennettä aiheuttaen ylimääräistä melua asukkaille sisätiloissa. Liittolaatta, jossa betoni omalla massiivisuudella vaimentaa askelääntä hyvin. Liitoskohdissa erilaiset elastiset kumitiivisteet pysäyttävät värähtelyn siirtymisen toisiin rakenteisiin ja siitä huonesitoihin. On kuitenkin muistettava, että rakennusta ei voida saada äänettömäksi, mutta vaimentamalla äänitasoa saadaan siedettävämälle tasolle. Sekin on huomioitava, että äänien häiritsevyys on yksilöllistä, esimerkiksi vessassa käynnin kuuleminen naapurissa ja sen häiritsevyys jne. Liit- torakenteessa välipohjan runko on puuta, jossa on betonivalu päällä. (Puuinfo 2017.)



Kuva 12. Välipohjanliittymä kiinnitys kantavaan ulkoseinään (Puuinfo)

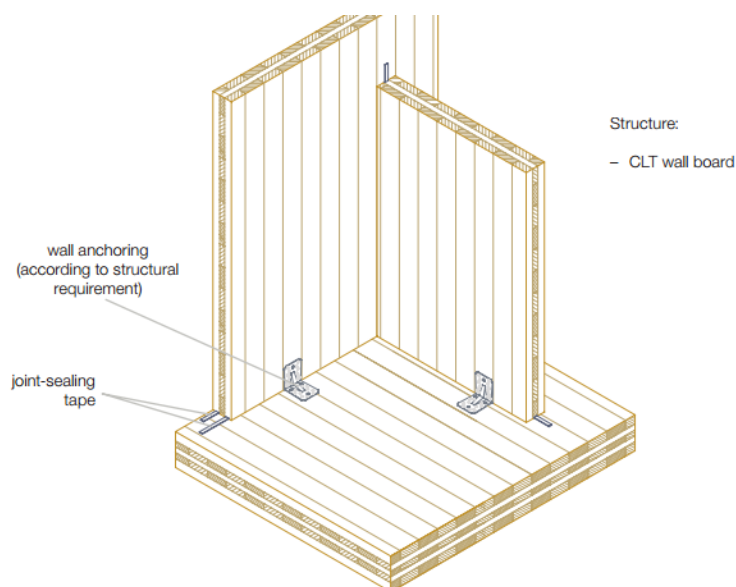
5.3 Väliseinäliittymä

Kaikki liittymät on lähtökohtaisesti eristettävä äänien takia. Tässäkin tapauksessa huoneistojen ja kerrosten välisissä liitoksissa on huomioitava äänen kulkeutuminen. Tärinäeristin ja CLT:n levyjen välissä kulkeva palokatko huolehtii värähtelyjen pysäytyksestä. Välipohja on ruuvattu kiinni alemman kerroksen väliseinään ja ylempään kerrokseen menevä väliseinä kiinnitetään kulmalevyllä kiinni välipohjaan. Tärinäkatko estää värähtelyn siirtymistä eteenpäin, kuva 13 alhaalla, missä tärinäkatko on merkattu violetilla värillä. Tärinäkatkona käytetään yleensä neonpreeniä. (Puuinfo 2017.)



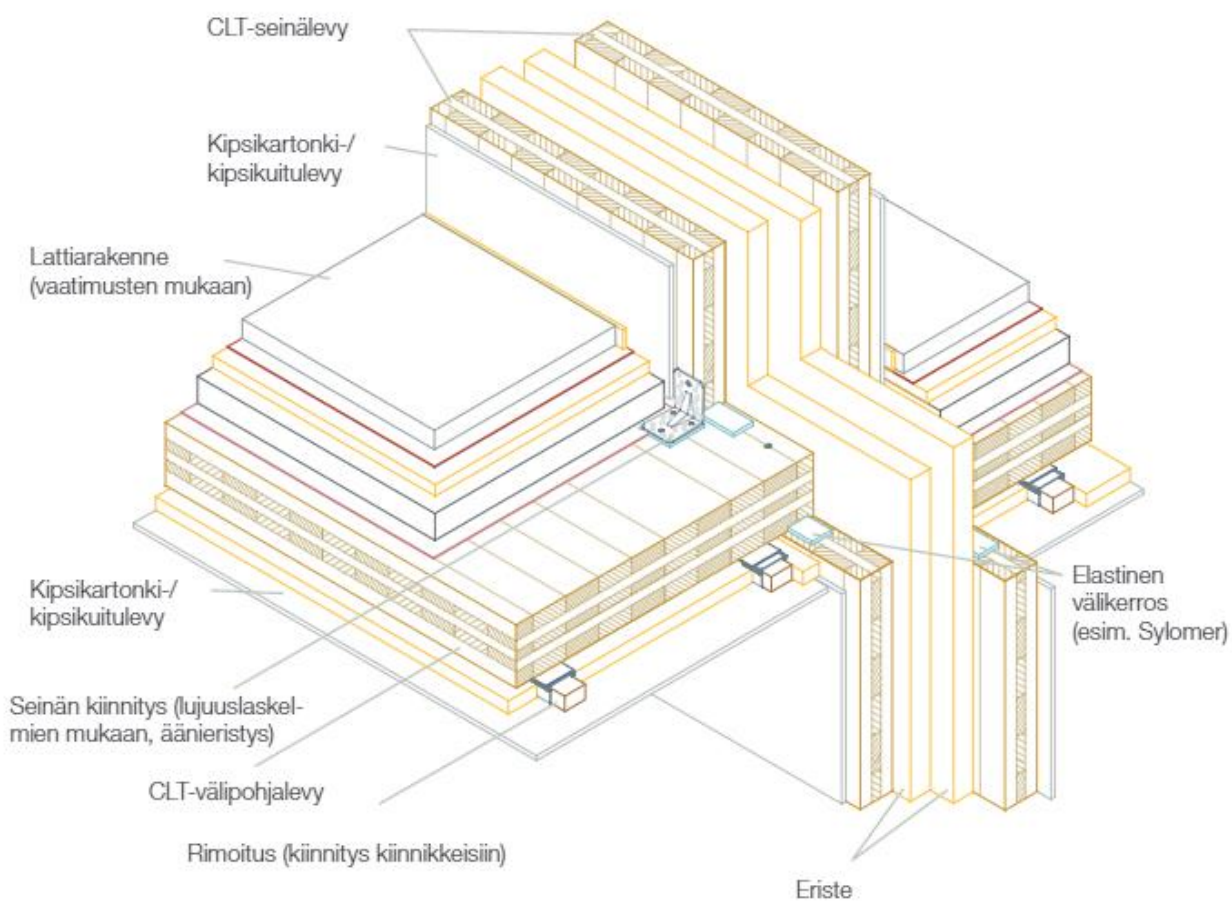
Kuva 13. välipohja ja väliseinä liittymä (Puuinfo)

Kuvassa 14 on väliseinän ja välipohjan kiinnitys kulmaraudalla. Kyseinen kiinnitys on helppo tehdä, kun on massiivi puutalosta kyse, jossa CLT levyt kiinnitetään toisiinsa.



Kuva 14. Väliseinän kiinnitys välipohjaan. (CLT - info)

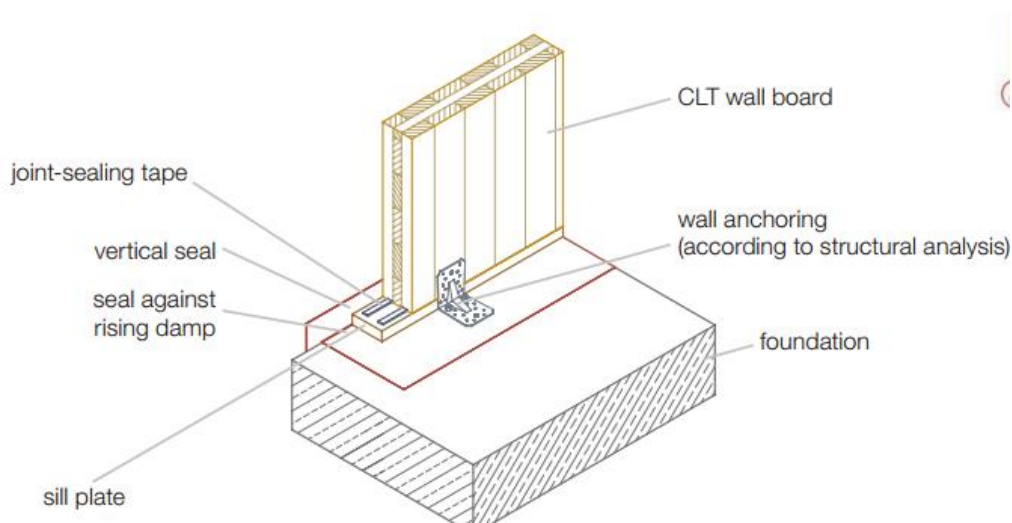
Kuvassa 15 on rakenne, jossa on monenlaisia kerroksia. Rakenteiden täytyy täyttää palo- ja äänivai-
timukset. (CLT – info 2017.)



Kuva 15. Alemman seinän, välipohjan ja ylemmän seinän liitos (CLT - info)

5.4 Ulkoseinä

Ulkoseinät ovat yleensä kantavia rakenteita, jossa voimien siirto ylhäältä alas perustuksiin tapahtuu kantavien seinien avulla. Siksi on varmistettava rakenteen stabilisuus ja kestävyys. Kiinnitys perustuksiin on samantapainen, mihin on totuttu pientalojen runkorakenteissa. Alaohjauspuun päälle tulee CLT-levy, joka ankkuroidaan kulmalevyllä perustukseen kiinni. Alaohjauksen alle laitetaan kapilaarikatkon takia esim. bitumikermi suojaamaan kosteudelta. Ulkoseinissä käytetään yksirunkojärjestelmää. On huolehdittava tuulensuojauksesta sekä höyrystä sulkumuovista. Rungon lämpöeristetään ja verhoillaan. (CLT – info 2017.)



Kuva 16. Ulkoseinän CLT:n kiinnitys perustukseen (CLT - info)



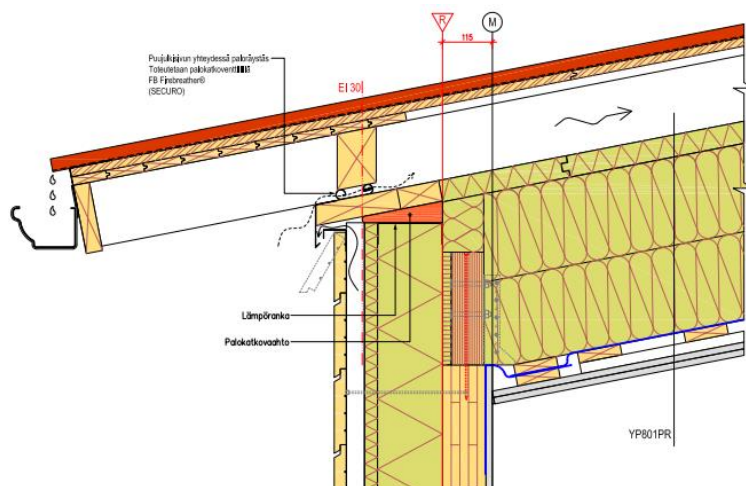
Kuva 17. Alaohjauspuun ja ulkoseinän ankkurointi perustukseen (CLT - Info)

Kuvassa ylhäällä ankkuroidaan ulkoseinä kiinni perustukseen ja alaohjauspuuna on käytetty sahatavaa. Sahatavaran ja CLT-seinän välissä on kaksi eristenauhaa.

5.5 Yläpohja + katto

Katto on alttiina sateelle, joten eristysten on syytä olla tiiviit ja kestävät, ettei vesivuotoja syntyisi. Ylimääräistä kosteutta voi esiintyä höyrystä sulkumuovin huonosta tiiveydestä johtuen tai sen puuttuminen kokonaan aiheuttaa ongelmia yläpohjarakenteissa pitkällä aikavälillä. Tähän ratkaisuna on toimi-

nut riittävä tuuletus. Isoimmissa katoissa tai tasakatoissa alipaineimureilla huolehditaan ilman vaihtuvuudesta yläpohjassa. Yläpohjaan voidaan valita ristikko- tai palkkikannatajia. Myös katon muoto voi olla pulpettikatto, tasakatto tai harjakatto. (Puuinfo 2017.)



Kuva 18. Yläpohjanliittymä (puuinfo)

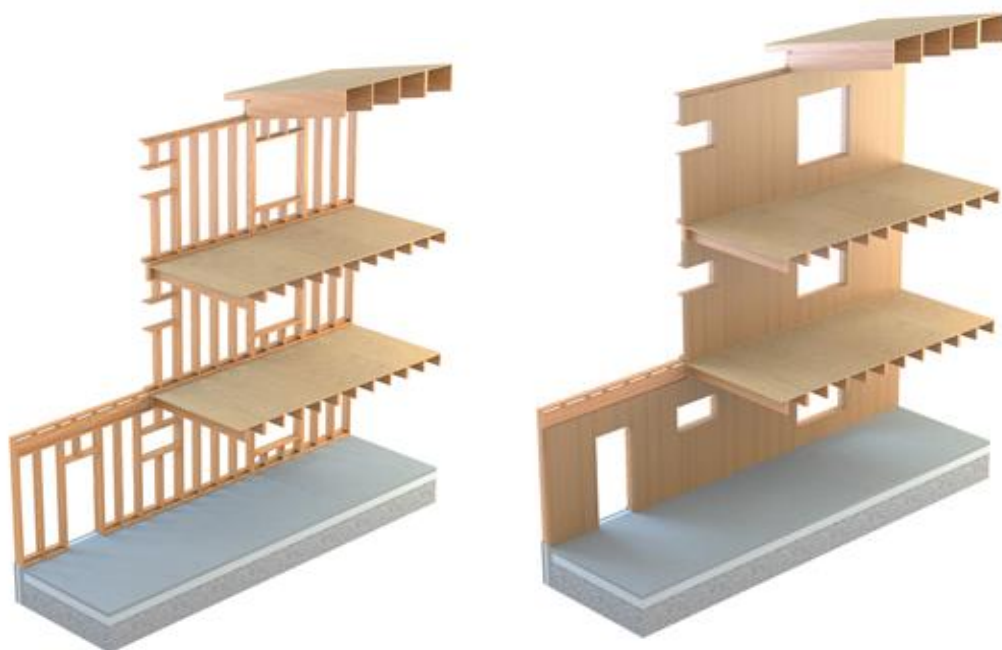
5.6 Rakennejärjestelmät

Puukerrostaloihin runkoratkaisut voidaan jakaa kahteen osaan, kantavaseinäisiin ja pilari-palkkirakenteisiin. Ne voidaan toteuttaa tila- että taselementteinä. Järjestelmistä valitaan parhaiten soveltuvin kohteeseen niin teknisesti kuin taloudellisesti. Nykyään suunnitelijoilla on käytössä RunkoPES, josta löytää yleiset suunniteluperiaatteet ja suositukset.

5.6.1 Kantavat seinät -järjestelmä

Puukerrostaloissa käytetään yleisesti runkorakaisua, jossa kantavat seinät ottavat vastaan vaakavoimia siirtääkseen ne turvallisesti perustuksiin. Toteutustapoja on kahdenlaisia, yleisesti tuttu rankarakenteinen tai massiivipuorakenteinen eli CLT:stä. Yleisesti ottaen ulkseinät toimivat kantavina ja osa sisällä olevista väliseinistä sekä rakennuksiin sijoitetut pilarit ja palkit. Väliseinät joudutaan tekemään tavallisesti paksumpina, johtuen palo- ja äänieristyksen vuoksi. Lattiat toimivat jäykistävinä rakenteina.

Puurunkoisen rakennuksen yleisin muoto on rankarakenteinen, sekin tehdään nykyään elementtinä. Elementtiin tehdään valmiiksi ulkoverhoukset, ikkunat ja tiivistykset. Eristykset laitetaan vasta työmaalla ja sisäverhoukset tehdään myös työmaalla eristyksien laitton jälkeen. Rungon materiaali riippuu sen korkeudesta, matalamman talon edullinen ratkaisu sahatavarasta ja korkeissa tapauksissa liima- tai kertopuu on parempi. Hybridirakenteet ovat oivia ratkaisuja, kun kaivataan pitempiä jännevälejä. Pystytysvauhti on suurin piirtein kerros per viikko. Rakentaminen tehdään säältä suojattuna, jolloin rakennus huputetaan. (Tolppanen 2013.)



Kuva 19. Havainnekuva vasemmalla rankarakenteinen ja oikealla suurelementtirakenteinen (Puuinfo)

Suurelementtiraketaminen on Euroopassa yleistä, muttei Suomessa. Kuvassa 19 ylhäällä oikealla on havainnekuva suurelementistä. Rakennuksen CLT-levyt toimivat itsessään kantavana sekä jäykistävänä rakenteena. Elementti on yleensä valmiiksi koottu tehtaalla laittaen eristykset, tiivistykset, ikkunat ja jne. Aukot sekä liitokset tehdään myös esivalmistettuna. CLT sopii parhaiten erityisen vaativiin rakennuskohteisiin ja korkeisiin puukerrostaloihin. Höyrönsulkua ei tarvita, koska levyjen lamellit on syrjäliimattu. CLT -levyllä on hyvät lämmöneristävyyden ominaisuudet. (Tolppanen 2013.)

5.6.2 Pilari-palkkijärjestelmä

Järjestelmän materiaali on joko liima- tai kertopuiset pilarit ja palkit. Kaikki väli- ja yläpohjat sekä väli- ja ulkoseinät ovat ei-kantavia. Ne tukeutuvat pilareihin ja palkkeihin, jotka siirtävät voimia perustuksille. Jäykistäminen tapahtuu vinositeitten avulla tai tuulipilarilla. Pilari-palkkijärjestelmässä rakennuksen sisätiloja voidaan mukauttaa muuttuviin tarpeisiin. Koska väliseinät ovat ei-kantavia, voidaan niiden sijaintia muuttaa. Rakentaminen on nopeaa ja siksi runko sekä vesikatto saadaan jo parissa päivässä paikoilleen. Rakenne ei juurikaan painu kasaan. (Tolppanen 2013.)



Kuva 20. Havainnekuva pilari-palkkirakenteesta Viikin Latokartanon työmaalta 2011 (Puuinfo)

5.6.3 Tilaelementti

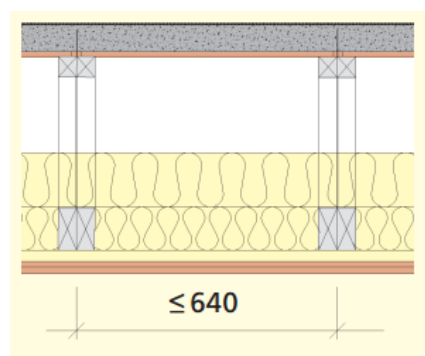
Seuraava tekniikka on hyvin konttimainen. Ruotsissa hyvin yleinen tapa rakentaa puukerrostaloja, mikä näkyy myös Suomessa yleistyvänä rakentamistapana. Tilaelementti koostu kantavasta rungosta ja ns. kontissa on valmiit seinät, lattia ja katto. Tehtaassa kaikki asennukset, kuten ikkuna eristeet ym. sähkötyöt tehdään säältä suojattuna. Tilaelementin kantava rakenne voidaan tehdä pilari-palkkitekniikalla, kehärakenteilla tai laattamaisilla suurelementeillä. Työmaalla konttien välinen seinä on kaksinkertainen, joka antaa erinomaisen ääneneristyksen. Työmaavaihe on erittäin nopeaa. Kontit tuodaan paikalleen ja nostetaan sekä kiinitetään toisiinsa. Myöhemmin voidaan lisätä kerroksia, tai jopa poistamaan tarpeen tulee. (Tolppanen 2013.)



Kuva 21. Havainnekuva tilaelementistä Joensuusta Pihapetäjästä 2016 (puuinfo)

5.6.4 Yhdistelmä rakenteet

Puukerrostaloissa etenkin välipohjissa betoni on mainio äänien eristyksissä, koska sen tarvittava massa antaa hyvän eristyksen. Betoni voidaan korvata myös kipsilevyllä. Yleensä kuitenkin betonivalu tehdään joko uivana rakenteena tai liittorakenteena. Hissi- ja porraskuiluissa betonirakenteet ovat yleisiä, antaen hyvän paloturvallisuuden. (Tolppanen 2013.)



Kuva 22. Välipohjan puubetoniliittolaatta (Puuinfo – sepapuubenoiliittolaatta)

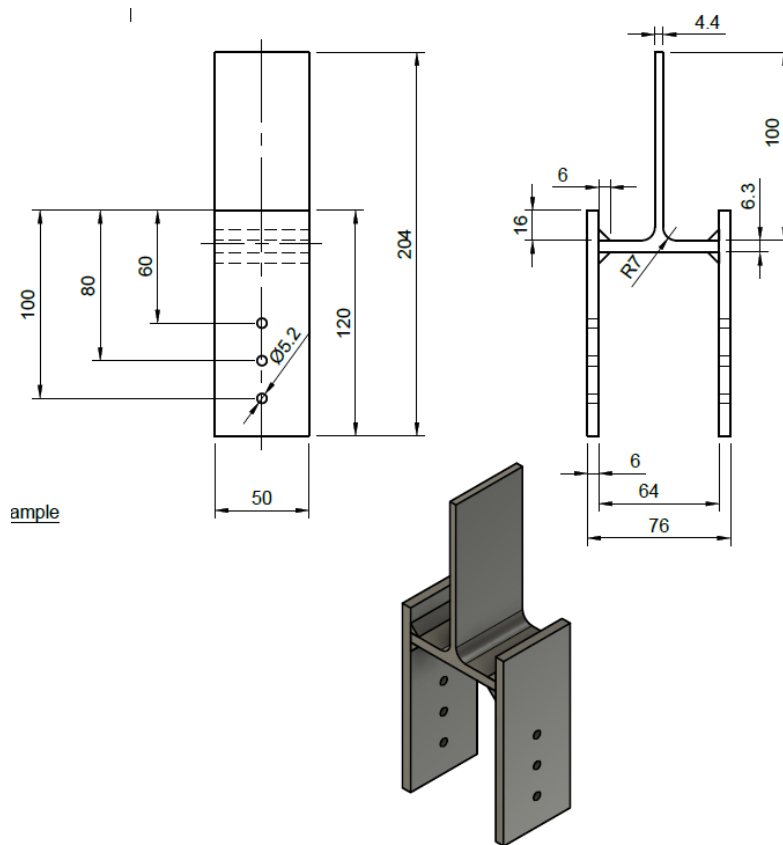
6 KOKEET

Opinnäytetyössä oli myös tavoitteena suorittaa kokeellisia tutkimuksia. Kokeita oli kahden tyyppisiä. Ensimmäisessä tehtiin vetokokeita 50 millimetriin paksuuteen höylätyille LVL – kappaleille, kuva 23. Testikappaleita oli kahden tyyppisiä, joissa kuormavaikutus oli ensin syysuuntaan vastaan ja sitten syiden suuntaan. Kutakin kappaleita on 15, joissa 3:ssa aina kutankin laatua testataan ruuvien eri reunaetäisyyttä reunasta. Tarkoituksena oli saada selville millä reunaetäisyydellä liitokseen kohdistunut voima ei enää kasva. Toisessa kokeessa tehtiin polttokoe. Polttokokeessa oli tarkoitus selvittää, riittääkö ruuvien upotus ja suojaaminen puutulpalla suojaamaan ruuvia palolta 20 minuutin ajan. Polttokoe tehtiin kahdelle kappaleelle ja tarkastellaan tulosta. Lopuksi on kaksi 13 ruuvien vetokoetta, jossa tutkitaan jäykistävään LVL-seinään kohdistuvien vaakavoima- ja pystyvoimien ottamiseen tarkoitettun liitoksen kestävyttä. Lisäksi selvitetään liitosten käyttöä havainnekuvilla.

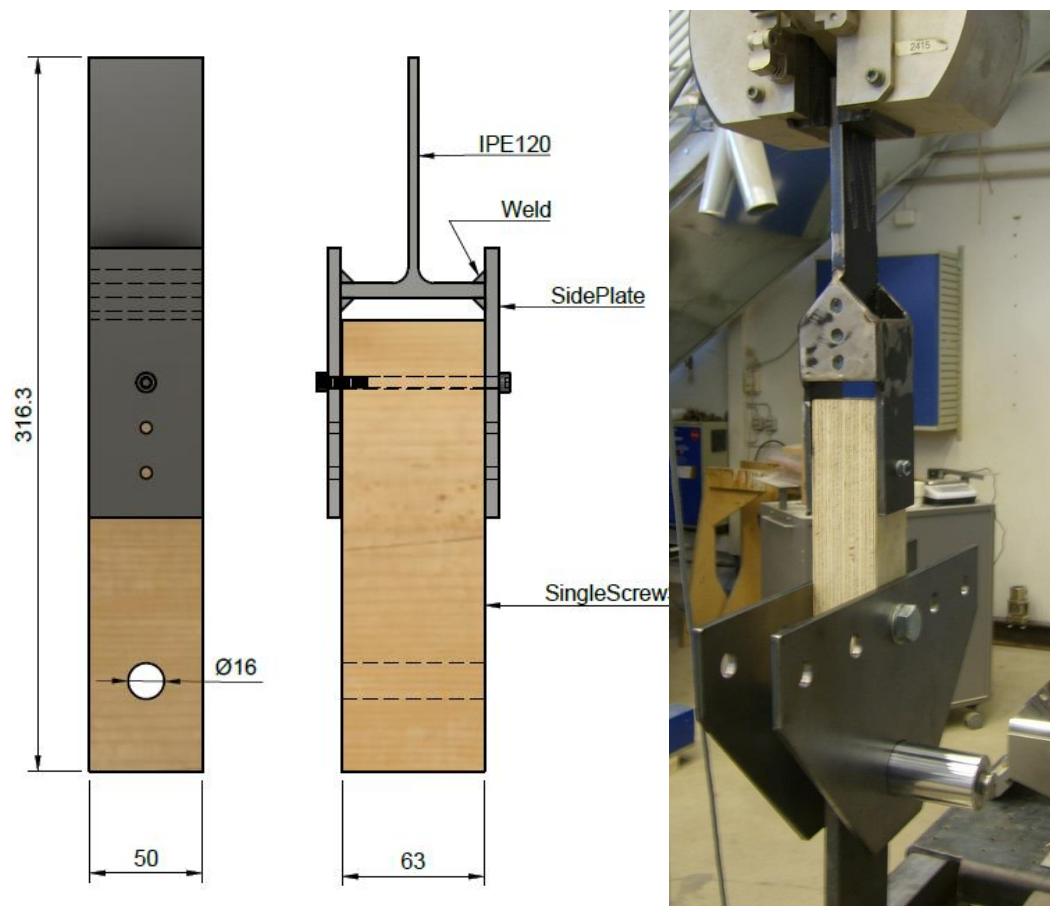
6.1 Vetokoe

Vetokokeiden tarkoitus on selvittää millä reunaetäisyydellä liitokseen kohdistunut voima ei enää kasva. Syysuuntaan vastaan sekä syysuuntaiset kappaleita, joita on yhteensä 30 (15+15). Kaikki kappaleet on tehty samasta LVL palkista. Palkin paksuus alussa oli 63 millia ja se höylättiin koneellisesti 50 millimetriin. Höyläys suoritettiin molemmilta puolinen tasapuolisesti. Vetokokeiden tarkoitus oli selvittää paras ruuvien reunaetäisyys, joten reikien etäisyyksiä oli testattavana 5 erilaista etäisyyttä. Varmuden vuoksi kunkin reijän testaamiseen käytetään 3 testikappaletta molempia laatuja. Reijän paksuus on 6 mm, itse ruuvien paksuus on 6,2 mm. Reunaetäisyydet olivat ennalta määrättyjä; 3x6, 4x6, 5x6, 6x6 ja 8x6. Reijän sai valita 5 tai 6 milliseksi, päädyttiin 6 millimetriseen varman päälle, koska 6,2 mm ruuvi kestää paremmin vetoa. Vetomurtolujuus on paksummalla ruuvilla isompi kuin pienemmällä. Testikappaleitten toisessa päässä on 16 millimetrinen reikä, johon asetetaan 16 millin terästanko vedettäväksi.

Kuvat 23 ja 24 alhaalla kuvaavat, miten vetokoe tehtiin. Vetokoe vedettiin 6 mm/min vauhdilla. Ensimmäiset testit suoritettiin syysuuntaisille kappaleille, joissa reunaetäisyys oli 8x6 (48 mm). Huomattiin, että ruuvi leikkautui poikki rasiuksen aikana. Myös testien aikana suurin osa ruuveista väännyili huomattavasti. Ruuvit antoivat periksi kokeen aikana, jolloin isomman ruuvien käyttö olisi ollut suotavaa.



Kuva 23. Vetokappale, joka vedetään reunan etäisyyden mittaamiseksi



Kuva 24. Vetokokeen havainnekuvat (Pitkänen 2017)

6.1.1 Tulos vetokokeista

Aluksi on muistettava, että kyseessä on esitesti, jonka tavoitteena on analysoida paras reunaetäisyys. Myös tutkittiin, että mikä vaikutus syysuunnalla on liitoksen vetokapasiteettiin. Kaikki testikappaleet ovat tehtynä samasta LVL palkista. Testi kappaleet on jaettu kahteen eri luokkaan, parallel (PA) eli syysuuntaiset viilut ja perpendicular (PE) eli syysuuntaan vastaan olevat viilut. Eri reunaetäisyyksiä on 5 ja kutakin etäisyyttä on 3 testikappaletta, joista otetaan keskiarvo.



Kuva 25. Testien jälkeen muodonmuutos on silmin (Pitkänen 2017)

Havainnekuva ylhäällä antaa hyvä kuvan, mikä on vaikutus syysuunnilla. Kyseisillä testikappaleiden reunaetäisyys on sama, 5x6 eli 30 mm. Mutta lopputulos on eri johtuen syysuunnasta. Vasemman puoleisessa kuvassa syysuunnat ovat kohtisuoraan voimavaikutusta vastaan, jolloin veto ulottuu koko testikappaleen pinta-alalle. Tästä johtuu PE kappaleitten halkeilu sivusta ja leikkautuminen irti. Oikean puolesessa kuvassa syysuunnat ovat samansuuntaiset kuormitussuuntaan nähden, jolloin leikkautuminen tapahtuu ainoastaan ruuvien kohdalta ylöspäin. Molemmissa luokissa sekä kaikkissa etäisyyksissä PE:ssa ja PA:ssa ruuvit uppoutuivat LVL:n sisälle. Havainnekuva 26 alhaalla näyttää kuinka ruuvi uppoutuu puuhun.



Kuva 26. Vasemmalta oikealla upponnut ruuvi vedon aikana (Pitkänen 2017)



Kuva 27. Aina puu ei anna periksi, testissä ruuvi leikkautui kahtia (Pitkänen 2017)

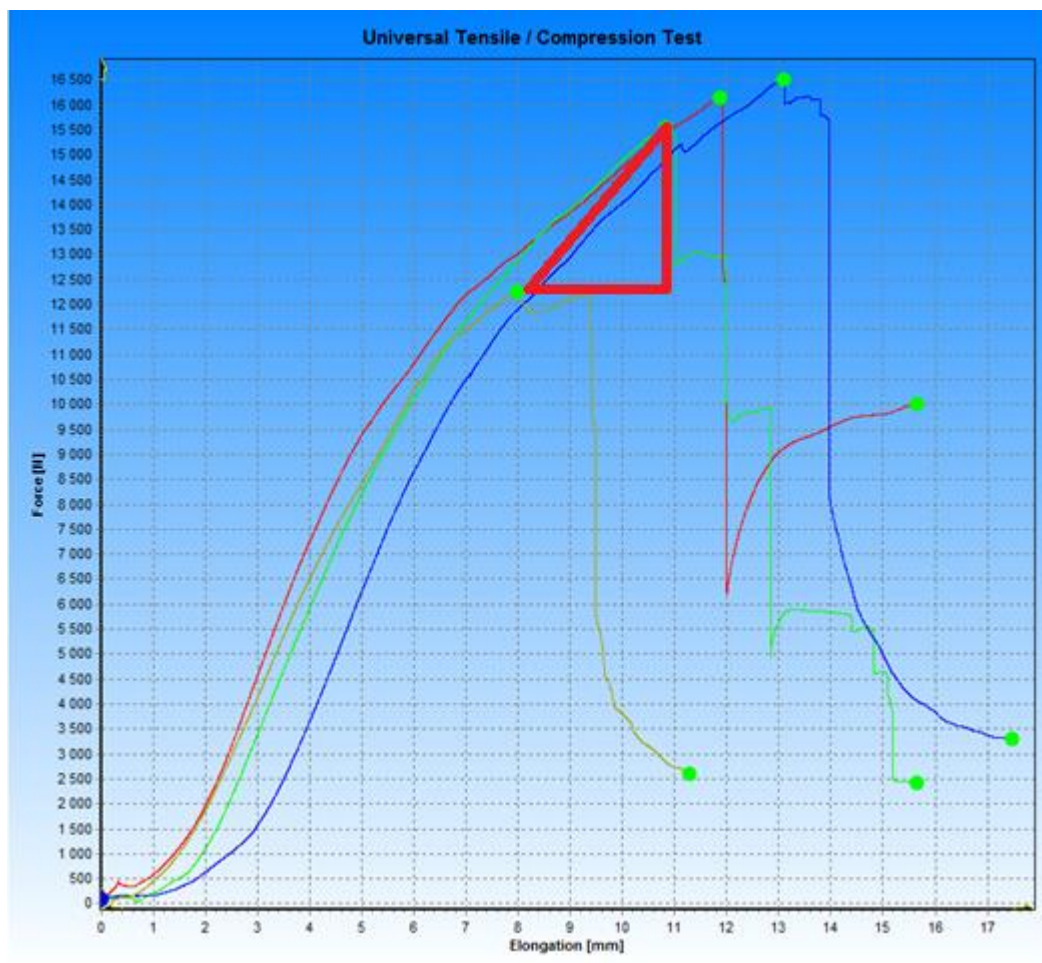
Puu on pehmeämpää kuin ruuvi, mutta silti ruuvi ei aina kestä. Ruuvien leikkausvoiman vaikutus ja taivutus ovat yhtä tärkeitä ottaa huomioon

Taulukko 5. Eri etäisyyksien maksimivoimat

pora	6				
Parallel to grain		Maksimivoimat			
	d	.1	.2	.3	voima ka
pe.1	3	11415	11132	11878	11475
pe.2	4	12555	12790	12265	12537
pe.3	5	15696	13377	16507	15193
pe.4	6	18981	17453	15548	17327
pe.5	8	19120	19930	16143	18398
Perpendicular to grain					
	d	.1	.2	.3	voima ka
pa.1	3	9656	9592	9763	9670
pa.2	4	10689	13439	12549	12226
pa.3	5	16466	16325	15113	15968
pa.4	6	16511	19395	17959	17955
pa.5	8	20277	14501	20177	18318

Taulukosta 5 nähdään, että 2 ylintä koetta molemmissa PA ja PE sarakeissa, jotka ovat lähempänä reunaa antoivat alhaisemman kestävyys, kuin kauempana reunasta olevat ruuvit. Ideaali reunanetäisyys näitten testien perusteella on 5x6 (PE.3 ja PA.3) eli 30 mm etäisyys reunasta. Huomataan

että maksivoima kasvaa huomattavasti esim. PE.2 ja PE.3 välillä. Se on peräti 2650 kN nousu, kun verrataan keskiarvoja. Kuvassa 28 alhaalla punainen kolmio havainnollistaa eroa.



Kuva 28. Kuormituskäyrät PE.2 – PE.5

Kuvassa 28 nähdään vetokokeiden voima/siirtymä- kuormituskäyrät. Käyrissä näkyy selvästi toiseksi ja kolmanneksi lähempien reunaetäisyyksien eroavaisuus. Reunan etäisyyden kasvattamisella 30 mm:ä suuremmaksi ei enää kasvata liitoksen kestävyttä. On myös muistettava, että rasituksen aikana 6,2 mm ruuvi taipui, mistä johtuen kuvaaja ei ole lineaarinen.

6.2 Polttokoe

Polttokokeen tarkoitus on selvittää, miten 20 minuutin poltto vaikuttaa ruuviin ja riittääkö testikappaleiden syvyys suojaamaan ruuvia. LVL -koekappaleet on höylätty ovat höylättyjä 50 millimetriin. LVL testikappaleita on kaksi, jossa ruuvien ympärillä on anturi, joka mittaa lämpötilaa reaaliajassa. Testi kappaleessa ensimmäisessä ruuvin kanta on upotettuna 11 mm puun sisälle ja toisessa kappaleessa 13,5 mm. Reijät tukittiin koivutapeilla. Polttokokeen aikana testikappaleiden pinta on paljas eli ei käytetty mitään palonsuoja-aineita tai palolevyä päällä. Testikappaleet käärittiin folioon, että saadaan lämpöhukka minimiin. Lopuksi asennetaan metallinen kehikko testikappaleen ympärille. Havainne kuvat löytyvät alhaalta. Lähtöpainot olivat 13,5 mm:n syvyisellä reijällä 280,0 grammaa ja 11 mm:n syvyisellä reijällä 277,8 grammaa.



Kuva 29. Testikappaleen alapäässä on ruuvin kärki ja anturi sen ympärillä (Pitkänen 2017)



Kuva 30. Vasemmalla on folioon käärittynä ja oikealla valmispaketti testiä varten (Pitkänen 2017)

Testi kappaleet olivat tasaantuneet viikon ajan, jotta testit olisivat vertailukelpoisia. Testikappaleet poltettiin yksi kerrallaan ja ennen polttamista kappaleet punnittiin. Poltto tapahtui kartiopoltton avulla, jossa testikappaleitten sytyttämistä avustettiin sähkölaitteella, jonka valoakaari sytytti puun kaasut liekkiin. Kartiopoltajan antama teho oli 50 kW/m^2 ja testin aikana lämpötila oli 715 celsiusta . Kartiopoltton ja näytteen välinen etäisyys asetettiin $25 \text{ millimetriseksi}$. Testi kesti 20 minuutin ajan, jonka jälkeen näyte annettiin jäähtyä vetokaapissa. Kuva 31 alhaalla havainnollistaa koen asettelua.



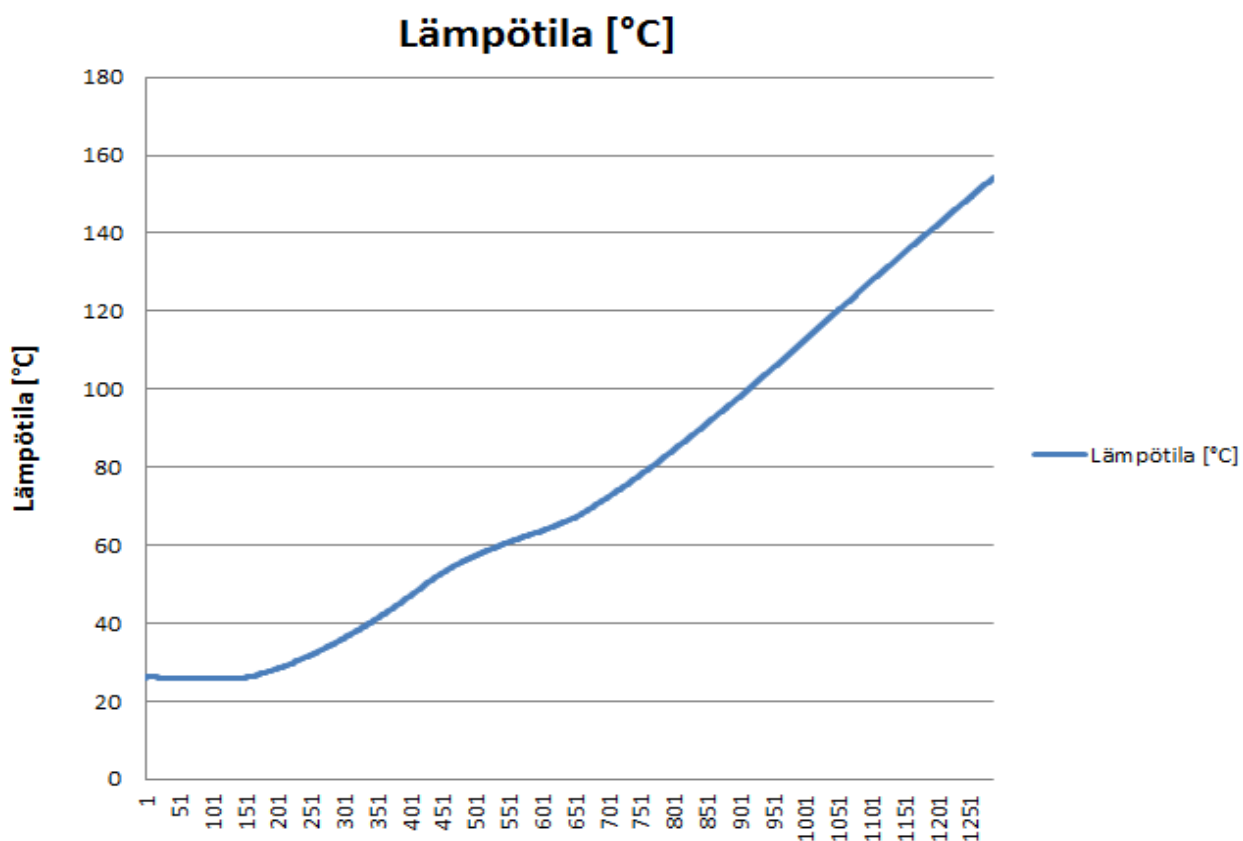
Kuva 31. Havainne kuva polttokokeesta (Pitkänen 2017)

6.2.1 Polttokokeiden tulokset

Onneksi testikappaleita oli kaksi, koska ensimmäisessä polttokokeessa lämpötilanmittari lopetti datan keräämistä, joten 13,5 millimetrin:n syvyisen reiän testin lämpötila alkupäästä tuloksia ei ole. loppupäästä mitattu. Seuraavalla sivulla nähdään kaksi kuvaajaa, jossa käyrät kuvaavat ruuvien lämmönkehitystä LVL-kappaleen sisällä. Lopuksi tarkastellaan poltetun LVL:n hiiltymistä ja pohditaan että riittääkö se pelkkä puupinta suojaamaan ruuvia.

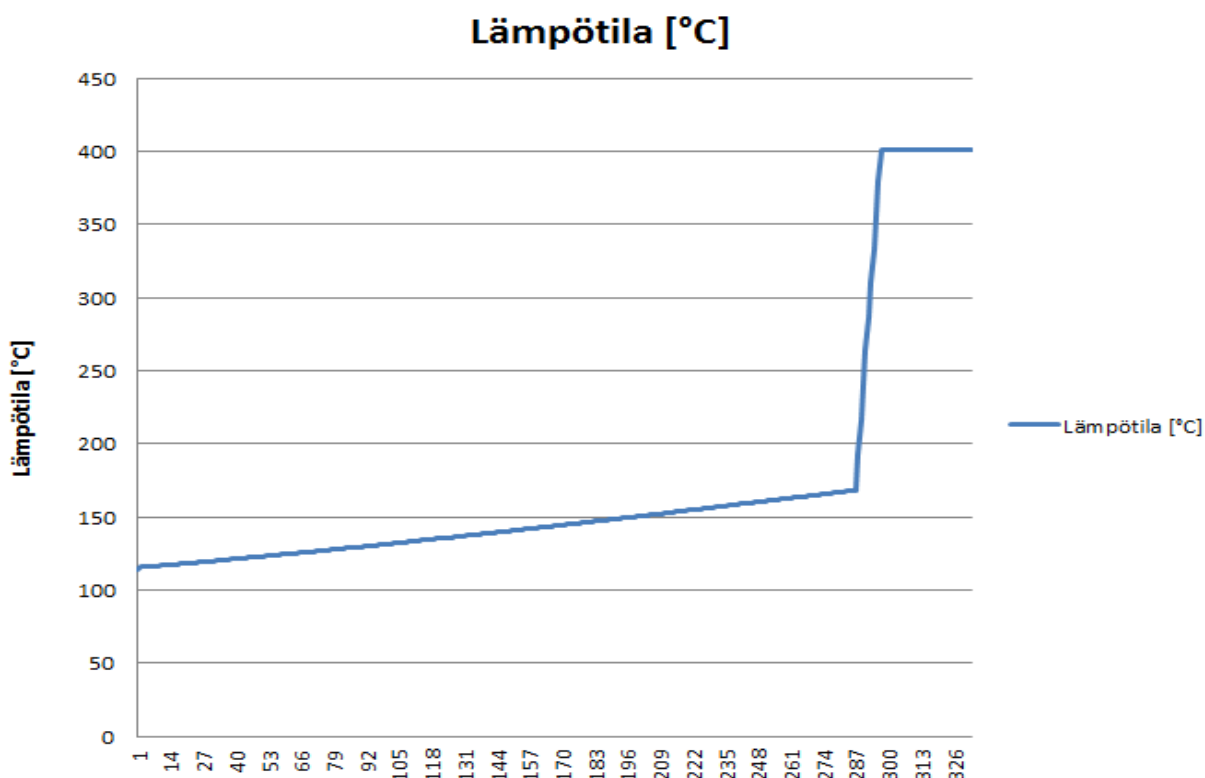


Kuva 32. Polttokokeen jälkeen (Pitkänen 2017)



KUVIO 1. 11 mm ruuvin lämmönkehitys (Pitkänen 2017)

Huomataan 151 sekunnin (2 minuutti 31 sekunttia) kohdalla lämmön kasvavan tasaisesti. 701 sekunnin (11 minuutti 41 sekunttia) kohdalla lämpeneminen kiihtyy, joka kertoo sen, että puun suojausta ei enää paljon ollut jäljellä.



KUVIO 2. 13,5 mm:n syvyyteen upotetun koivutapilla suojatun ruuvin lämmönkehitys

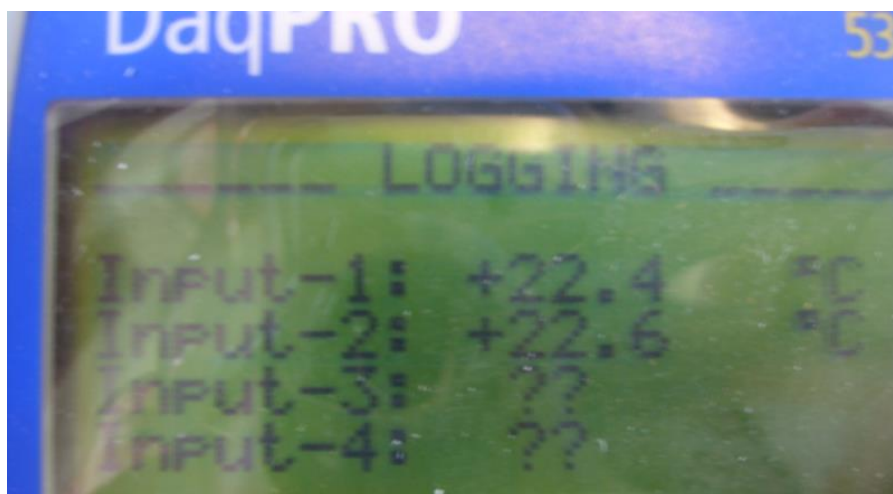
Tässä tapauksessa tulos on pelkästään loppupäästä, mutta voidaan huomata 287 sekunnin eli 4 minuutin ja 47 sekunnin kohdalla sen kasvavan dramaattisesti, johtuen metallin hyvästä lämmönjohtavuudesta sekä ruuvin kannan tultua puunsuojasta näkyville. Puun antama suoja näitten tulosten perusteella ei riitä suojaamaan ruuvia.



Kuva 33. Vasemalla 11 mm ja oikealla 13,5 mm polttokokeen jälkeen (Pitkänen 2017)

Kuvassa 33 vasemmalla nähdään, kuinka ruuvin kanta on tullut esiin hiiltyneen puun keskeltä. Joten 11 mm syvyys ei riitä suojaamaan 20 minuutin ajan paloa, joten puun pinta täytyy suojata palolta. Oikealla olevassa kuvassa mikä oli 2,5 mm syvemässä, sekään ei antanut suojaa 20 minuutin ajalta palolta. Sekin täytyy suojata palolta suojaamiseksi.

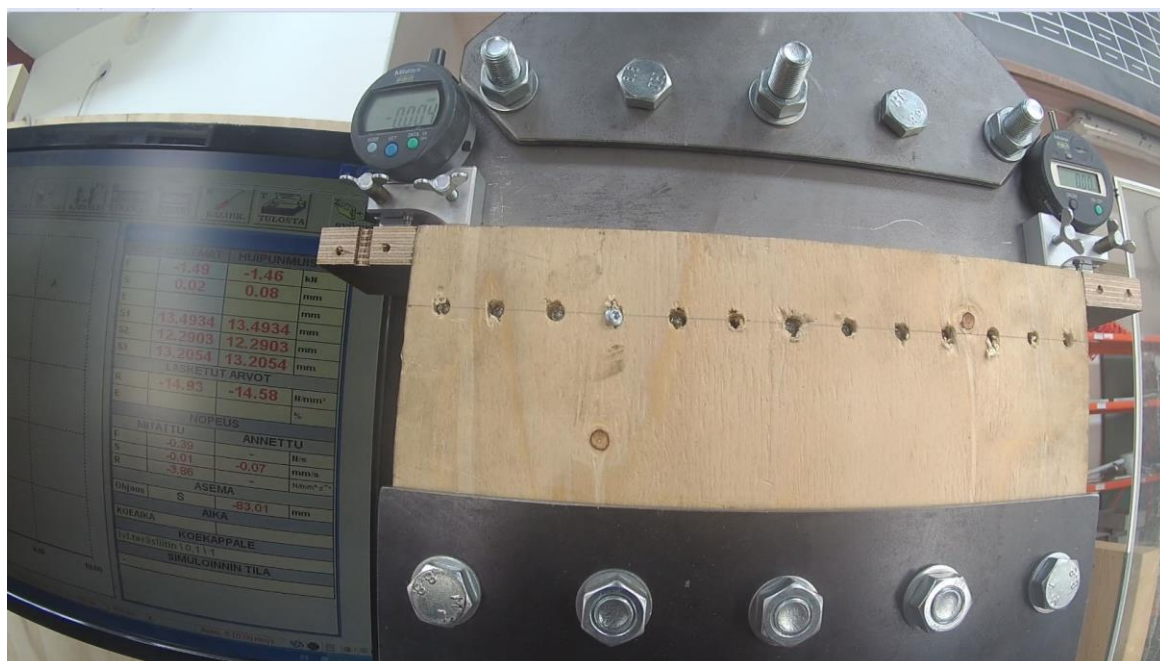
LVL-kappaleen hiiltymänopeus on 0,7 mm/min. Toisin sanoen 20 minuutissa kappale hiiltyy 14 mm syvyyteen. Koska meidän tapauksessa molemmat ruuvin kannat jäivät alle tuon hiiltymisen rajan, voidaan todeta, että molempien syvyyttä kasvattamalla yli 14 mm:n, saadaan ruuvi suojattu puulla palolta 20 minuutin ajan. (Puuinfo 2017.)



Kuva 34. Lämpötilanmittari, DaqPRO (Pitkänen 2017)

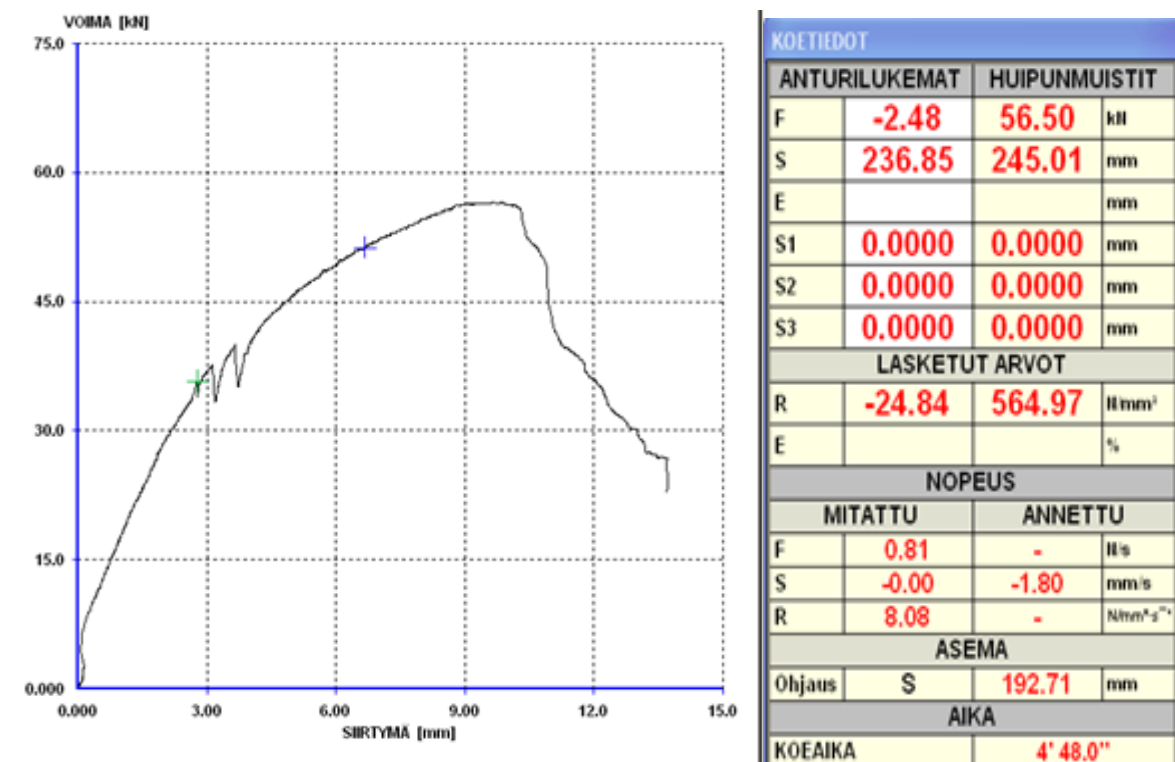
6.3 13 ruuvien vetokoe

Seuraavan testin tarkoitus on tutkia seinän kestävyyttä vedossa. Yleinen vaakakuormien aiheuttajana toimii tuuli, joten on hyvä tutkia LVL seinän kestävyyttä vaaka voimasta aiheuttavasta rasituksesta. Testissä veto tapahtuu syysuuntaisesti ja LVL kappale ankuroidaan 13 ruuvilla LVL:n keskellä olevaan uraan työnnettyyn teräslevyyn kiinni. Reunaetäisyys ruuveille valittiin 6d ja esiporaus suoritettiin 4 mm poralla. Reunaetäisyys 30 millimetriä (6 x 5). Ruuvien koko 5 millimetriä. Molemmissa päissä asennettiin anturit mittaamaan siirtymää vedon aikana. Teräslevyn paksuus sekä LVL:n uran leveys oli 3 mm. Uran syvyys LVL 55 mm. Alhaalla on kuva havainnollistamassa kokeen suoritusta.



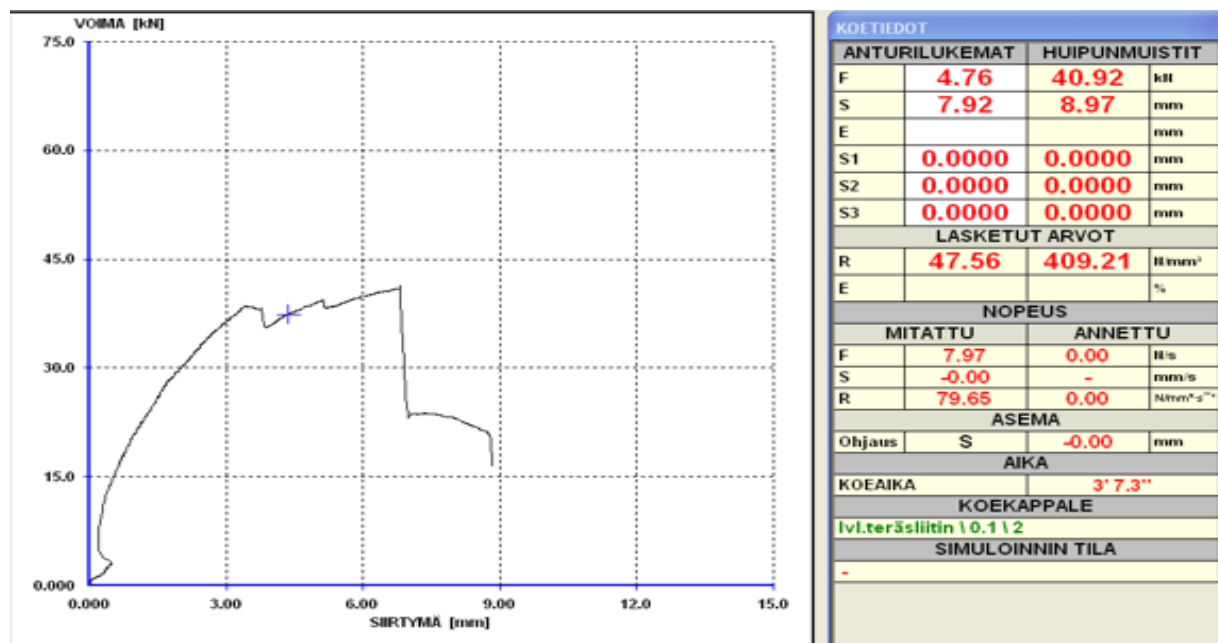
Kuva 35. Vetokoe meneillään (Lehtikanto 2017)

Rasituksen aikana kaikki ruuvit leikkoutuivat poikki. Ongelmia oli vedon saaminen molemmille puolille yhtä paljon. Tässä testissä kuitenkin vasen puoli liikkui kaksi kertaa nopeammin kuin oikea puoli. Koeaika kesti 4 minuuttia ja 48 sekuntia. Kokeen loputtua arvo maksimivoimassa oli 56,5 kN. Siirtymä lopussa oli 9 mm, joka on koneen antama tulos. Siirtymiä mittaili myös kuvassa 35 näkyvät kelloanturi molemmissa reunoissa. Niiden tulokset olivat hivenen erilaiset kuin koneen antama. Vasemmanpuoleinen mittasi siirtymäksi 8 mm ja oikeanpuoleinen antoi 4,5 millimetriä. Vasemmanpuoleinen siirtymä oli enemmän, koska venymän nopeus oli kaksinkertainen vasemmalle. Kuviossa 3 on kuormituskokeen voima/siirtymäkuvaaja. Kuvaajan vieressä näkyvät kuormituskokeen loppulukemat.



KUVIO 3. Ensimmäisen kuormituskokeen tulokset (Lehtikanto 2017)

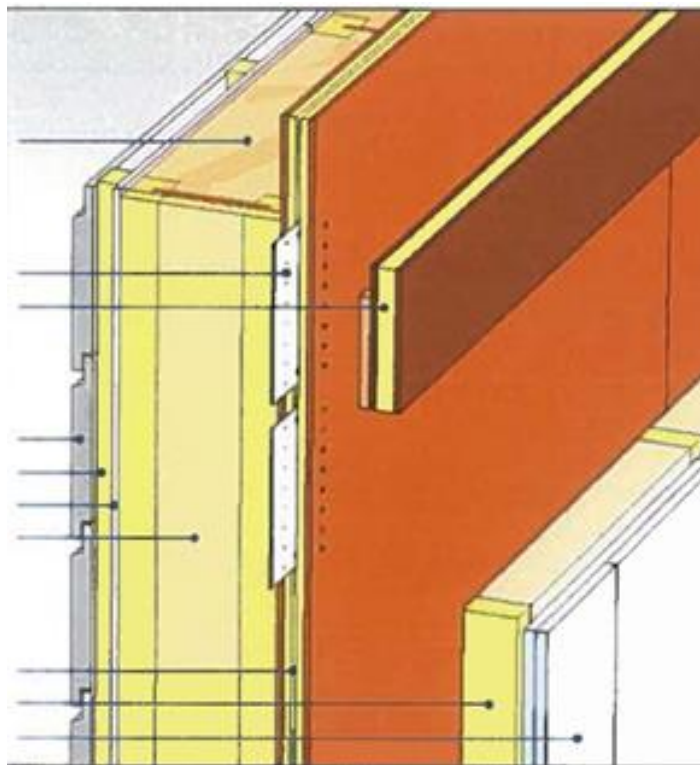
Toisessa testissä suoritettiin samanlaisella periaatteella kuin ensimmäisessä kokeessa. Erona oli vain syysuunta, joka tässä toisessa kokeessa oli kohtisuoraan vetoa vastaan. Kokeessa puu murtui noin 36 kN voimalla. Siirtymä oli myös lyhyempi, vain noin 7 mm. Kuviossa 4 alhaalla on kuormituskokeen voima/siirtymäkuvaaja. Kuvaajan vierestä näkyvät kuormituskokeen loppulukemat.



KUVIO 4. Toisen kuormituskokeen tulokset (Lehtikanto 2017)

Esitestien avulla päädyin tulokseen, jossa syysuuntaan vasten oleva viilupuu on huonompi valinta jäykistävän seinän ankkurointiin. Testien olisi hyvä suorittaa eri reunaetäisyyksille, jotta saataisiin laajempi arvio puun kapasiteetista.

LVL –järjestelmän seinärakenteessa käytetään teräslevyä, jolla seinälevyt kiinnitetään toisiinsa. Havainnekuvasssa 36 alhaalla on esitetty LVL –järjestelmässä käytettävän seinäelementin rakenne. Seinäelementit liitetään toisiinsa levyyn tehtyihin uriin ruuvattavilla teräslevyillä. Suoritetussa kokeessa periaate oli sama.

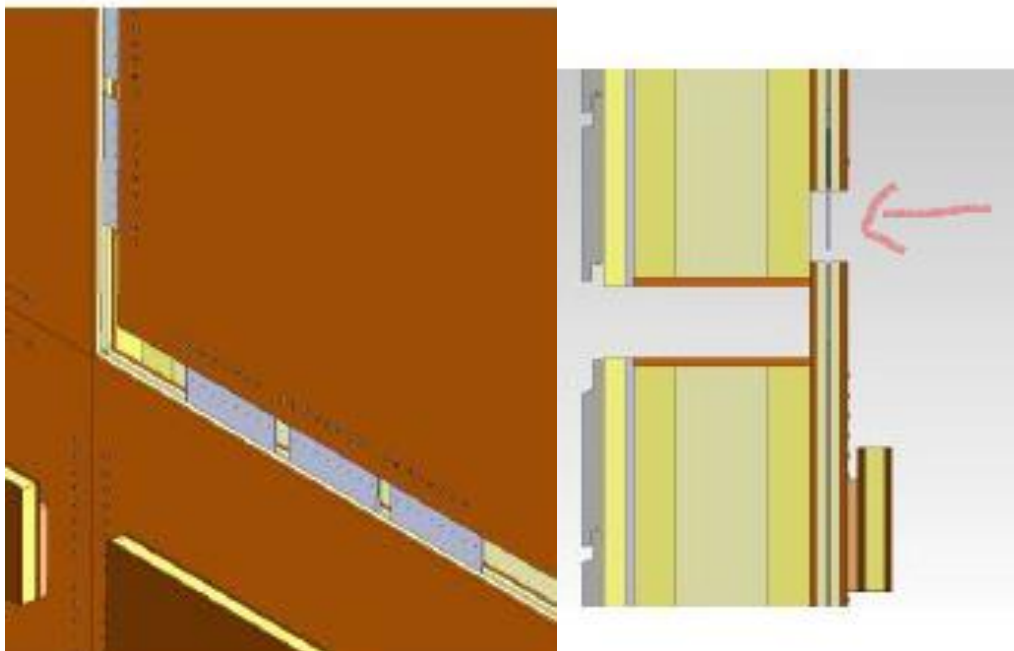


Kuva 36. LVL -seinärakenne (Per Ander Daerga)



Kuva 37. LVL-seinälevy (Puuinfo)

Kuvassa 38 on esitetty LVL seinien liitoksen periaate käyttäen kuormitustesteissä testattua liitosta. Teräslevyn koko ja ruuvien määrä mitoitetaan liitokseen kohdistuvien voimien mukaan.



Kuva 38. Seinäliitoksen havainnekuva (Per Ander Daerga)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia puukerrostalojen antamia kilpailuetuja verrattuna betonista rakennetuihin kerrostaloihin. Ennen betoni dominoi rakennusmateriaalin käyttönä kerrostaloissa koko historian ajan, mutta nyt asia alkaa olla toisin. Silti puukerrostaloja nousee tänäkin päivänä hyvinkin vähän, mutta kuitenkin kasvavassa määrin. Puukerrostalojen kehitystä ovat jarruttaneet määräykset, jotka ovat asettaneet puun eriarvoiseen asemaan betoniin verrattuna. Esimerkiksi vuonna 1995 sai rakentaa vain nelikerroksisia rakennuksia.

Puukerrostalojen kehitykseen voidaan kaksi nimetä vaikuttavaa tekijää. Ensimmäisenä metsäteollisuus sekä rakenneteollisuus, jotka mahdollistavat puukerrostalojen rakentamisen Suomessa. Kuitenkin rakentaminen on nykyään hyvinkin pitkälle vietyä nopeaa elementtirakentamista. Puurakentaminen on myös ekoloogista. Ympäristöarvot ovat nykyään kovassa arvossa. Toisena tekijänä toimivat insinööripuut; LVL ja CLT. Nämä molemmat jatkojalostetut puumateriaalit ovat erittäin hyviä lujuusarvoiltaan ja ne painavat vähemmän verrattuna betoniin.

Rakenejärjestelmät antavat suunnittelijalle hyviä ratkaisuja rakentaa niin taloudellisesti kuin arkkitehtuurisesti näyttäviä rakennelmia. RunkoPES 2.0 auttaa suunnittelijoita erilaisten liitosten ja detaljen tekemisessä. Suunnittelumateriaalia tehdään paljon ja tietoa on riittävästi puukerrostalojen rakentamisesta. Puuta koskevia rakentamismääräyksiä on myös alettu lieventämään. Palomääräyksien lievennyksissä esimerkiksi sisäseiniä ei tarvitse jatkossa peittää palolevyillä piiloon.

Tulevaisuudessa ei ole epäilystäkään, etteikö puu soveltuisi kerrostalorakentamiseen. Osaavia tekijöitä koulutetaan eripuolilla Suomen koululaitoksissa. Suomessa kaivataan puukerrostalojen suunnittelijoita yhä enemmän ja enemmän. Onneksi tilanne alkaa tasaantua ja kysyntään on vastattu. Aika näyttää puukerrostalojen kehityksen, parinkymmenen vuoden päästä puu tulee ehkä ohittamaan betonin kerrostalojen rakentamisessa.

LÄHTEET

- CLT-info. 2017. CLT – massiivipuुरakentaminen. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi/tuote/clt-massiivipuुरakentaminen/>
- CLT-info. 2017. Tekniset tiedot. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/>
- LEVONEN, Janne. LVL esitys digipuu-seminaari 28.4.2016. Saatavissa: http://www.win-hanke.fi/images/LVL_esitys_Jussi_Levonen_DigiPuu-seminaari_Savonia-amk_28.4.2016.pdf
- MYLLY, Martti. CLT-esitys DigiPuu-seminaarissa 28.4.2017. Saatavissa: http://www.win-hanke.fi/images/CLT-esitys_Martti_Myly_DigiPuu-seminaari_Savonia-amk_28.4.2016.pdf
- Puuinfo. 2017. Avoin rakennejärjestelmä - suunnitteluperusteet. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-suunnitteluperusteet/suunnitteluperusteetkokoohje.pdf>
- Puuinfo. 2017. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puustarakentaminen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>
- Puuinfo.fi [Verkkoaineisto]. [viitattu 2017-03-17] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> Polku: Puuinfo.fi. Suunnitteluohjeet. Liimapuukäsikirja osa 1
- Puuinfo.fi [Verkkoaineisto]. [viitattu 2017-03-19] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> Polku: Puuinfo.fi. Tuotteet. LVL by Stora Enso.
- TOLPPANEN, Janne, KARJALAINEN, Markku, LAHTELA, Tero ja VILJAKAINEN, Mikko. 2013. Suomalainen puukerrostalo. Opetushallitus
- Win-hanke. 2017. LVL- ja CLT-rakentaminen. Saatavissa: http://www.win-hanke.fi/images/LVL-_ja_CLT-rakentaminen.pdf
- Ym.fi [Verkkoaineisto]. [viitattu 2017-03-23] Saatavissa: <http://www.ym.fi> Polku: ym.fi. Maankäyttö ja rakentaminen. Ohjelmat ja strategiat. Puurakentamisen toimenpideohjelma.

LIITTEET:

T-laatu

Ominaisuus		Yksikkö	Suunnittelu- arvot
Taivutuslujuus: Syrjällään (EN 408)	$f_{m,0,k}$	N/mm ²	27
Taivutuslujuus: kokovaikutusekspONENTTI	s	N/mm ²	0,15
Taivutuslujuus: Lappeellaan (EN 408)	$f_{m,flat,k}$	N/mm ²	32
Vetolujuus: Syiden suuntaan (EN 408)	$f_{t,0,k}$	N/mm ²	24
Puristuslujuus: Syiden suuntaan (EN 408)	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	26
Kimmokerroin	$E_{0,mean}$	N/mm ²	10 000
	$E_{0,k}$	N/mm ²	8 800
Tiheys	ρ_{mean}	kg/m ³	440
	ρ_k	kg/m ³	410

S-laatu

Ominaisuus		Yksikkö	Suunnittelu- arvot (24-51 mm)
Taivutuslujuus, syrjällään	$f_{m,0,k}$	N/mm ²	44
KokovaikutusekspONENTTI	s	N/mm ²	0,15
Taivutuslujuus, lappeellaan	$f_{m,flat,k}$	N/mm ²	50
Vetolujuus, syiden suuntaan	$f_{t,0,k}$	N/mm ²	33
Vetolujuus, kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm ²	0,8
Puristuslujuus, syiden suuntaan	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	35
Puristuslujuus, kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm ²	6
Leikkauslujuus, syrjällään	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm ²	4,1
Leikkauslujuus, lappeellaan	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm ²	2,3
Kimmokerroin	$E_{0,mean}$	N/mm ²	13 800
	$E_{0,k}$	N/mm ²	11 600
Liukkerroin, syrjällään	$G_{edge,mean}$	N/mm ²	600
	$G_{edge,k}$	N/mm ²	400
Tiheys	ρ_{mean}	kg/m ³	510
	ρ_k	kg/m ³	480

X-laatu

Ominaisuus		Yksikkö	Suunnittelu- arvot (24-69 mm)
Taivutuslujuus, syrjällään	$f_{m,0,k}$	N/mm ²	32
Taivutuslujuus, lappeellaan, syiden suuntaan	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm ²	36
KokovaikutusekspONENTTI	s		0,15
Puristuslujuus, syiden suuntaan	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	26
Puristuslujuus, kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm ²	9
Vetolujuus, syiden suuntaan	$f_{t,0,k}$	N/mm ²	26
Vetolujuus, kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm ²	6
Kimmokerroin, syiden suuntaan	$E_{0,mean}$	N/mm ²	10 500
Kimmokerroin, syiden suuntaan	$E_{0,k}$	N/mm ²	8 800
Kimmokerroin, syitä vastaan	$E_{90,edge,mean}$	N/mm ²	2 400
Leikkauslujuus, lappeellaan, syiden suuntaan	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm ²	1,3
Leikkauslujuus, syrjällään	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm ²	4,5
Liukkerroin; syrjällään	$G_{edge,mean}$	N/mm ²	600
	$G_{edge,k}$	N/mm ²	400
lappeellaan	$G_{flat,mean}$	N/mm ²	120
	$G_{flat,k}$	N/mm ²	100
Tiheys	ρ_{mean}	kg/m ³	510
	ρ_k	kg/m ³	480

Taulukko 4. Luokan M1 vaatimukset.

- Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio (TVOC) on alle 0,2 mg/m²h. Yhdisteistä on tunnistettava vähintään 70 %.
 - Formaldehydin (H₂CO) emissio on alle 0,05 mg/m²h.
 - Ammoniakin (NH₃) emissio on alle 0,03 mg/m²h.
 - IARC:n luokittelun mukaisten luokkaan 1 kuuluvien karsinogeenisten aineiden (WHO 1987) emissio on alle 0,005 mg/m²h.
 - Materiaali ei haise (hajuun tyytymättömien osuus on alle 15 %).
 - Laastit, tasoitteet ja siloitteet eivät saa sisältää kaseiinia.
-

Taulukko 5. Luokan M2 vaatimukset.

- Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio (TVOC) on alle 0,4 mg/m²h. Yhdisteistä on tunnistettava vähintään 70 %.
 - Formaldehydin (H₂CO) emissio on alle 0,125 mg/m²h.
 - Ammoniakin (NH₃) emissio on alle 0,06 mg/m²h.
 - IARC:n luokittelun mukaisten luokkaan 1 kuuluvien karsinogeenisten aineiden (WHO 1987) emissio on alle 0,005 mg/m²h.
 - Materiaali ei haise merkittävästi (hajuun tyytymättömien osuus on alle 30 %).
 - Laastit, tasoitteet ja siloitteet eivät saa sisältää kaseiinia.
-