



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LVL-LIITOKSEN TYÖMAA- TEKNINEN KEHITTÄMINEN

Savonia-ammattikorkeakoulu

TEKIJÄ: Jani Kaipainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Jani kaipiainen			
Työn nimi LVL-liitoksen työmaatekninen kehittäminen			
Päiväys	17.4.2018	Sivumäärä/Liitteet	37/19
Ohjaaja(t) lehtori Hannu Haaranen, yliopettaja Arto Puurula			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) WIN-hanke			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uutta LVL-liitos tapaa ja etsiä liitokselle mahdollisia kehityskohtia. Lisäksi tehtävänä oli tutkia liitoksen toteutusta työmaalla. Työ on osa suurempaa WIN (Wood Innovation Network) -hanketta. Liitostekniikat perustuvat 2017 keväällä tehtyihin esikokeisiin, jossa kuormitettiin teräslevyn ja LVL-kappaleen 13 ruuviliitosta.</p> <p>Lujuuskokeita varten valmistettiin yhteensä 20 testikappaletta. Testikappaleita oli neljää eri tyyppiä. Työssä suoritettiin lujuuskokeet sekä 15 ruuviliitos että 29 ruuviliitoksille. Lujuuskokeiden tarkoituksena oli selvittää kestävin tapa koota liitos. Lujuuskokeiden lisäksi selvitettiin LVL-levyn reunapuristuslujuus ja käytettyjen ruuvien myötömomentti. Kun kestävin liitos oli saatu selville, työssä tutkittiin liitoksen toteutusta työmaalla. Työmaatoteutuksessa selvitettiin elementtiasennus kokonaisuudessa ja mitä asioita asennusvaiheen alusta lähtien täytyisi ottaa huomioon liitoksen toteutukseen.</p> <p>Työn tuloksina saatiin tulostaulukot ja kuvaajat lujuuskokeista. Lujuuskokeiden perusteella vahvimaksi liitokseksi valikoitui 29 ruuviliitos eli kahden ruuviliitoksen liitos, jossa veto tapahtui puun syysuuntaisesti. Kesällä 2018 on ensimmäiset puuelementit kokeilussa, jossa käytetään uutta liitostapaa. Uutta kokeilua varten on esitetty työssä liitoksen työmaatoteutusta, liitoksen hyviä ja huonoja puolia.</p>			
Avainsanat LVL, Lujuuskokeet, Puurakentaminen, Puukerrostalo, Työturvallisuus, Työmaakäytäntö			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author Jani Kaipainen			
Title of Thesis Development of an LVL-Joint From the Site Practice Point of View			
Date	17 April, 2018	Pages/Appendices	37/19
Supervisor(s) Mr. Hannu Haaranen, Senior Lecturer; Mr Arto Puurula, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners WIN (Wood Innovation Network) -project			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to test the new LVL- (Laminated Veneer Lumber) joint method and look for potential development points for the joint as well as to examine how the joint is made on the site. The project is part of a larger WIN-project. The strength tests are based on pre-tests made in the spring 2017.</p> <p>A total of 20 test pieces were prepared for strength tests. There were four different types of test pieces. Strength tests for both 15 and 29 screw connections were performed. The purpose of the strength tests was to find out the most durable way to assemble the joint. In addition to the strength tests, the edge compression strength of the LVL plate and the torque of the used screws were investigated. When the most durable joint was found the implementation of the joint was examined on the site. In the site design, the erection was explained by elements and which issues from the beginning of the installation phase should be taken into account in the implementation of the joint.</p> <p>As a result of the project there were a result sheet and graphs of strength tests. Based on the strength tests, 29 screw joints were selected for the strongest, or the joint of two screw lines where the tension was done parallel to the wood fiber. In the summer 2018 the first elements where a new connection method is used will be tested. For the new experiment the joint site practices, the good and the bad sides of the joint are presented in practice.</p>			
<p>Keywords LVL, strength test, timber construction, tree apartment house, safety at work</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
1.1	Yhteistyökumppanit .....	5
2	VIILUPUU JA LUJUUSKOKEET .....	6
2.1	Suomalainen viilupuu .....	6
2.2	Puukerrostalot .....	7
2.3	Lujuuskokeet .....	9
2.3.1	Lähtötiedot .....	9
2.3.2	Koekappaleiden valmistus .....	11
2.3.3	Liitoksen testaaminen .....	14
2.3.4	Ruuvien myötömomentti .....	15
2.3.5	Reunapuristuslujuus .....	15
2.3.6	Lujuuskokeiden tulokset .....	16
3	LIITOS JA TOTEUTUS .....	19
3.1	Puuelementti liitoksen toteuttaminen työmaalla .....	19
3.2	Testatun liitoksen työmaatoteutus .....	20
3.3	Työmaakäytäntö .....	22
3.3.1	Työturvallisuus .....	25
3.3.2	Laatu .....	26
3.3.3	Aikataulu .....	27
3.3.4	Kustannukset .....	28
4	YHTEENVETO .....	30
4.1	Liitoksen kehitys .....	30
4.2	Liitoksen teossa huomioitavaa .....	31
4.3	Liitoksen ongelmia .....	31
4.4	Liitoksen hyviä puolia .....	32
5	POHDINTA .....	33
	LÄHTEET .....	34
	LIITE 1: LUJUUSKOKEIDEN TULOKSET .....	37

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni perehdyn LVL-liitoksen kehittämiseen. Tarkoitukseni on saada selville liitoksesta sen hyviä ja huonoja puolia, lisäksi pohdin sen mahdollisia kehitysideita. Työni on osa suurempaa WIN-hanketta. Hankkeessa on mukana myös rakennustekniikan opiskelija Sini Miettinen, jonka opinnäytetyön aihe on ”Puukerrostalon rakennejärjestelmät: LVL-liitoskokeet”. Suoritimme yhdessä työssä olevat LVL-liitoksen lujuuskokeet. Lisäksi testasimme ruuvien myötömomentti kestävyyttä ja LVL-levyn reunapuristuslujuutta. Opinnäytetyön aiheen sain ohjaavan opettajani kautta. Tilaaja antoi ohjeistuksen koota LVL-liitos neljällä eri tavalla ja toteuttaa näille kaikille liitoksille lujuuskokeet. Liitoskokeiden tulokset toimitettiin ohjaavan opettajan Arto Puurulan kautta tutkija Per Anders Daergalle, jolta saimme lisäohjeistusta kokeisiin liittyen. Liitosten kokoamisvaiheessa saimme työskennellä Savonia-ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Laboratorio kokeissa ohjaajana toimi laboratorioinsinööri Juha Lehtikanto

Tavoitteena on saada vastaukset seuraaviin kysymyksiin. Mikä liitoksista on vahvin lujuuskokeiden perusteella. Liituskappaleita valmistaessa pohdin, kuinka liitos toteutettaisiin työmaalla. Samalla tarkastelen muita työmaakäytäntöjä puurakentamiseen liittyen. Tarkoituksena on myös tutkia seikkoja työturvallisuuteen, laatuun, kustannuksiin ja aikatauluun liittyen, joita liitoksen teosta syntyy.

Työ aloitetaan liituskappaleiden valmistamisella ja lujuuskokeiden suorittamalla. Lujuuskokeiden jälkeen suoritetaan ruuvien myötömomentin ja LVL-levyn reunapuristuskokeet. Suoritettuumme kokeet analysoimme saadut tulokset. Tulosten saannin jälkeen aloitan liitoksen työteknisen osuuden pohdinnan. Kun olen saanut kaikki tulokset koottua, pohdin liitoksen hyvät ja huonot puolet ja mahdolliset kehitysideat.

Työni tuloksina on tarkoitus saada selvyys liitoksen vetolujuudesta ja mikä tapa koota liitoksista on lujin. Tarkoitukseni on myös selvittää liitoksen toteutukseen liittyvät työtekniset seikat. Lisäksi esitän miksi juuri tämä liitostapa on hyvä ja mitä huonoja puolia siinä on.

### 1.1 Yhteistyökumppanit

Työn tilaaja WIN-hanke eli Wood Innovation Network. Hankkeen tavoitteena on Itä-Suomen alueella toimivien kehitys-, kasvu- ja muutoshaluisten yritysten sekä Itä-Suomen alueella toimivan puualan innovaatioverkoston uusiutuminen yhteistyön avulla ja markkinoiden edellyttämällä tavalla. Tavoitteen saavuttamiseksi ja kansainvälistymisen lisäämiseksi suositaan vähähiilistä ratkaisua. (win-hanke.fi).

WIN hankkeen toteuttavat kolmen Itä-Suomen alueella yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun (koordinaattori), Karelia-ammattikorkeakoulu, Aluekehityssäätiön, Navitas kehitys Oy, Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy, Savonlinnan Yrityspalvelut Oy ja Kehitysyritys SavoGrow Oy. (win-hanke.fi).

## 2 VIILUPUU JA LUJUUSKOKEET

Suomen yksi suurimmista luonnosvaroista on metsät ja niiden hyödyntäminen niin teollisesti kuin rakentamisessa on taloudellisesti tärkeää. Metsämme hoidetaan tehokkaasti ja käytämme ainoastaan noin 2/3 metsiemme käyttömahdollisuudesta. Puurakentamisen lisääminen onkin yksi merkittävimmistä puun käytön lisäämisen mahdollisuuksista. Puurakentaminen ei olisi ainoastaan kotimaisten markkinoiden mahdollisuus vaan sen lisääminen viennissä oli myös suuri potentiaalinen kohde. Ennen viennin lisäämistä meidän täytyy kumminkin onnistua kotimaassa ja saada täällä hyviä esimerkkejä kohteita ennen markkinoiden lisäämistä. (Puuinfo.fi.)

### 2.1 Suomalainen viilupuu

LVL eli viilupuu on jatkojalostettu teollinen puutuote, jonka käyttökohteita on niin uudis- kuin korjausrakentamisessa. LVL:n hyviä puolia on se, että se on materiaalina kevyt, mutta silti luja materiaali. LVL:n rakenne on kerroksellinen ja tästä syystä se on tasalaatuinen ja mittapysyvä. Materiaaliksi LVL:llä on erinomainen kuormankantokyky ja työstettävyys. (puuinfo.fi.)



KUVA 1. LVL-levy (ultralam.com)

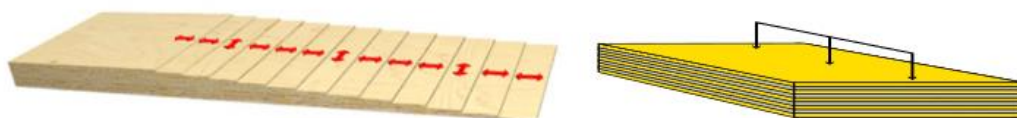
#### LVL:n käyttökohteet

- Pilari- ja palkkirakenteet
- I-palkit
- seinärungot ja väliseinätolpat
- väli- ja yläpohjaelementit
- alapohjaelementit
- runkokehät
- kattojen jatkeet
- ikkunan puitteet
- ulkorakenteet
- valumuotit.

LVL tuotevalikoimaa on saatavissa kolmea eri laatua: S, X ja T.

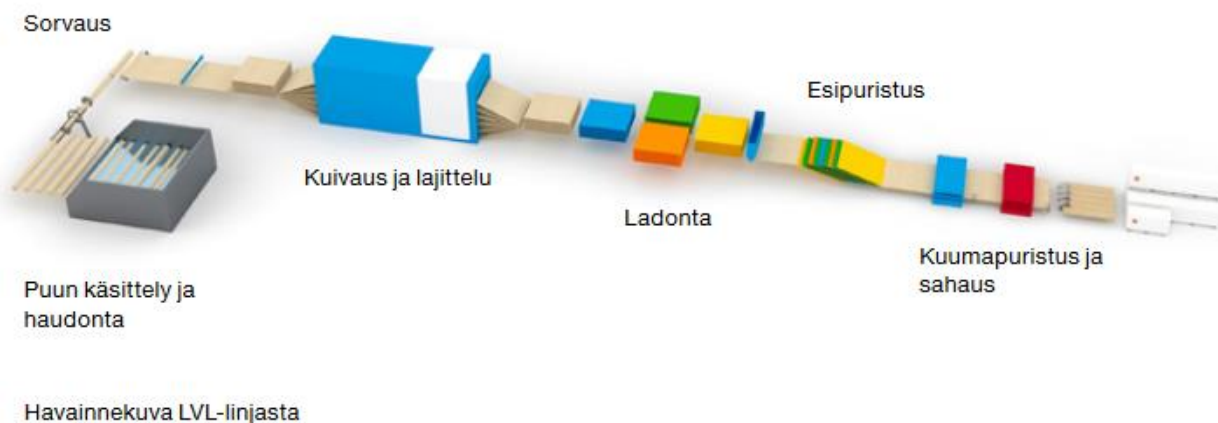
S-laadussa viilujen syysuunta on pitkittäinen, tämä ominaisuus parantaa materiaalin ominaisuuksia syysuunnassa. Sen sijaan kohtisuoraan syitä vastaan ominaisuuden ovat huonommat. S-laadulla on paljon käyttökohteita, sitä voidaan käyttää niin valumuoteissa kuin runkorakentamisessa palkkeihin tai kattorakenteisiin.

X-laadussa osa viiluista liimataan ristiin. Tällöin materiaalille saadaan parempi mittapysyvyys ja ominaisuudet levy- ja laattakäyttöön paranevat. X-laatu sopii ominaisuuksien johdosta parhaiten välipohja- tai kattorakenteisiin, jossa vaaditaan pitkiä jännevälejä.



KUVA 2. LVL-levy x-laatu sama, mitä käytettiin testeissä. (storaenso.com)

T-laadussa viilujen suunta on pitkittäinen. Tällöin eduiksi muodostuu rakenteen jäykkyys, mittatarkkuus ja kieroutumattomuus. T-laatu sopii parhaiten kohteisiin, jossa vaaditaan kevyttä ja suoruutta. Yleisin käyttökohde T-laadulla onkin väliseinätolpat. (storaenso.com.)



KUVA 3. Havainnekuva LVL-linjasta. (Storaenso.com)

## 2.2 Puukerrostalot

Puukerrostaloksi määritellään rakennus, jossa kantavat rakenteet ovat pääosin puuta. Julkisivu verhouksena materiaalina voi olla puu, mutta se ei ole välttämätön. Puukerrostalon julkisivuverhous voi olla tiiliverhottu ja se silti luokitellaan puukerrostaloksi. Pintamateriaalina voidaan käyttää samoja pintamateriaaleja, kuin muissakin kerrostaloissa. Tällöin käytön aiheuttama kuluminen on samanlaista.

Palomääräyksen ovat rajoittaneet puukerrostaloissa näkyviin jäävän puun osuutta. Uudistuneen palomääräyksen ansiosta puuta voidaan jättää näkyviin 20 prosenttia huoneiston seinä- ja kattopinna. Nostamalla kantavuusvaatimusta 90 minuuttiin puupintaa saadaan näkyviin jopa 80 prosenttia. Kantamattomat väliseinät ja lattiat voivat olla lisäksi vielä puupintaisia. (Mölsä 2017-11-28). Lisäksi palomääräyksissä määrätään, että puukerrostaloissa on oltava sprinklausjärjestelmä. (Tolppanen, Karjalaine, Lahtela ja Viljakainen 2013, 10-11).

Puukerrostalojen yleisimmin käytetty runkojärjestelmä on kantaviin seiniin perustuva kerroksittainen järjestelmä. Kantavat seinät voidaan toteuttaa rankarunkoisena tai vaihtoehtoisesti käytetään massiivipuulementtejä. Puinen välipohja mahdollistaa noin 7 metrin jännevälin. Kantavilla seinillä tehtävässä rungossa kantavat linjat ovat tavallisesti kerrostalon ulkoseinissä ja osa väliseinistä. Kantavat väliseinät ovat tavallisesti huoneistojen väliset seinät. Huoneistot pyritään suunnittelemaan siten, että ne olisivat muuntojoustavia, joten huoneistojen sisäisiä kantavia seiniä pyritään välttämään. Jäykistys kyseisessä runkojärjestelmässä hoidetaan jäykistävillä laattarakenteilla ja lisäksi osa seinistä on jäykistäviä.

Puurunkoinen rakennuksen yleisin rakennustapa on rankarunkoinen suurelementti. Korkeammissa rakennuksissa seinän runko tehdään liima- tai kertopuusta. Tällä menetelmällä voidaan rakentaa yli nelikerroksisen korkuisia rakennuksia. Ei-kantavat seinät ovat rakenneperiaatteeltaan samantapaisia, kuin kantavat seinät. Välipohjarakenne voi olla rankarakenteinen palkkivälipohja, kotelo- tai ripplaatta. Jännemittoja voidaan lisätä betonin ja puun liittorakenteella, jolloin kyseessä on hybridirakenne.

Pilari-palkkijärjestelmä rakennuksen runko koostuu pilareista ja palkeista, joiden materiaalina toimii liima- tai kertopuu. Väli- ja yläpohjat sekä ulkoseinät tukeutuvat näihin rakenteisiin. Jäykistys tapahtuu vinositein, jäykkien liitosten avulla tai mastopilarein. Pilari-palkkijärjestelmän etuina on avoin ja muuntojoustava pohjaratkaisu, lisäksi järjestelmä mahdollistaa suurten aukkojen tekemisen julkisivuun. Järjestelmän yhdenmukaisuus pystyrakenteissa vähentää painumien muodostumisen rakenteessa. Ulkoseinät muodostuvat pilari-palkkirakenteessa kevyistä suurelementeistä. Kuitenkin elementtien eristepaksuus ja ulkoverhousmateriaalit ovat valittavissa. Pilari-palkkirungon työmaavaihe on erittäin nopea. Vesikatko voidaan yksinkertaisissa kohteissa saada valmiiksi jopa muutamissa päivissä, jolloin rakennus on sääsuojattu. (Tolppanen ym. 2013, 39-50).

Tilaelementtitekniikassa rakennus kootaan erillisinä yksiköinä tehdasolosuhteissa ja kuljetetaan valmiina yksiköinä suoraan työmaalle. Tilaelementin muodostuu kantavasta rungosta ja siitä rajautuvista pinnoista, kuten valmiista seinistä, lattiasta ja katosta. Tilaelementtien kantavan rungon mahdollisuuksia on monia. Runko voidaan tehdä pilari-palkkitekniikalla, kehärakenteella tai laattamaisilla suurelementeillä. Tilaelementin suurimpia hyötyjä on, että kaksoisrakenteensa ansiosta rakenne säävuttaa loistavan äänieristyksen. Lisäksi tehdasolosuhteissa valmistetut yksiköt ovat erittäin nopeita koota työmaalla, jolloin rakennuksen säältä suojaamisaika jää mahdollisimman lyhyeksi. Nopeutensa vuoksi järjestelmää käytetään täydentämISRakentamisessa ja esimerkiksi lisäkerrosten tekemisessä. Puukerrostalon hyödyt



- Hygroσκοoppinen käyttäytyminen
- Ekologisuus
- Tiivis rakenne ilman höyrinsulku
- Vähäinen kylmäsiltojen määrä
- Hyvät muodonmuutosominaisuudet
- Hyvä rakenteellinen kantavuus ja jäykkyys
- Keveys ja lujuus mahdollistaen esim. tilaelementit
- CNC-työstöt → erittäin hyvä mittatarkkuus
- Nopea runkovaihe
- Nopea rakentamisen kokonaisaika
- Kokonaistaloudellinen ja kilpailukykyinen

(Tolppanen ym. 2013, 39-50; tts työtehoseura)

## 2.3 Lujuuskokeet

Lujuuskokeiden tarkoituksena oli selvittää meille annetusta liitostavasta neljän eri kokoamistavan kestävin tapa. kestävin liitosta olisi tarkoitus hyödyntää LVL-seinäelementtien kiinnityksessä. LVL-levystä tehtyjä testikappaleita testattiin sekä puun syysuuta vastaan, että syysuuntaisesti. Lisäksi saimme tehtäväksi selvittää käytettyjen ruuvien myötömomentin. Testasimme myös käytetyn LVL-levyn reunapuristuslujuuden.

### 2.3.1 Lähtötiedot

Opinnäytetyössäni suoritettavat kokeet perustuvat keväällä 2017 tehtyihin esikokeisiin, jossa kuormitettiin teräslevyn ja LVL-kappaleen 13 ruuvilla liitosta. Työni kokeissa suoritettiin lujuuskokeet neljälle eri liitoksen kokoamistavalle. Kokoamistavat on eritelty alla olevissa luetteloissa, joissa jokaiselle tyyppille on annettu testitunnukset. Testeihin saadut tekniset tiedot saimme ohjaavalta opettajalta Arto Puurulalta. Koejärjestelyihin ohjeet saimme tutkija Per Anders Daergalta. Kappaleiden valmistuksessa työtämme ohjeisti Juha Lehtikanto.

Materiaalit ja työvälineet:

- LVL-levy, X-tyyppi (mitat:
- Metallilevy:
- Ankkuriruuvi 5.0 x 45 (TX20)
- Pylväsporakone
- Akkuporakone
- Pyörösaha
- Fiskars-kuormituskone
- Mittakellot x 2
- Action kamera x 2

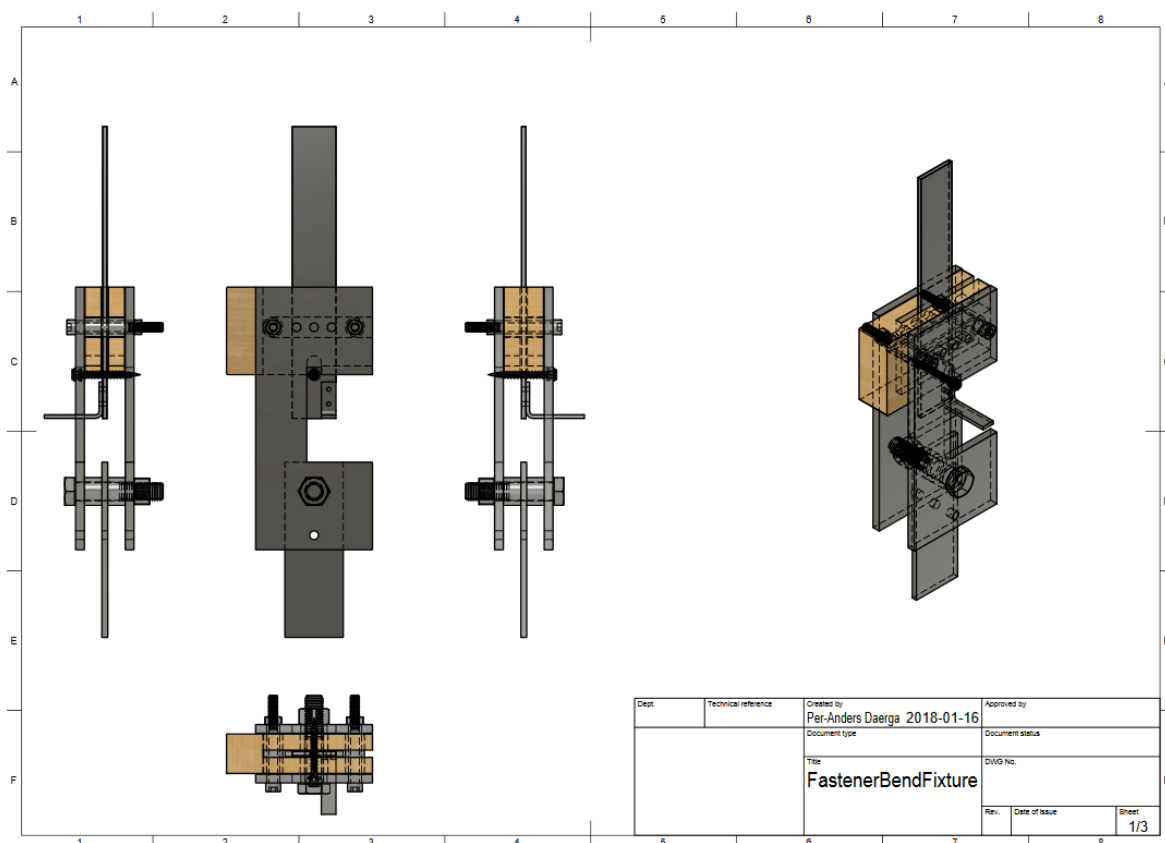
Liitostyyppit:

- 15 ruuvia, 1 rivi, testaus syysuuntaan → 5 koekappaletta, testeissä tunnuksella A

- 15 ruuvia, 1 rivi, testaus kohtisuoraan syitä vastaan → 5 koekappaletta, testeissä tunnuksella B
- 29 ruuvia, 2 riviä, testaus syysuuntaan → 5 koekappaletta, testeissä tunnuksella C
- 29 ruuvia, 2 riviä, testaus kohtisuoraan syitä vastaan → 5 koekappaletta, testeissä tunnuksella F

Lisäksi viidelle kappaleelle suoritettiin kosteuspitoisuuden tarkastus kuivatusmenetelmällä. Liitoskappaleista leikattiin puupalaset, jotka laitettiin uuniin kuivamaan 103 asteeseen kahdeksi vuorokaudeksi. Kosteuspitoisuuden tarkastuksen ideana oli varmistaa, ettei kappaleet olleet muuttaneet kosteuttaan välisäilytyksessä ennen lujuuskokeiden suorittamista. Testauspaikkana kokeissa toimi Savonia puulaboratorio.

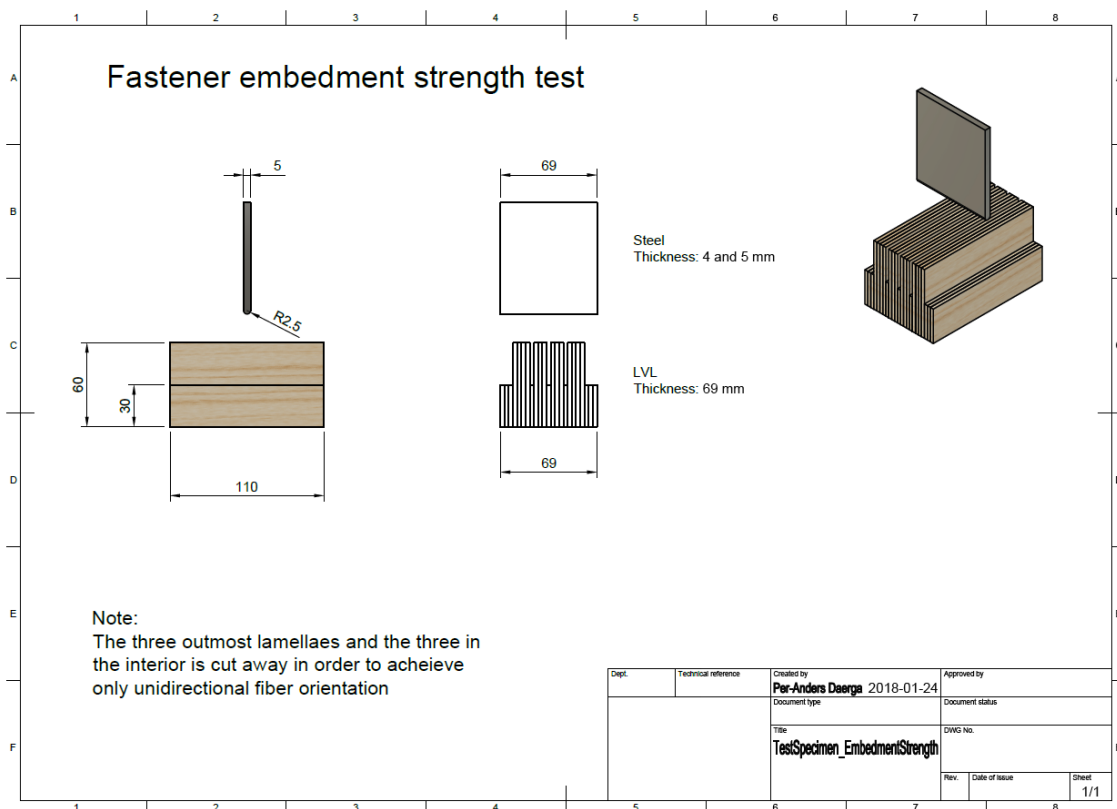
Ruuvien myötömomentin selvitykseen liittyvät kokeet suoritettiin alkuvuodesta 2018. Kokeiden tarkoituksena oli saada selville, kuinka suurella voimalla liitoksissa olevia ruuveja voidaan kuormittaa ja kuinka suuri voima on, kun ruuvit alkavat myötäämään. Ruuvikokeita suoritettiin yhteensä 10 kappaletta. Testeissä käytettiin esivalmistettua laitetta, jolla saimme testattua ruuvit. Kokeisiin liittyvä testausalusta saatiin ohjaavan opettajan välityksellä Per Anders Daerga:lta



KUVA 4. Ruuvien myötömomentti kokeessa käytettävän testauslaitteen periaatekuvat. (Daerga 2018-01-16)

Reunapuristus kokeissa testattiin LVL-kappaleen reunapuristuslujuutta sekä puun syysuuntaisesti, että syysuita vastaan. Reunapuristus kokeessa kuvasimme ruuvien painumista puuhun. Kokeessa ruuvit oli korvattu 4 ja 5 mm teräslevyllä, joidenka puuhun painettava reuna oli pyöristetty 2 ja 2.5

mm säteellä. Kokeita suoritimme yhteensä 20 kappaletta. 5 kappaletta 5mm levyllä puunsyitä vastaan ja syynsuuntaisesti, jolloin 5mm levyllä suoritettujen testien määräksi tuli 10 kappaletta.



Kuva 5. Reunapuristuskokeen lähtötiedot. (Daerga 2018-01-24)

### 2.3.2 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleiden valmistelu aloitettiin syksyllä 2017 yhdessä Sini Miettisen kanssa. Koekappaleita valmistaessa työturvallisuus oli yksi tärkeimmistä asioista. Turvallisuudesta huomioimme työpaikkojen siisteyden ja oikeat työskentelytavat. Lisäksi varmistimme ohjaajalta oikeaoppiset laitteiden käytöt.

Koekappaleiden valmistaminen aloitettiin sahaamalla kappaleet oikean kokoisiksi ja sahaamalla LVL-levyyn ura, jotta voimme asentaa metallilevyn siihen. Yhden ruuvirivin liitoksissa ruuvien reunaetäisyys oli 30 mm ja ruuvien etäisyys toisistaan oli 20 mm. Kahden ruuvirivin liitoksissa ensimmäisen rivin etäisyys oli 30 mm ja toisen rivin etäisyys oli 70mm. Kaikissa liitoksissa olevat esireiät tehtiin 4.3 mm poranterällä.



KUVA 6. Vasemmalla mitaan sahatut LVL-kappaleet. (Miettinen 2017-10-02)

KUVA 7. Oikealla liitoksen esireikien poraaminen. (Miettinen 2017-10-02)

Kun liitosten esireiät oli saatu porattua, voitiin liitoksen ruuvaaminen aloittaa. Yhden ruuvirivin kappaleissa ruuvien määrä oli 15 ja kahden rivin kappaleissa 29. Ruuvit olivat 5.0 mm paksuja ja 45 mm pitkiä. Ruuvit porattiin siten, että niiden kanta upotettiin ~30 mm LVL-levyn sisälle. Ruuvien upottamisella on tarkoituksenaan helpottaa liitoksen palonsuojausta. Kun ruuvit on upotettu niin palosuojaukseksi riittää, että ruuvien tekemät kolot palo kitataan.



KUVA 8. Ruuvien poraaminen aloitettu. (Kaipiainen 2017-10-02)

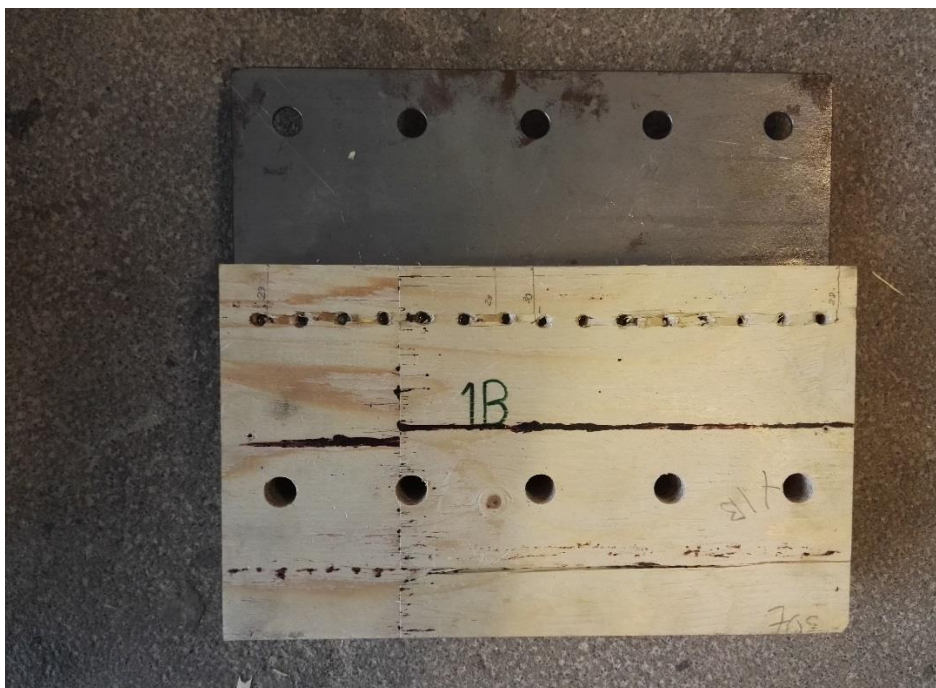
Ruuvauksen jälkeen porasimme 16mm reiät LVL-levyn alareunaan, josta saimme kiinnitettyä kappaleen kuormituskoneeseen. Ennen reikien poraamista kiinnitimme LVL-levyyn teräslevyn, jonka läpi porasimme reiät. Levyn tarkoituksena oli helpottaa reikien poraamista oikeille paikoille ja kappaleiden samanlaisuuden varmistaminen. Alla olevassa kuvassa (9) näkyy, kuinka kappale on kiinnitetty

ruuvipuristimilla työtasoon. Ruuvipuristimien tarkoituksena oli lisätä turvallisuutta, ettei kappale pääse pyörähtämään tai tippumaan porausta tehdessä.



KUVA 9. LVL-liitosten kiinnitysreikien poraaminen. (Miettinen 2017-10-02)

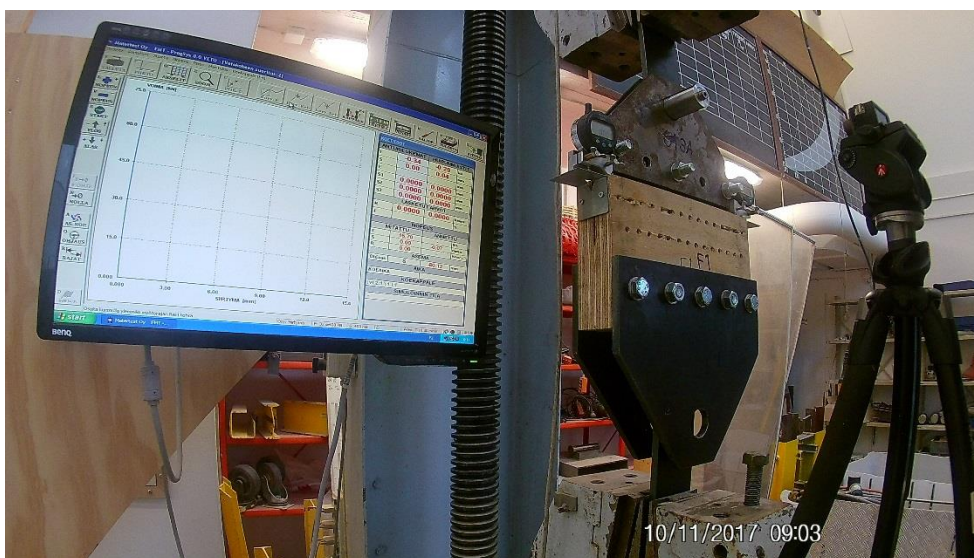
Kiinnitysreikien poraamisen jälkeen varmistimme kappaleiden mitat ja ruuvien paikat, jos mitoissa oli poikkeavuutta, merkkasimme ne kappaleisiin. Merkkauksen tarkoituksena oli se, että näimme lujuuskokeen aikana ja jälkikäteen videoista, jos kappale hajosi kohdasta, jossa ruuvit olivat ns. vääräkohdassa. Lisäksi merkitsimme kappaleisiin tunnuksia ja kuvasimme kappaleet, että emme sekoita kappaleita lujuuskokeissa. Valmiit kappaleet pyrittiin säilyttämään mahdollisimman kauan puulaboratorion tiloissa, jossa kosteus pitoisuus pidetään samana. Tällä varmistimme, että kosteuden muutos ei vaikuta testi tuloksiimme.



KUVA 10. Valmis testikappale lujuuskokeisiin. (Miettinen 2017-10-27)

### 2.3.3 Liitoksen testaaminen

Liitosten lujuuskokeet suoritimme Fiskars-lujuuskoneella. Ennen varsinaisia kokeita suoritimme lujuuskokeiden valmistelut, missä tarkistimme koneen ja laitteiden toimivuuden. Lisäksi järjestelimme tilaan tarvittavat suojat ja yleinen järjestys siten, että kokeiden suorittaminen on turvallista. Kokeet kuvattiin kahdella actionkameralla, josta saimme mittakellojen tulokset ja voimat kirjattua jälkikäteen.



KUVA 11. Koejärjestely lujuuskokeissa (Kaipiainen 2017-11-10)

Lujuuskokeet aloitettiin kappaleen kiinnityksellä kiinnityslevyihin, joka pystyttiin tämän jälkeen kiinnittämään testipaikkaan. Kuvassa (numero) näkyy, kuinka kappale on kiinnitetty koneeseen. Kun kappale oli saatu kiinnitettyä ja varmistimme, että kaikki kamerat ovat päällä ja tulokset kirjautuvat oikein. Kaikkien tarkastusten jälkeen aloitimme kokeen. Lujuuskokeiden aikana tarkastelimme liitok-

sen käyttäytymistä ja murtumista. Tarkastelimme kappaleen murruttua, oliko puu vai ruuvit antaneet periksi. Kappaleet irrotettiin koejärjestelystä ja kaikki kappaleet kuvattiin vielä kokeen jälkeen, jossa esitettiin liitoksenmurtumat. Lujuuskokeiden jälkeen suoritimme vielä viidelle kappaleelle kuivatuksen ja tarkastimme kappaleiden kosteuspitoisuuden. Kosteuspitoisuuden määrittämistä varten kappaleista piti leikata pyörösahalla kappaleet, jotka voitiin punnita ja kuivata uunissa.

#### 2.3.4 Ruuvien myötömomentti

Ruuvien myötömomentin selvittämiseksi olimme saaneet esivalmistetun testilaitteen, mutta laitteessa oleva puukappale täytyi valmistaa saatujen tietojen avulla. Lisäksi testipaikka täytyi valmistella ja koejärjestely testata ennen varsinaisia kokeita. Testauksien ideana oli varmistaa, että testilaitteen tulokset tallentuvat oikein tietokoneelle ja itse koe tapahtuu turvallisesti. Kun valmistelut olivat tehty, aloimme suorittaa virallista testiä. Teimme 10 ruuville testit ja kirjasimme tulokset ylös ja teimme näiden perusteella kuvaajat, josta tulokset oli helppo lukea.



KUVA 12. Ruuvikokeiden koejärjestelyt. (Kaipiainen 2018-03-16)

#### 2.3.5 Reunapuristuslujuus

Reunapuristuslujuuden selvittämiseksi valmistimme kokeisiin koekappaleet saatujen ohjeiden mukaisesti. Kokeet suoritettiin 4 ja 5 mm teräslevyillä. Kappaleiden valmistaminen aloitettiin sahaamalla LVL-levystä koekappaleet. Koekappaleista sahattiin "vääränsuuntaiset" viilut pois. Eli koekappaleesta missä testasimme reunapuristuskestävyyttä pystyviilujen suuntaisesti, sahasimme vaakaviilut pois ja toisissa koekappaleissa toisinpäin. Lopuksi nimesimme koekappaleet testejä varten. Koekappaleet nimettiin seuraavasti:

- 4 mm teräslevy puunsyiden suuntaisesti → 5 koekappaletta tunnuksella A
- 4 mm teräslevy puunsyitä vastaan → 5 koekappaletta tunnuksella C
- 5 mm teräslevy puunsyiden suuntaisesti → 5 koekappaletta tunnuksella B
- 5 mm teräslevy puunsyitä vastaan → 5 koekappaletta tunnuksella D

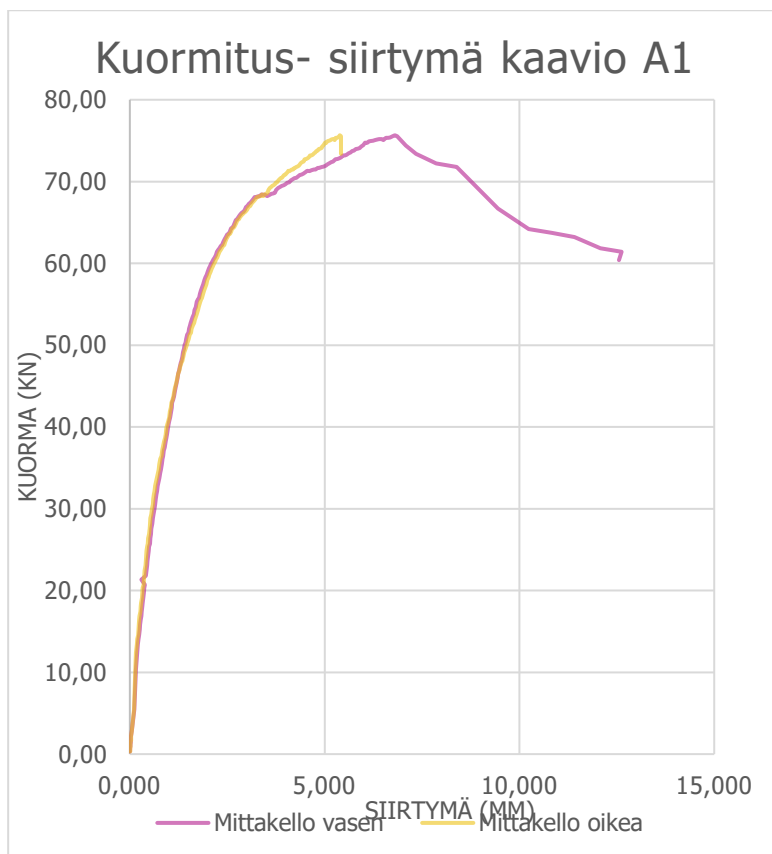


KUVA 13. LVL-levyn reunapuristuskokeen koearjestelyt. (Miettinen 2018-02-05)

### 2.3.6 Lujuuskokeiden tulokset

Liitosten lujuuskokeiden tulokset kerättiin Exceliin, jossa esitettiin mittakellojen siirtymä ja käytetty voima. Tulokset kerättiin kuvattujen videoiden perusteella. Keräsimme kokeen alkuvaiheen tulokset 5 sekunnin välein ja noin 10 sekuntia ennen saavutettua maksimi voimaa tulokset kirjattiin 1 sekunnin välein. Kirjasimme tuloksia niin kauan, kuin mittakellot olivat paikoillaan tai kun testi päättyi. Mittakellot jouduttiin irrottamaan tilanteissa, jossa liitos vääntyi niin paljon, että mittakello olisi saattanut mennä rikki. Saaduista tuloksista teimme kuvaajat, josta tuloksia on helpompi lukea. Kaikki kuvaajat löytyvät työni liitteenä (liite 1).





TAULUKKO 1. Liitoskappaleen A1 tulostaulukko.

Yleisesti saaduista tuloksista liitokset, joissa veto tapahtui syysuuntaisesti, kestivät paremmin. Yhden ruuvirivin kokeista kappaleet, jossa veto tapahtui puun syysuuntaisesti, kesti noin 40 % enemmän, kuin liitokset, jossa veto tapahtui kohtisuoraan syitä kohti. Kahden ruuvirivin liitoksissa ero oli hiukan pienempi noin 36 %. Kahden ruuvirivin kokeissa pienentynyt ero saattaa johtua siitä, että vahvempi liitos kesti niin hyvin, että liitos ei särkynyt ruuvien puolelta vaan kiinnityspulttien puolelta.



Kuva 12. Liitos kesti niin hyvin, että se hajosi kiinnityspulttien puolelta. (Miettinen 2017-11-06)

Testeissä kahdelle testikappaleelle kävi kuvassa (12) näkyvä tulos, eli liitos hajosi väärin. Reagoimme testeissä tilanteeseen ja seuraavissa liitoksissa kiristimme 5 pulttia 90Nm tiukkuuteen, jotta saatiin vahvistettua pulttiliitosta luomalla siihen momentti/kitkaliitos. Tuloksien tallentuminen onnistui pääosin hyvin, mutta osa videoista oli valottunut niin pahasti, että tulosten kirjaaminen oli epätarkkaa näitten videoiden osalta. Lisäksi liitoksen C2 video tallennus epäonnistui kokonaan, joten kyseisestä liitoksesta ei ole, kuin maksimivoima. Kokeiden perusteella saatiin kestävimmäksi liitokseksi liitostyyppi C, jota käytän esimerkkiliitoksena tutkiessani liitoksen työmaatoteutusta.

### 3 LIITOS JA TOTEUTUS

Puurakentamisessa liitosten vaatimukset määräytyvät yleisimmin kestävyys- ja rakentamismääräysten asettamien vaatimusten mukaan. Liitoksen suunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon työmaatekninen toteuttaminen, jotta liitos on mahdollinen toteuttaa ja asennustyö olisi sujuvaa. Liitokselle asetetut taloudelliset vaatimukset koskevat lähinnä liitoksen teon ja kaupankäynnin mahdollistamisesta aiheutuvia kustannuksia.

Liitoksen toiminnalliset vaatimukset:

- Liitos täytyy olla riittävän luja ja jäykkä, myös palotilanteessa
- liitoksen lämpö-, ääni- ja kosteustekniset ominaisuudet tulee olla määräysten mukaisia
- liitoksen tulee olla esteettisiä ja pitkäikäisiä.

Liitoksen Asennustekniset vaatimukset:

- Liitosten ja liitospintojen tulee olla mahdollisimman yksinkertaisia
- elementtien asennus ja liitosten teko työmaalla tulee olla turvallista ja helppoa
- liitosteknikoiden on mahdollistettava järjestelmän mukaisten vakio-osien käyttö
- rakenteiden pienet mittapoikkeamat eivät saa estää liitoksen toteuttamista

Liitoksen taloudelliset huomiot:

- Liitosten on mahdollistettava eri valmistajien tuotteiden yhteensopivuus ja erilaisten toteuttamistapojen yhdisteleminen
- liitoksen materiaali kustannukset koostuvat pääasiassa vakioituista liittimistä ja nivelistä
- liitosten yleiskustannuksia ovat nosto- ja siirtokalusto, lisäksi sääsuojista, valvonnasta, liitostyön nopeudesta ja tuennasta. (Puuinfo.fi.)

#### 3.1 Puuelementti liitoksen toteuttaminen työmaalla

Elementtien väliset liitokset ovat puurakentamisessa haasteellisempia, kuin betonirakentamisessa, koska puurakentamisessa liitoksen palosuojaus muodostuu ongelmalliseksi. Mahdollisuutena on suojata liitos ulkopuolisesti tai vaihtoehtoisesti sijoittaa liitos syvemälle elementtiin, jolloin puu muodostaa palosuojan. Tällöin ongelmaksi muodostuu kuitenkin liitoksen työmaatekninen toteuttaminen. Liitos pitäisi pystyä toteuttamaan elementin suojaan mittatarkasti, mutta kuitenkin itse liitosta näkemättä. (vasek.fi.)

Puurakentamisessa käytettävät liitokset koostuvat pääosin puuelementistä ja teräksisestä liitoslevystä. Elementtien tiivistäminen toteutetaan polyuretaanivaahdolla tai tiivistenauhalla. Elementtien sauman tiivistämisen ideana on estää ilmavirtaukset ja kylmäsiilat. Sauma-aineessa huomioitavia ominaisuuksia on riittävä lämmöneristys, vesihöyrynvastus ja ilmanpitävyys. PU-vaahdotuksessa huomioitavaa on, että liitokseen jää ilmataskuja. Jos saumassa on ilmataskuja tai epäjatkuvuuskohtia, ilma pääsee kulkemaan rakenteessa ja huonontaa seinän lämmöneristyskykyä. Lisäksi PU-vaahdossa ongelmana vaahdon murtuminen tilanteissa, jossa rakenne elää. Murtunut vahto ei eristä lämpöä ja

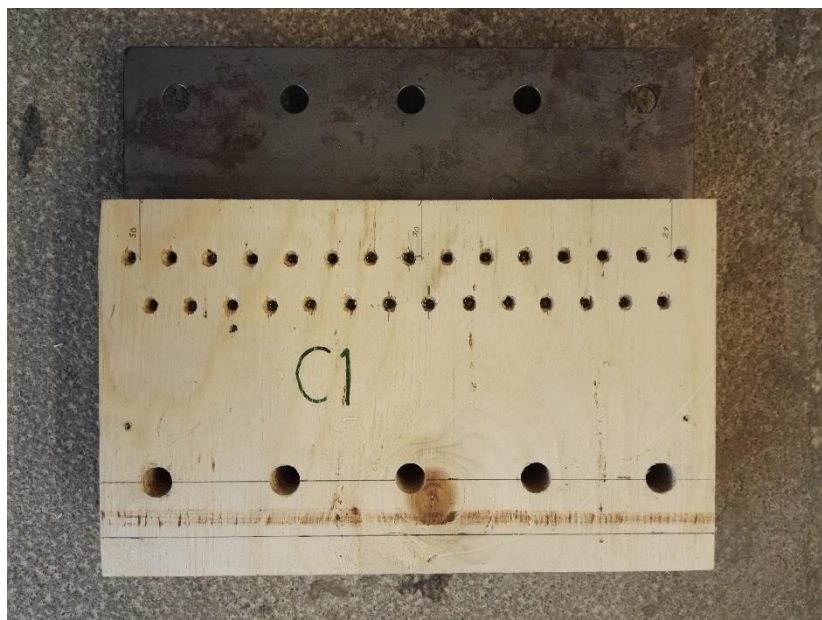
aiheuttaa tällöin kylmäsiltoja. Tiivistenauhalla toteutettu tiivistys voidaan suorittaa jo elementtitehtaalla, jossa nauha asennetaan elementin yläreunaan. Saumanauhaa käytettäessä on huomioitavaa, että nauha on tarpeeksi paksua. Nauha tulee valita siten, että nauha on hiukan paksumpaa kuin mitä täytettävä väli on. (vasek.fi.)

Liitoslevyn kiinnittäminen viimeistellään ruuvaamalla levy kiinni elementtiin. Ruuvien tehtävä on siirtää jäykistevoimat ylemmältä elementiltä alemmalle. Lisäksi ruuvit estävät rakennuksen kaatumisen tuulen vaikutuksesta ja sitovat elementit yhteen. Rakennesuunnittelija määrittelee suunnitelmissaan ruuvien koon, määrän ja asennusvälin. Itse kiinnityksessä on huomioitavaa, että liitos on rakennesuunnittelijan suunnitelmien mukainen ja liitoksessa olevat välimatkat toteutuvat suunnitelmien mukaan. (vasek.fi.)

Laadunvarmistus liitosten tiivistämisessä tapahtuu avaamalla liitos lyhyeltä matkalta auki. Leikatusta aukosta voidaan tarkistaa, että vaahto on kovettunut ja ettei saumaan ole jäänyt aukkoja. Lisäksi valokuvaaminen liitoksen toteutusvaiheista on hyvä lisä laadunvarmistukseen. Itse ruuvaamisesta laadullisena varmistuksena toimivat valokuvat seinälinjoilta, missä liitos ja ruuvaus näkyvät. (vasek.fi.) Hyvä tapa onkin kuvata työmaata lähes päivittäin ja jakaa nämä kuvat työmaan yhteisiin kansioihin. Tällöin jos tulee epäily, että jotakin on jäänyt asentamatta rakenteisiin, voidaan kuvista mahdollisesti tarkistaa asia. Kuvien avaaminen on paljon halvempaa ja nopeampaa, kuin itse rakenteiden.

### 3.2 Testatun liitoksen työmaatoteutus

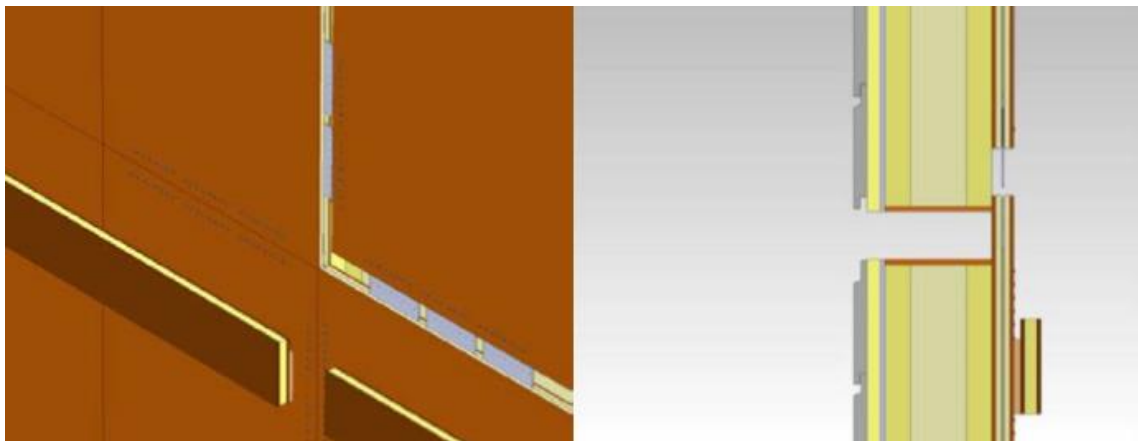
Testatun liitoksen tyypillinen käyttökohde on puurakenteiset asuinkerrostalot. Lujuskokeiden perusteella käytettäväksi liitokseksi valikoitui kahden ruuvirivin liitos, jossa veto tapahtuu puun syysuuntaan. Liitoksessa on 29 ruuvia ja reuanetäisyydet ovat noin 30 mm. Liitos saavutti lujuskokeissa keskiarvoltaan 156kN voiman. Lujuskokeiden perusteella Miettinen Sini sai laskettua Puufon nettisivuilta löytyvälle mallikerrostalolle, että yhden elementin liittämiseen tarvitaan kaksi liitoslevyä yhtä sivua kohti.



Kuva 13. Lujuuskokeiden perusteella C1 valikoitui käytettäväksi liitokseksi. (Miettinen 2017-10-09)

Liitoksen valmistelu alkaa jo elementtitehtaalla, jossa liitoslevyt kiinnitetään edellisen kerroksen elementtien yläreunaan. Tehdas olosuhteissa liitoksen toteuttaminen on helpompaa, kuin työmaalla, Syynä tähän on tehtaalla liitos pystytään toteuttamaan telineiltä, jolloin työkorkeus pystytään säätämään juuri sopivaksi. Työmaalla liitos sen sijaan sijoittuu rakenteiden alareunaan, jolloin työergonomia aiheuttaa jo hidasteita. Työmaalla liitoksen tekeminen alkaa, kun elementti on saatu nostettua paikoilleen ja tuettua pystyyn. Liitoksen toteuttamiseen on tehtävä erillinen sapluuna, jossa on ruuvien paikat. Sapluunat tulisi mitoittaa mittatarkasti paikoilleen elementin asennuksen yhteydessä. Järkevää olisi varmaankin sijoittaa sapluunat jonkunlaiseen kiskoon, joka kiinnitetään välipohjaan ruuvaamalla. Kiskossa olisi lisäksi hyvä olla sapluunoille siirtomahdollisuus, jolloin eri levyisten elementtien kiinnityksessä voidaan käyttää samoja kiskoja ja sapluunaa. Sapluunan mittaus paikoilleen on erityisen tarkkaa, koska reunimaiset ruuvit sijoittuvat vain noin 20mm päähän liitoslevyn reunasta. Kun sapluunoiden paikka on varmistettu siten, että kaikki porattavat reiät osuvat varmasti metallilevyyn, voidaan esireikien poraaminen aloittaa. Poraamisessa on huomioitavaa, että porataan vain hiukan metallilevystä läpi, jolloin lisätään ruuvien tarttumista.

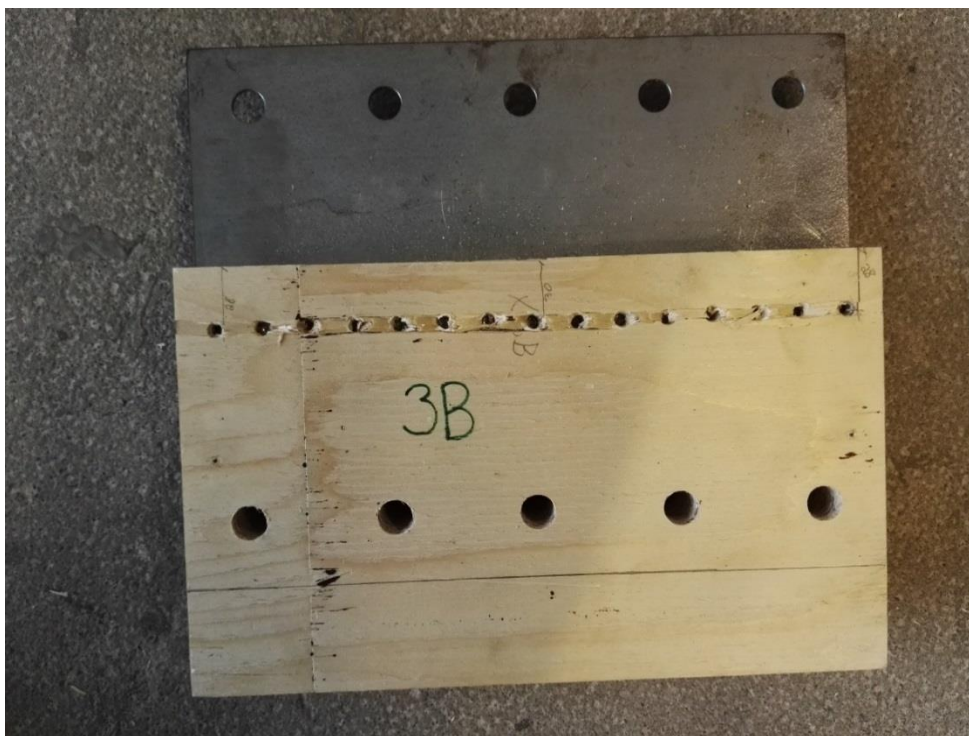
Liituskappaleiden valmistuksessa pystyimme pystyporakoneella katsomaan poran syvyyden suoraan millimetrin tarkkuuteen porakoneessa olevasta asteikosta. Tällaiseen tarkkuuteen ei tietenkään ole tarvetta, mutta tarkkuuden pitäisi olla sellainen, että varmistetaan poran läpimeno teräslevystä, mutta ei kuitenkaan porata montaa senttiä liian pitkälle. Poraustelineen käyttö reikien tekemisessä on tarkkuuden kannalta järkevää, koska tällöin saadaan reikien syvyys pidettyä samana. Itse ruuvaamisessa huomioitavaa on, että ruuvit porataan riittävän syväälle. Tarkoituksena on upottaa ruuvin kantaa noin 30 mm. Ruuvien ruuvamisen jälkeen on hyvä varmistaa ruuvien oikea syvyys työntömitalla. Ruuvien kantojen kittaaminen tapahtuu kittipuristimella. Kittauksessa on varmistettava, että kaikki ruuvien kannat on kitattu ja kitti on varmasti asettunut tiiviisti. Ruuvien ruuvamisen aikana LVL-levyn ylin viilu saattaa hiukan murtua ruuvien ympäriltä. Nämä pienet säröt on kuitenkin helppo korjata hiomalla ja tasoittamalla.



KUVA 14. LVL-seinäelementin kiinnitys ja välipohjan kannatuspalkki. (Per-Anders Daegra)

Yllä olevassa kuvassa on esitetty periaatekuva liitoksen toteutuksesta. Kuvassa oleva liitos on kevään 2017 toteutuksessa, jossa testattiin yhtä ruuviriviä. Syksyn testien tulosten perusteella C-tyyppin liitoksella toteuttaessa periaate olisi kuvan mukainen, mutta liitoslevyjä olisi vähemmän. Liitoslevyt sijoitetaan kuvan mukaisesti elementtien kulmiin. Kuvasta x näemme myös, kuinka tarkasti elementit tulee laskea paikoilleen, ettei elementtiä laskiessa liitoslevy vaurioidu tai itse elementti vaurioidu.

C-tyyppin liitosta voidaan käyttää myös yhden kerroksen elementtien välisenä liitoksena. Liitoksen totauttaminen on lähes samanlainen, kuin kerrosten välisessä elementtiliitoksessa. Erona on työergonomian paraneminen, koska kun liitos tehdään elementtien pystysaumaan joudutaan käyttämään telineitä. Telineillä pystytään tällöin säätämään työkorkeus paremmaksi. Itse poraaminen ja ruuvaaminen tapahtuu samallailla kuin edellisessä tapauksessa. Suurimpana erona on, että liitoksen jälkihiontaa on enemmän kuin aikaisemmin. Syynä tähän se, että ruuvirivi on samansuuntainen, kuin ylin viilu. Tämä aiheuttaa sen, että ylin viilu ns. katkeaa.



KUVA 15. Tilanne jossa ruuvirivi on samansuuntainen, kuin ylin viilu. (Miettinen2017-10-27).

Yllä olevassa kuvassa näkyy kuinka ylin viilukerros murtuu ruuvatessa, jos ruuvirivi on samansuuntainen. Liitos tilanteessa hiontaa joudutaan tekemään hieman enemmän, kuin toisessa liitoksessa. Kittaaminen tapahtuu samalla tavalla kuin vaakaliitoksessa.

### 3.3 Työmaakäytäntö

Puurakentamisen suurin etu on rakentamisen nopeus. Edellytyksenä nopeaan rakentamisvaiheeseen on kuitenkin se, että rakennusosat ovat pitkälti esivalmistettuja. Lisäksi esivalmistettujen suurelementtien käyttö nopeuttaa rakentamisvaihetta huomattavasti. Puukerrostalon rakentamisaika voi

olla jopa alle puolet perinteiseen rakentamiseen verrattuna. Parhaimmassa tapauksessa tilaelementtjärjestelmää käytettäessä kuusikerroksisen asuinkerrostalon työmaan läpimenoaika on vain kaksi kuukautta. (Tolppanen ym. 2013, 174.)

Nostokalustoksi puukerrostalorakentamisessa riittää yleensä kevyt autonosturi tai kurottaja. Työmaan siisteys on yksi tärkeimmistä asioista rakennustyömaalla, sillä siisteydellä voidaan vähentää materiaalivaurioita. Lisäksi siisteys on suuri vaikuttaja työturvallisuuteen, sillä roskaiset tasot ovat hyvin liukkaita. Puukerrostalon rakennusvaiheen kuivana pito vähentää työmaan kokonaisenergiankulutusta. (Tolppanen ym. 2013, 178.)

Puuelementtien asennuksessa on huomioitava samoja asioita mitä betonielementtien asennuksessa. Elementtien nostosuunnitelmat tulee olla tehtynä, ennen kuin nostoja aloitetaan suorittamaan. Työturvallisuus ja putoamissuojaus on mietittävä ja tehtävä kirjallinen suunnitelma näiden asioiden toteutumisesta. Elementtien tuonti työmaalle on samantapaista kuin betonielementeillä. Suurin eroavuus elementtien tuonnissa ja työmaavarastoinnissa on se, että elementit täytyy pystyä suojaamaan kosteudelta niin kauan, kunnes elementit on asennettu ja kosteuden mahdollinen pääsy elementtiin on estetty.

Sääsuojan käyttö puuelementti rakentamisessa on erittäin suositeltavaa ja joissain projekteissa suojatelta jo vaaditaankin. Rakennus voidaan suojata kokonaan tai suojataan rakennusosat ja materiaalit. Asennustyön takia saatetaan joutua tekemään väliaikaissuojauksia tai poistamaan joitakin suojauksia kokonaan, mutta rakenteet tulisi suojata kuitenkin siten, että kosteusriski olisi minimaallinen.



KUVA 16. Työn mukana nouseva rakennussuojakatto. (Ramirent.fi)

Puuelementtien nosto tapahtuu nosturilla. Nostoissa huomioitavaa on, että elementit ovat suurikokoisia, mutta kevyempiä kuin betonielementit. Tällöin tuulen huomioon ottamisesta tulee merkittävää. Tuulen nopeuden noustessa 10 m/s täytyy elementtien asennuksessa noudatettava eri-

tyistä varovaisuutta ja erittäin kovalla tuulella yli 15 m/s työskentely on keskeytettävä (Puuelementtirakentaminen, seinät. Menekit ja menetelmät Ratu 0424 2014). Wood Cityn työmaalla työmaapäällikkö Ari Patolahti kommentoi seuraavaa: "Betonielementtejä selvästi keveämpiä puuelementtejä ei ole voinut nostaa, jos tuuli on ollut yli 8 metriä sekunnissa." (Mölsä 2017-11-09). Tämä ongelma oli varsinkin suurten elementtien kohdalla. Sääennusteiden seuraaminen työmaalla onkin suositeltavaa, koska tällöin voidaan tuulisemmalle säälle jättää pienempiä elementtejä nostettavaksi. Suuret elementit voidaan nostaa sitten tuulten laantuessa.

Elementtien nosto tapahtuu suunnitelluista nostopisteistä, eikä elementtejä saa nostaa muualta. Nostotyössä nostokoneen kuljettajalla ja elementtiasentajilla täytyy olla esteetön näkö- tai puheyhteys. Kun elementti on saatu nostettua merkitylle paikalle, jossa on tehty ennalta määrätyt toimenpiteet, kuten elementin pohjan puhdistus ja tiivistenauhan asennus. Kun nämä asiat on varmistettu, voidaan elementti tukea pystyyn ja tarkistaa sen suoruus. Kun elementti on saatu lopulta asennettua ja tuettua paikoilleen voidaan nostoraksit käydä irrottamassa. Tämän jälkeen suoritetaan tarvittaessa elementtien sääsuojaus. (Puuelementtirakentaminen, seinät. Menekit ja menetelmät Ratu 0424 2014.)



## 3.3.1 Työturvallisuus

Laadin työni liitoksesta työn turvallisuussuunnitelman (TTS). TTS:n ideana on käydä työhön liittyen kaikki vaiheet läpi ja listata siihen liittyvät riskit. Työssäni kävin läpi kaikki vaiheet elementtiasennukseen liittyen. Otin huomioon elementtien saapumisen työmaalle, välivarastoinnin, suojaukset, asennuksen, tuennan ja liitoksen toteuttamisen.

Mitä työssä tehdään?	Vaiheen vaarat	Miten vaarat hallitaan?
Kirjaa työn vaiheet järjestyksessä. Esim. aloita materiaalien tuomisesta ja päättää alueen siivoukseen.	Kirjoita vain numero alla olevasta taulukosta	<u>Mieti tärkeisi järjestyksessä</u> , poistetaan, korvataan vaarattomammalla, rajataan altistumista, yleinen/tekninen suojaus, henkilönsuojaus
Puuelementtien vastaanotto	4,6,9,10,12,13,14,21,22	työntekijöillä ja nosturikuskillä näkö- tai kuuloyhteys, nostoalueen rajausta, riittävä valaistus ja alueen puhtaus rekan läheisyydessä, turvavarusteiden käyttäminen, työntekijöiden osaamisen varmistaminen, liukkauden torjuminen.
Elementtien välivarastointi	4,6,8,9,10,12,13,14,21	Elementtitelineen pohjan tasaisuus ja riittävä kestävyys, nosturikuskin ja työntekijöiden näkö- tai kuuloyhteys, turvavarusteiden käyttäminen, riittävä valaistus telineen läheisyydessä, työntekijöiden perehdyttäminen, liukkauden torjuminen.
Elementtien asennus	4,6,8,9,10,11,12,13,14,21,22	Putoamissuojaus, valjaiden käyttö, näkö- tai kuuloyhteys, riittävä valaistus, työntekijöiden osaamisen varmistaminen, liukkauden torjunta, sääolosuhteiden huomioiminen (kovalla tuulella työt keskeytettävä)
Elementtien tuenta	3,4,6,9,10,12,13,14,21	Putoamissuojaus, tuennan varmistaminen ennen nostoketjujen irrottamista, sähkölaitteiden toimivuuden varmistaminen
Liitoksen toteuttaminen	3,4,5,7,9,12,13	Koneiden toimivuuden varmistaminen, suojavarusteiden ja lasien käyttö, Koneiden oikeaoppinen käyttö
Elementin suojaus	8,9,10,11,12,13,14,21,22	Putoamissuojaus ja valjaiden käyttö tarvittaessa, Tuulen huomioon ottaminen, suojiin kiinnittämisen varmistaminen etteivät pääse putoamaan

Työn vaarat (poimi vaaraa vastaava numero yllä olevaan taulukko)		Muut vaaratekijät
1. Melu	10. Putoaminen	19. Toiset urakoitsijat / yhteensovitus
2. Tärinä	11. Esineen putoaminen	20. Viestintä (esim. kielimuun)
3. Sähköisku	12. Kompastuminen	21. Liikkuvat ajoneuvot, nosturit
4. Puutteellinen valaistus	13. Liukastuminen	22. Hankala sääolosuhde / lämpöolot
5. Lentävät hiukkaset, kipinät	14. Vaara-alueella työskentely	23. Ilman epäpuhtaudet, pöly, kaasu
6. Puristuminen	15. Käsien tehtävät siirrot	24. Home, bakteerit, asbesti, kreosootti
7. Viilto, leikkaantuminen, hiertymä	16. Kemikaalit	25. Työ tiellä tai tien penkalla
8. Takertuminen	17. Polttoaineet, palavat kaasut	26. Työ veden äärellä
9. Isku	18. Vuodot	27. Muu, mikä

## TAULUKKO 2. Työn turvallisuussuunnitelma

Elementtien asennuksen suurimpia riskejä on suurten elementtien käsittely nosturin avulla. Nostossa on huomioitava, että tuuli saattaa kääntää elementtiä hyvinkin arvaamattomasti. Tästä syystä elementtien nostossa olisi hyvä käyttää apuköysiä, joilla voidaan ohjata elementtiä. Välivarastoinnissa on huomioitava elementtitelineen pohjan riittävä kantavuus ja tasaisuus, etteivät elementit pääse kaatumaan siinä. Elementtien asennuksessa suurimpia huomioon otettavia seikkoja on putoamissuojauksesta huolehtiminen. *28 §:n 1 momentin mukaan pääperiaate on, että kun putoamiskorkeus on yli 2 metriä, on oltava suojakaiteet ja muut suojarakenteet* (Rakennushankkeen työturvallisuus Ratu KI-6030 2017). Elementtien asennuksen seurauksena joudutaan suojakaiteet yleensä poistamaan. Tässä tilanteessa asentajien tulee käyttää asianmukaisia turvalajaita.

Elementtiä tuenta tapahtuu elementtitukien avulla. Puurakentamisessa ei ole annettu tarkempaa ohjetta tukien määrälle. Betonirakentamisessa sen sijaan löytyy ohje, että jokaista elementtiä kohden täytyy olla vähintään kaksi elementti tukea (Ratu 0392 väli- ja ulkoseinäelementtityö viitattu 26.2.18). Tuentaa tehtäessä joudutaan poraamaan kiinnitysruuveja elementteihin. Huomioitavaa kiinnityksessä on, että työkoneet ovat asianmukaisia, eikä sähköiskun vaaraa ole. Lisäksi työntekijöillä tulee olla asianmukaiset turvavarusteet. Työntekijöiden tulee huolehtia tuennassa, että elementti on varmasti tuettuna ennen nostoketjujen irrottamista. Ketjujen irrottamisessa on huomioitava, että ne ovat kireällä eivätkä pääse irrotusvaiheessa aiheuttamaan vahinkoa muille työntekijöille. Elementtitukia ei saa irrottaa ennen kuin rungon kokonaisjäykistys on varmistettu. Kun elementti on saatu asennettua ja tuettua paikoilleen tulee ikkuna- ja oviaukkoihin asentaa putoamissuojaus. Putoamissuojaus tulee tehdä ikkuna-aukkoihin, joiden alareunan korkeus on alle 1 m, lisäksi oviaukoissa täytyy olla sekä potkulauta että kaiteet. Kaiteitten välinen aukko saa enimmillään olla 0.5 m. (Puuelementtirakentaminen, seinät. Menekit ja menetelmät Ratu 0424 2014.)

Elementin asennuksessa ja liitoksen teossa on huomioitavaa, että kaikki työlaitteet ovat kunnossa ja niitä käytetään oikein. Lisäksi kaikki telineet ja tikkaat tulee olla tarkastettu ja kunnossa. Asennuksen ja liitoksen teon aikana tarvitaan esimerkiksi erilaisia työlaitteita, kiinnikkeitä ja tuentavälineitä, jos materiaalit ovat sekaisin se aiheuttaa työturvallisuus riskin. Lisäksi se hidastaa työntekoa, jos tavaroita joudutaan etsimään työn ohessa. Liitosta tehdessä syntyy purua ja muuta pientä roskaa, kun liitos on saatu tehtyä, työympäristö siistitään näistä roskista.

### 3.3.2 Laatu

Työssäni käsitelen puuelementtien työmaalla huomioon otettavia laatuseikkoja, elementtien vastaanotosta luovutukseen. Laatuvaatimukset on otettu ”RunkoRYL 2010. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen runkotyöt” ohjeesta. Ohjeessa on luokat 1, 2 ja 3. Luokka 1 käsittelee rakennusosat, joilta vaaditaan erityistä mittatarkkuutta ja lisäksi korkeat ulkonäkövaatimukset. Luokka 2 sisältää asuin-, liike- ja toimistorakennusten rakennusosat. Luokka 3 on hallirakennukset yms. tilojen rakennusosat, jonka mitta- ja ulkonäkövaatimukset ovat alhaisemmat kuin luokalla 2.

Elementtien toimituksessa on huomioitava, että elementit on suojattu oikein ja elementtiin on merkattu elementin valmistaja, elementin tunnus sekä mitat ja paino. Lisäksi elementeissä on suunnitelmien mukaiset nostolenkit tai merkitty nostokohta ja –tapa. Varastoinnissa on suojattava elementit likaantumislta ja kastumiselta. Elementtien ollessa muovitettu saattaa kosteutta kertyä muovien sisään, tällöin voidaan suojaus käydä aukaisemassa elementtien alareunasta, jolloin tuuletus parane. Elementit tulee varastoida tasaiselle alustalle ja irti maasta noin 0.3 m korkeisten korokkeiden päälle. Kun elementit nostetaan selvästi maasta irti, minimoidaan roiskeveden haitat. (RunkoRYL 2010, Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, Talonrakennuksen runkotyö. RT14-11016, 239-244.)

Elementtien asennus toteutetaan asennussuunnitelman mukaisesti. Ennen asennustyöhön ryhtymistä suunnitelmat tulee käydä läpi. Asennuksessa tulee huomioida, että elementti ei saa olla välitömässä kosketuksessa materiaalin kanssa, joka kuljettaa vettä kapillaarisesti (esimerkiksi betoni). Tällaisessa tilanteessa täytyy elementin ja betonin väliin asentaa esimerkiksi huopakaista. Liitosta tehdessä liitos ei saa huonontaa elementin laatua tai aiheuttaa haitallisia muodonmuutoksia. Liitos tarvikkeissa on huomioitavaa, että kaikki tarvikkeet ovat CE-merkittyjä. Kun asennus on suoritettu ja siihen liittyen kaikki tarvittavat liitokset ja tuennat on suoritettu. Elementti täytyy suojata siten, että sen kosteus ei pääse muuttumaan haitallisesti lopullisesta tasapainakosteudesta.

**Taulukko 721:T8. Seinäelementtien asennustarkkuudet.**

Ulottuvuus ja sijainti	Suurin sallittu poikkeama, mm		
	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
Seinän sivusijainti perussuorasta	± 5	± 8	± 12
Vapaa väli (vastakkaiset seinät)	± 5	± 8	± 12
Seinän poikkeama pystysuorasta			
– korkeus enintään 3 m	± 3	± 5	± 8
– korkeus yli 3 m	± 5	± 8	± 12
Sauman leveys, poikkeama nimellimitasta	± 3	± 5	± 8
Ulkosauman hammastus, puuverhous	3	5	8
Elementtien yläreunan hammastus	3	5	8

Kun puurakenteiden toteutusstandardi on valmis, noudatetaan sen asennustarkkuuksia.

### TAULUKKO 3. Seinäelementin asennustarkkuudet (RunkoRyl 2010)

Yllä olevassa taulukossa on esitetty elementtiasennukseen liittyen mittapoikkeama taulukko. Taulukossa voidaan tarkastella, että kun rakennus kuuluu luokkaan 1 esimerkiksi seinän poikkeama pystysuorasta seinän ollessa 3 m korkea saa poikkeama olla ±3 mm. (RunkoRYL 2010, Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, Talonrakennuksen runkotyö. RT14-11016, 239-244.)

Liitoksen laadullisessa toteuttamisessa on otettava huomioon, ettei liitoslevyjä kolhita asennusvaiheessa. Elementin laskussa on huomioitava myös liitoslevyn osalta se, ettei levyä lasketa LVL-levyn päälle, koska LVL-levy saattaa haljeta. Liitosta tehdessä työtapojen ja materiaalien kuvaaminen ja kuvien arkistointi ovat kannattavaa, koska tällöin voidaan valokuvien perusteella varmistaa toteutus ja materiaalit jälkikäteen. Itse liitosta toteutettaessa on kiinnitettävä huomio porattuihin esi-reikiin, ettei reikiä porata turhaan ja poratut reiät on varmasti kiinnittynyt liitoslevyyn. Ruuvaamisessa laadullisesti huomioitavaa on, että ruuvien kantojen syvyys tarkistetaan ruuvaamisen jälkeen.

### 3.3.3 Aikataulu

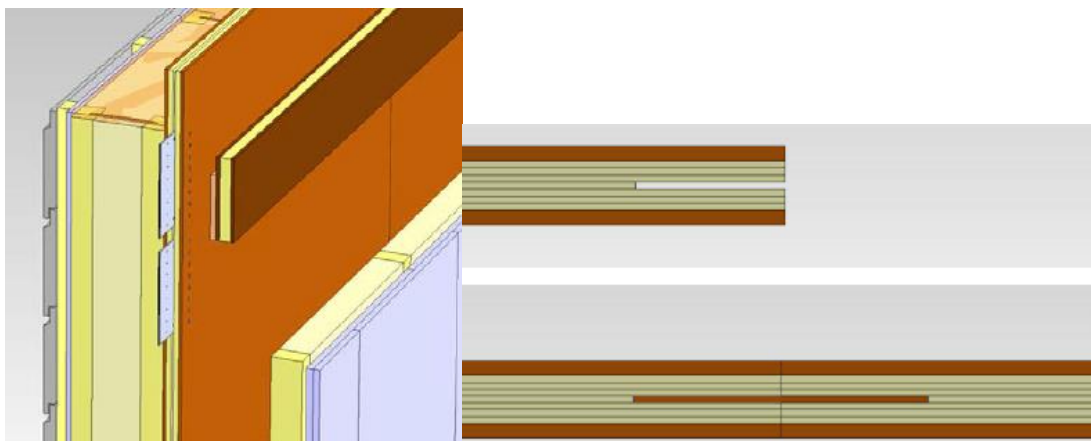
Puuelementtirakentamisessa nimikkeiden määrä on suurempi kuin betonirakentamisessa. Tämän seurauksena työmaa logistiikkaan kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota. Logistiikan sujuvuuden kannalta on pyrittävä JOT-toimituksiin (just on time). Tämän toimitustavan ideana on toimittaa materiaalit työmaalle vasta sillä hetkellä, kun ne voidaan asentaa tai vaihtoehtoisesti nostella kerrokseen ennen kuin seuraavan kerroksen välipohja asennetaan. Lisäksi kun materiaali toimitetaan mahdolli-

simman myöhään työmaalle materiaalien likaantumisen, kolhujen ja naarmujen määrä voidaan minimoida. Tässä tilanteessa logistiikan ja aikataulun suunnittelu pitää olla hyvin tarkkaa. Täytyy tietää viikkoja etukäteen mitä materiaaleja on tulossa ja millainen nostokalusto tarvitaan, lisäksi mitä aiempia työvaiheita pitää olla suoritettu. Tällaisessa ajattelutavassa virheet on minimoitava, koska jos aikataulussa tapahtuu viivettä pienten tai suurten suunnittelu tai toteutusvirheiden takia. Tällöin kaikkia tulevia aikatauluja täytyy siirtää. Yleisesti rakentaminen Suomessa on hyvinkin kiireistä varsinkin kesäisin, jolloin kerrostalojen runkovaiheet yleensä käynnistyvät. Tilanteessa jossa tulevissa työvaiheissa tarvitaan esimerkiksi nostokalustoa asentamaan elementtejä ja nostokalusto on tilattu tietylle päivälle. Päivien siirtäminen saattaa olla erityisen hankalaa tai lähes mahdotonta, jos urakoitsija on sopinut muille päiville toisia työmaita.

Työssä käytetyn liitostavan toteuttamisesta työmaalla ei ole vielä kokemusta, joten aikataulun arvioiminen pohjautuu ainoastaan lujuuskokeita varten valmistettujen testikappaleiden pohjalta. Liitoksen toteuttamiseen kuluva ajassa on otettava huomioon työkalujen, sähköjen, telineiden ja muiden tarvikkeiden siirrot työpaikalle. Liitoksen toteutuksessa suurin työvaihe ajallisesti tulee olemaan esireikien poraaminen ja niiden paikoilleen mittaaminen. Paikoilleen mittaaminen tulee varsinkin työn alussa viemään aikaa, koska työvaihe tulee olemaan uusi. Kun mittaaminen ja poraaminen saadaan suoritettua nopeasti ei liitoksen toteuttaminen ajallisesti ole kovin hidas verrattuna siihen, että liitos on käytännössä pintakäsittelyä vaille valmis. Lisäksi aikaa vie työpaikan loppusiivous ja tarkistusmittaukset. Testikappaleita valmistaessa otin kellonaikoja ylös muutamista työvaiheista, jotta voisin arvioida edes jotakin liitoksen tekoon kulunutta aikaa. Esireikien poraaminen mittatarkasti vei pylvasporakoneella arviolta 10 minuuttia liitosta kohti. Ruuvien ruuvaaminen ja mittojen tarkistus vei noin 5 minuuttia. Tähän lisätään vielä materiaalien ja telineiden siirrot arvio 10 minuuttia. Kokonaisaika liitoksen yhden liitoksen toteutuksessa on noin 20-30 minuuttia yhdeltä työntekijältä. Todellinen aika saadaan vasta sitten, kun ensimmäiset kokonaiset elementit on saatu asennettua.

### 3.3.4 Kustannukset

Puuelementtirakentamisessa suurimmat kustannukset tulevat itse elementeistä. Elementtien asennus vaatii aina nosturin ja nosturin kuljettajan lisäksi elementti asentajia on hyvä olla kaksi. Kahdella elementti asentajalla itse elementin asennus on helpompaa ja työtehtävät voidaan jakaa. Toisen asentajan asentaessa tiivistenauhaa toinen asentaja voi olla kiinnittämässä elementtiä nosturiin. Korkeissa kerrostalo kohteissa on järkevää ottaa yksi apumies kiinnittämään elementtejä nosturiin ja toimimaan ns. alamiehenä. Alamiehen tehtävänä on kiinnittää elementit nosturiin nostojärjestyksessä. Lisäksi alamies hoitaa muita tarvikkeita tarvittaessa asentajille. Liitoksen tekemisessä järkevä työnjako on, että toinen asentajista alkaa poraamaan esireikiä ja toinen asentaja hoitaa ruuvien poraamisen ja tarkistusmittaukset.



KUVA 17. Vasemmalla LVL –seinärakenne. (Per-Anders Daerga)

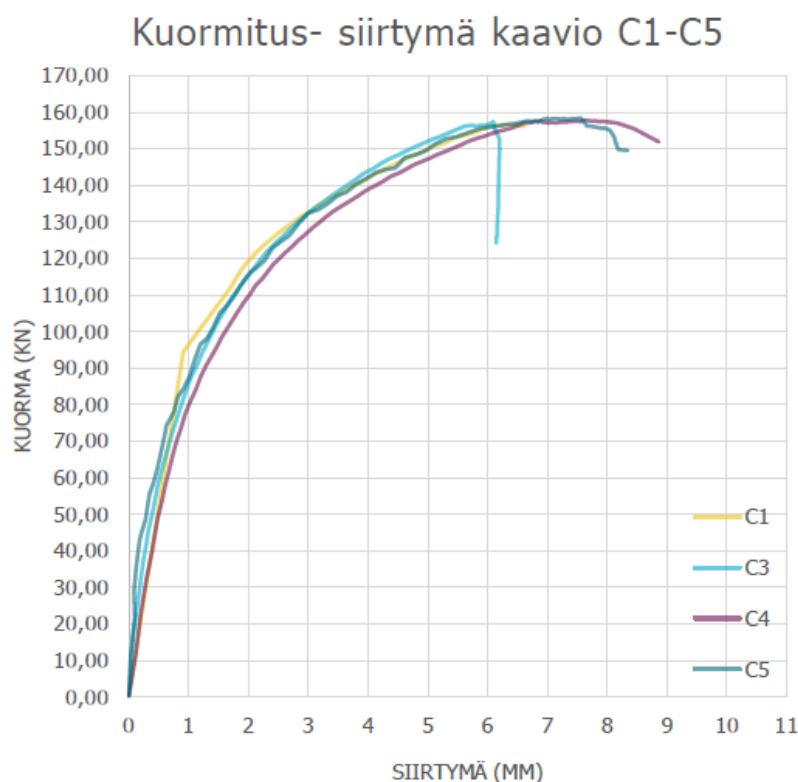
KUVA 18. Oikealla liitoksen periaatekuva. (Per-Anders Daerga)

Liitoksen kustannukset syntyvät työstä ja materiaaleista. Syntyvät työkustannukset koostuvat materiaalin siirroista, merkkauksista, reikien poraamisesta, ruuvaamisesta ja mittojen tarkistuksesta. Materiaalin siirrot sisältävät kaikkien työlaitteiden siirrot asennuskohteelle. Siirrot sisältävät myös sähköjen vedon työkohteelle. Liitoksen toteutuminen laadullisesti, että rakenteellisesti vaatii liitosruuvien tarkan mittaamisen paikoilleen. Mittaamiseen kannattaa siis kuluttaa hiukan enemmän aikaa ja varmistaa, että ruuvit tulevat osumaan liitoslevyyn. Työkustannuksiin kuuluu myös itse ruuvien ruuvaaminen ja ruuvien sijainnin tarkistus mittaamalla. Pieni kustannuserä syntyy myös materiaalin ja työlaitteiden pois kuljetuksesta.

Materiaali kustannukset koostuvat itse ruuveista, joita käytetyssä liitoksessa oli 29 kappaletta liitoslevyä kohti. Kustannuksia kuluu myös työlaiteista kuten porakone, sähköjohdot, sähkökeskukset, telineet ja muita työkaluja. Työmaan yhteiskustannukset täytyy myös huomioida liitoksille. Yhteiskustannuksia on mm. sähköenergia, konevuokra ja työnjohto.

## 4 YHTEENVETO

Lujuuskokeiden perusteella tuloksiksi saatiin koottua kuvaajat kaikista tuloksista. Kaikki tulokset ovat luettavissa liitteestä (1). Lujuuskokeiden tulokset olivat todella hyviä, koska saman tyyppiset liitokset kestivät lähes saman verran. Kuvaajien perusteella näemme, kuinka kaikkien viiden koekappaleen kuvaajat ovat samanlaisia. Myös ruuvikokeet ja reunapuristuslujuus kokeiden tulokset olivat onnistuneita.



TAULUKKO 4. C-tyypin liitoksen tulostaulukko.

### 4.1 Liitoksen kehitys

Koekappaleita valmistaessa huomioni kiinnittyi muutamaan seikkaan, mitkä saattavat muodostua ongelmaksi liitosta tehdessä täydessä koossa. Ensimmäinen seikka oli se, että liitos täytyy tehdä täysin sokkona ja itse liitoslevy on kohtalaisen tarkka ajateltuna, että reunimmaisen ruuvien etäisyys on ainoastaan noin 20 mm. Esittelinkin jo ratkaisuksi sapluunan käyttöä, jolloin ruuvaaminen olisi tarkempaa ja ohi ruuvaaminen minimoitaisiin. Lisäksi kiinnityslevyn mahdollinen suurentaminen helpottaisi ruuvien ruuvaamista.

Liitosta kootessani kiinnitin huomiota myös itse metallilevyn ja LVL-levyssä olevan uran tiukkuuteen. Levyn kiinnittämiseen jouduimme käyttämään yllättävän paljon voimaa. Mielestäni tässä saattaa olla suurikin ongelma, jos elementti on 7 m pitkä ja siinä on 2 liitoslevyä. Tällöin elementtiä laskettaessa itse elementin paino ei välttämättä riitä siihen, että elementti painuisi tiiviisti edellisen elementin päälle. Kehitysideana voitaisiinkin testata elementissä olevan uran suurentamista. Tällöin ongelmaksi saattaa muodostua se, ettei liitos ole riittävän tiivis. Tiivistyksen mahdollisena ratkaisuna voitaisiin käyttää jotakin massaa tai vastaavaa tiivistyskeinoa, joka sijoitetaan elementissä olevan uran pohjalle. Tällöin kun elementti lasketaan liitoslevyn päälle, liitoslevy painautuu tiivisteseen ja se tiivistää itse itsensä. Tiivisteiden toimivuudesta pitää kuitenkin

tehdä täysimittaisia testejä ennen, kuin sitä aletaan käyttää liitoksissa. Ongelmaksi tiivisteidenkin kanssa saattaa muodostua epätasainen painuminen, jolloin elementti saattaa jäädä kantamaan toisesta liitoslevystä. Tällaisessa tilanteessa ylemmän elementin asentaminen muodostuu ongelmaksi.

#### 4.2 Liitoksen teossa huomioitavaa

Liitosta tehdessä suurimmat huomioitavat kohdat ovat liitoksen ruuvaamisessa, ettei ruuveja ruuvata ohi liitoslevyn. Tilanteessa jossa ruuveja porataan ohi liitoslevyn, joudutaan poraamaan lisää ruuveja, jotta liitokseen saadaan riittävä määrä ruuveja. Kaikki ylimääriset reiät elementeissä lisää hionnan ja tasoituksen määrää elementtiasennustöiden jälkeen. Itse elementtien nostossa on kiinnitettävä huomiota elementtien kolhimiseen. Tilanne jossa elementti lasketaan huolimattomasti kovan esineen päälle, saattaa elementissä oleva ura painua umpeen. Tällainen painuminen saattaa estää koko elementin asentamisen siihen asti, kunnes ura saadaan sahattua uudestaan auki. Sama tilanne saattaa tulla elementtiä laskiessa liitoslevyn päälle. Liitoslevy saattaa kolhia elementtiä tai itse levy saattaa vääntyä huolimattoman elementin laskun seurauksena. Levyn vääntyessä liitoksen toteuttaminen saattaa estyä kokonaan. Levyn vääntyminen saattaa myös vahingoittaa elementtiä, mihin levy on kiinnitetty.

Elementtien välinen tiivistys nauha pystytään asentamaan jo tehtaalla valmiiksi suurimmassa osassa elementeistä. Asennusvaiheessa täytyy varmistaa tiivistysnauhan paikoillaan pysyvyys ja se että nauha asettuu tiiviisti elementtiä asentaessa. Asennustyössä saattaa olla myös tilanteita, että tiivistysnauhan asentaminen jää työmaalle tehtäväksi. Tällaisessa tilanteessa nauha kannattaa liimata tai kiinnittää jollain tavalla elementtiin. Tällä estetään, ettei nauha siirry paikoiltaan esimerkiksi tuulen vaikutuksesta. Talvi asennuksessa lumi saattaa muodostua ongelmaksi. Jos elementti lasketaan lumen päälle ilman suojausta saattaa lumi painautua elementin uraan. Lumi täytyy poistaa elementin urasta ennen asennusta, koska lumi estää elementin painumisen kokonaisuudessaan pohjaan asti. Lisäksi lumen sulaessa elementin sisään aiheuttaa se kosteusrasitusta elementille. Yleisestikin elementin uran puhtaana pitoon kannattaa kiinnittää huomiota. Ettei uraan pääse hiekkaa, sahanpurua tai jotain muuta mikä hankaloittaa tai estää kokonaisuudessaan liitoksen tekemisen.

#### 4.3 Liitoksen ongelmia

Liituskappaleita valmistaessa mietin liitoksen toteutusta työmaalla ja mitä mahdollisia ongelmia saattaa olla työn edetessä. Suurimpia ongelmia tällä hetkellä liitoksessa on mielestäni se, että elementin uran ja levyn välillä ei ole pelivaraa. Mielestäni suurten elementtien paikoilleen asettuminen saattaa muodostua tällöin ongelmaksi. Lisäksi ura ja levy pitää olla joka tilanteessa täysin samassa syvyydessä, koska jos näin ei ole aiheuttaa se elementtien välillä porrastusta. Uran huonona puolena pidän sitä, että riski sen umpeutumiseen on suuri. Lumi, roskat tai kolhut saattavat täyttää uran siten, että elementti ei painu tiiviisti liitoslevyn päälle. Yksi ongelmakohta saattaa olla välipohjan ja seinän välinen ääneneristävyys. Tällä hetkellä välipohja on toteutettu kannatuspalkin avulla, joka on kiinnitetty seinäelementtiin. Mielessäni heräsi kysymys, kuinka saadaan välipohjajaelementit asennettua riittävän tiiviisti. Ongelmana saattaa siis olla riittävä ääneneristävyys välipohjaliitoksen osalta.

Liitosten tulisi olla sellaisia, että elementtien asennustyö olisi sujuvaa. Liitostapa on uusi, eikä siitä ole vielä täyden mittakaavan kokemusta. Ensimmäiset kokemukset asennustyöstä saadaan näillä näkymin kesällä 2018, milloin on ensimmäiset liitokset testissä puukerrostalo työmaalla. Ensimmäisten liitosten toteutuessa saadaan tärkeää informaatiota liitoksen toimivuudesta. Toimiiko liitos tällaisena, vai tarvitseeko esimerkiksi liitoslevy muutosta. Liitoksilla on asennustekninen vaatimus, että liitos täytyy pystyä toteuttamaan pienistä mittapoikkeamista huolimatta. Tällä hetkellä liitos on asennusteknisesti erittäin tarkka toteuttaa. Mielestäni pienetkin mittapoikkeamat tällä hetkellä liitoslevyn asennuksessa, saattavat aiheuttaa suuriakin ongelmia liitoksen toteutuksessa.

#### 4.4 Liitoksen hyviä puolia

Liitostavan parhaimpana puolena pidän palosuojauksen tehokkuutta. Liitoksen palonsuojaus on lähes valmis heti asennustyön jälkeen. Palosuojauksen viimeistelyyn riittää ainoastaan ruuvien kantojen kittaaminen. Palosuojauksen valmius parantaa myös liitoksen ulkonäköä. Liitosta ei tarvitse peittää erikseen palosuojauksen takia, vaan liitos voidaan jättää näkyviin sellaisenaan. Liitoksen pintakäsittelyyn riittää elementin hionta, tarvittaessa tasoitus ja pintakäsittely. Lisäksi liitos on erittäin luja. Elementtiä kohti riittää kaksi liitoslevyä sivua kohti. Mielestäni uusi liitostapa on erittäin potentiaalinen, kunhan elementtien asennus varmistetaan toimivaksi.



## 5 POHDINTA

Opinnäytetyöni tavoitteena oli pohtia uuden LVL-liitoksen työmaatoteutusta ja etsiä mahdollisia ongelma kohtia ja ratkaisuja näihin. Työ lähti käyntiin lujuuskokeiden suorituksilla ja kokeista saadut tulokset olivatkin tilaajan mielestä onnistuneet hyvin. Opinnäytetyö sijoittui ajallisesti siten, että syksyllä 2017 suoritettiin suurin osa kokeista ja itse työn kirjoittaminen ja pohdinta työ jäi keväälle. Aikataulu oli onnistunut, vaikka syksyllä lujuuskokeet sijoittuivatkin osin kouluajalle. Itse koekappaleiden valmistus ja lujuuskokeet onnistuivat niin tuloksien pohjalta, kuin turvallisuuden osalta hyvin. Tulosten kerääminen videoitten pohjalta onnistui pääsääntöisesti hyvin pois lukien paria videota, jotka olivat valottuneet siten, että tulosten lukeminen hidastui huomattavasti. Vuoden 2018 puolella aloitin liituskokeiden pohjalta pohtimaan itse toteutusta. Itselläni ei ole kokemusta puuelementti rakentamisesta, ainoastaan betonielementti puolen kokemusta parilta kesältä. Olen kylläkin seurannut suurempia puupuolen rakennushankkeita, mitä on meneillään tällä hetkellä. Liitoksen toteutuksen pohdinta perustuikin ainoastaan kokemuksiin, mitä sain liituskappaleiden valmistuksesta ja yleiseen tietoon puuelementtirakentamisesta.

Pääsin työssäni miettimään hyvinkin tarkasti sekä kokonaisuudessa elementtiasennuksen kulkua, mutta lisäksi keskityin pieniinkin yksityiskohtiin pohtiessani itse liitoksen toteutusta. Aiheeni oli mielenkiintoinen ja melkoisen haastava, koska kerrostalo rakentaminen on vielä paljolti betonielementti rakentamista. Onnistuin työssäni mielestäni hyvin, vaikka välillä tiedon löytäminen oli kovinkin haasteellista. Pystyin työssäni esittelemään liitoksen toteutuksen ja itse tekoon liittyen laadullisia ja työturvallisia seikkoja. Löysin liitokselle mahdollisia ongelma kohtia ja näihin ongelmiin mahdollisia ratkaisu vaihtoehtoja. Liitoksen toteutuksessa kustannukset ja aikataulu jäivät hiukan suppeaksi, koska konkreettista tietoa näistä ei vielä ole saatavissa kyseisen liitoksen osalta.

Työssäni pohdittuja asioita pystyn hyödyntämään myös jatkossa, kun työskentelen elementtien parissa. Hyödylliseksi tiedoksi nousi työturvallisuus ja laatu asiat. Työtäni tehdessä asioita jäi vielä jatkopohdinnan alle, varsinkin itse konkreettisen asennustyön osalta. Jatkotyön mahdollisia pohdinnan aiheita voisi olla aikataulun ja kustannusten tarkempi selvittäminen siinä vaiheessa, kun liitosta on oikeasti käytetty asennuksissa. Lisäksi mahdolliset liitoksen kehittämismahdollisuuksien tutkiminen, kuten liitoslevyn suurentaminen tai liitosuran suurentaminen. Mielestäni työssäni käytetyllä liitoksella on paljon potentiaalia, kunhan se saadaan työmaalle ja siellä mahdollisesti muodostuneet ongelmat saadaan korjattua.

## LÄHTEET

DAEGRA, Per-Anders. LVL-seinäelementin kiinnitys ja välipohjan kannatuspalkki. [digikuva]. Win – projekti kevät 2017 raportti Arto Puurula Savonia amk Teku.pdf

DAEGRA, Per-Anders. LVL-seinäelementin kiinnitys ja välipohjan kannatuspalkki. [digikuva]. Win – projekti kevät 2017 raportti Arto Puurula Savonia amk Teku.pdf

DAEGRA, Per-Anders 2018-01-24. Reunapuristuskokeen lähtötiedot. [digikuva]. Sähköpostikeskustelu ohjaavan opettajan kanssa.

DAERGA, Per-Anders 2018-01-16. Ruuvien myötömomentti kokeessa käytettävän testauslaitteen periaatekuvat. [digikuva]. Sähköpostikeskustelu ohjaavan opettajan kanssa.

DAEGRA, Per-Anders. Vasemmalla LVL –seinärakenne. [digikuva]. Win – projekti kevät 2017 raportti Arto Puurula Savonia amk Teku.pdf

DAEGRA, Per-Anders. Oikealla liitoksen periaatekuva. [digikuva]. Win – projekti kevät 2017 raportti Arto Puurula Savonia amk Teku.pdf

KAIPIAINEN, Jani 2018. Ruuvien poraaminen aloitettu. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Kaipiaisen valokuva-albumi 2017-2018

KAIPIAINEN, Jani 2018. Koejärjestely lujuuskokeissa. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Kaipiaisen valokuva-albumi 2017-2018

KAIPIAINEN, Jani 2018. Ruuvikokeiden koejärjestelyt. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Kaipiaisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. Oikealla liitoksen esireikien poraaminen. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. Vasemmalla mittaan sahatut LVL-kappaleet. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. LVL-levyn reunapuristuskokeen koejärjestelyt. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. LVL-liitosten kiinnitysreikien poraaminen. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. Valmis testikappale lujuuskokeisiin. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. Liitos kesti niin hyvin, että se hajosi kiinnityspulttien puolelta. [valokuva].  
Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. Lujuuskokeiden perusteella C1 valikoitui käytettäväksi liitokseksi. [valokuva].  
Sijainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MIETTINEN, Sini 2018. Tilanne jossa ruuvirivi on samansuuntainen, kuin ylin viilu. [valokuva]. Si-  
jainti: Kuopio: Miettisen valokuva-albumi 2017-2018

MÖLSÄ, Seppo 2017-11-09 Sateinen ja tuulinen kesä koetteli Wood Cityn rakentajia Jätkäsaarella.  
Rakennuslehti [viitattu 2018-03-06]. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/11/sateinen-ja-tuulinen-kesa-koetteli-wood-cityn-rakentajia-jatkasaarella/>

MÖLSÄ, Seppo. 2017-11-28. Uudet palomääräykset helpottavat puun käyttöä näkyvänä pintana ja korkeissa taloissa. [viitattu 2018-01-29]. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/11/uudet-palomaaraykset-helpottavat-puun-kayttoa-nakyvana-pintana-ja-korkeissa-taloissa/>

PUUINFO. Avoin puurakennusjärjestelmä – Elementtirakenteet [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-31]. Saatavissa <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-elementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>

PUUELEMENTTIRAKENTAMINEN, SEINÄT. MENEKIT JA MENETELMÄT. RATU 0424. 2014. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2018-02-05] Saatavissa <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/17924#page=1>

PUUINFO. puukerrostalot [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-22]. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalot/puukerrostalo.pdf>

PUUINFO.FI. Suunnitteluohjeet, runko PES 2.0 mallielementtikaaviot [verkkoaineisto]. 2013 [viitattu 2018-03-05]. Saatavissa: [https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20/runkopes\\_2.0\\_osa\\_10\\_mallielementtikaaviot.pdf](https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20/runkopes_2.0_osa_10_mallielementtikaaviot.pdf)

Puuinfo.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-18] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> Polku: Puuinfo.fi. Tuotteet. LVL by Stora Enso (laminated veneer lumber).

Puuinfo.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-01-23] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/> Polku: Puuinfo.fi. Puutieto. Insinööripuutuotteet. Viilupuu (LVL).

Puuinfo.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-05] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/> Polku: Puuinfo.fi. Rakentaminen. Suunnitteluohjeet. RunkoPES 2.0

RAKENNUSHANKKEEN TYÖTURVALLISUUS. RATU KI-6030. 2017. [online]. Helsinki: rakennustieto [viitattu 2018-03-02] Saatavissa: [http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/product/Ratu%20KI-6030?external\\_system=Juha&page=1&query=ty%C3%B6tur.vallisuus](http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/product/Ratu%20KI-6030?external_system=Juha&page=1&query=ty%C3%B6tur.vallisuus)

RAMIRENT.COM. Työn mukana nouseva rakennussuojakatto. [digikuva]. ramirent.com, telineet ja sääsuojaus, sääsuojaus, Rami-Tower sääsuoja [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://tuotteet.ramirent.fi/node/3363>

RUNKORYL 2010. RAKENNUSTÖIDEN YLEISET LAATUVAATIMUKSET. TALONRAKENNUKSEN RUNKOTYÖ. RT 14-11016.[online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2018-02-23] Saatavissa: [http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/product/RT%2014-11016?Tuote\\_ID=106032](http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/product/RT%2014-11016?Tuote_ID=106032)

STORAENSO.COM. Havainnekuva LVL-linjasta. [digikuva]. LVL by Stora Enso Tekninen esite [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/LVL%20technical%20manual%20FI%20090617%20light.pdf>

Stora Enso. LVL by Stora Enso Tekninen esite. [verkkoinfo]. viitattu 2018-01-25]. Saatavissa: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/LVL%20technical%20manual%20FI%20250817%20light.pdf>

STORAENSO.COM. LVL-levy x-laatu sama, mitä käytettiin testeissä. [digikuva]. LVL by Stora Enso Tekninen esite [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/LVL%20technical%20manual%20FI%20090617%20light.pdf>

Tolppanen, Janne, Karjalainen, Markku, Lahtela, Tero ja Viljakainen, Mikko. 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Puuinfo. Opetushallitus

TTS. Puunet-koulutus, Kajaani CLT ja LVL, Uudet rakentamisen konseptit Sami Typpö [verkkoinfo]. [viitattu 2018-02-01]. Saatavissa: [http://www.tts.fi/files/652/Puunet-2.12.2016-stora\\_enso.pdf](http://www.tts.fi/files/652/Puunet-2.12.2016-stora_enso.pdf)

ULTRALAM.COM. LVL-levy [digikuva]. ultralam.com gallery [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://ultralam.com/gallery/>

VASEK. Runko-PES ja puukerrostalojen asukaspalaute [verkkoinfo]. [viitattu 2018-02-27]. Saatavissa: <https://www.vasek.fi/assets/Files/Rakentamisen-tietopankki/Puurakentamisen-RoadShow-22.2.2012/FWRRoadShow2012.pdf>

win-hanke.fi. [verkkoinfo]. [viitattu 2018-01-19] Saatavissa: <http://www.win-hanke.fi> Polku: win-hanke.fi. WIN-hanke.

LIITE 1: LUJUUSKOKEIDEN TULOKSET



# LVL -LIITOSKOKEET

WIN -HANKE

RAPORTTI KOESTUKSISTA, VERSIO 2.

Sini Miettinen  
Jani Kaipainen  
Savonia ammattikorkeakoulu

**SISÄLLYS**

1	KOEJÄRJESTELY .....	2
2	KOETULOKSET – MAKSIMI ARVOT.....	3
3	VALOKUVIA KOEJÄRJESTELYSTÄ, B1 .....	4
4	KOSTEUDEN MITTAUS .....	5
5	KUORMITUS-SIIRTYMÄ KAAVIOT KOESTUKSISTA .....	6
6	KUORMITUS-SIIRTYMÄ KAAVIOT SARJOITTAIN .....	17

## 1 KOEJÄRJESTELY

Koetulokset liittyvät Win -projektin LVL -liitoskokeisiin.

### Osallistajat:

Sini Miettinen, opiskelija (ERR145R)  
Jani Kaipainen, opiskelija (ERR145T)  
Juha Lehtikanto, laboratorioinsinööri  
Arto Puurula, rakennesuunnittelun yliopettaja

### Työn tausta:

LVL -liitoskokeet ovat osa Win-projektia. Kokeet perustuivat keväällä 2017 tehtyihin esikokeisiin, joissa kuormitettiin teräslevyn ja LVL-kappaleen 13 ruuviliitosta.

### Työn kuvaus:

Kuormituskokeet tehtiin neljälle erilaiselle liitokselle. Jokaisessa sarjassa oli viisi koekappaletta. Yhteensä siis toteutettiin 22 koetta, joista 4 oli esikokeita. Esikokeet tehtiin neljälle kahden ruuvirivin koekappaleille, jotta saatiin selville optimaalinen ruuvirivien etäisyys loppu kokeisiin. Kaksi lisättiin lopullisiin koetuloksiin ja kaksi hylättiin.

Lopulliset koetulokset kattavat 20 kuormituskoeetta:

4 erilaista koetta, 5 koekappaletta sarjassaan:

Koekappaleiden nimeäminen

A1-A5: 15 ruuvia, 1 rivi, veto syysuuntaan →5 kpl

B1-B5: 15 ruuvia, 1 rivi, veto kohtisuoraan syihin →5 kpl

C1-C5: 29 ruuvia, 2 riviä, väli 5d (25mm), veto syysuuntaan →5 kpl (C2 tulos ei tallentunut videotallenteelle)

F1-F5: 29 ruuvia, 2 riviä, väli 8d (40mm), veto kohtisuoraan syihin →5 kpl

Rasituskoetta toteutettiin Fiskars-kuormituskoneella Savonia ammattikorkeakoulun laboratoriossa.

## 2 KOETULOKSET – MAKSIMI ARVOT

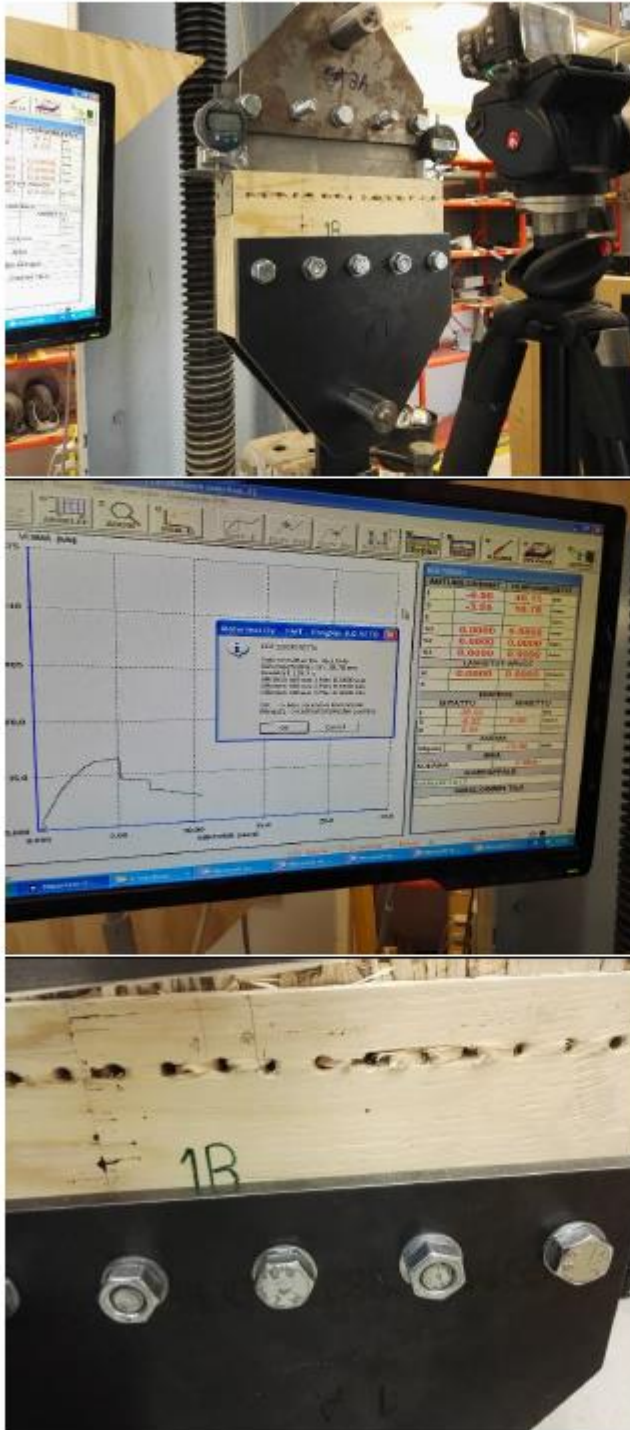
Seuraavassa tulostaulukossa on liitoskokeiden huipputulokset. *Voima* sarakkeessa on liitoskokeen maksimivoima. *Siirtymä* sarakkeessa on maksimivoiman aikainen siirtymä (vasemman ja oikean mittakellon keskiarvo). *Koeaika* sarakkeessa on koeaika, jolloin maksimivoima saavutettiin. *Kokeen max. siirtymä* sarakkeessa on kuormituskoneen antama maksimisiirtymä kokeen lopussa. Koneen antama arvo ei vastaa todellista siirtymää liitoksessa, koska kone mittasi yläleuan siirtymän eikä huomionut esimerkiksi metalliosien vaikutusta siirtymään.

	Voima F (kN)	Siirtymä s (mm)	Koeaika t (s)	Kokeen max. siirtymä s <sub>2</sub> (mm)
A1	75,66	6,10	216	13,77
A2	78,49	6,78	208	11,41
A3	78,89	7,06	221	14,01
A4	80,92	6,32	204	12,71
A5	72,10	5,25	178	13,19
B1	46,15	3,08	119	10,78
B2	44,18	3,22	113	11,79
B3	47,82	1,87	47	10,39
B4	45,59	3,67	123	11,55
B5	50,58	4,14	148	13,17
C1	156,72	6,29	178	16,35
C2	151,95	-	290	32,83
C3	157,44	6,08	297	33,85
C4	157,85	7,63	338	19,27
C5	158,42	7,55	299	36,02
D1	72,27	-	97	4,83
E1	156,84	-	428	22,00
F1	91,45	1,72	253	12,14
F2	103,15	3,95	182	8,65
F3	108,71	3,46	203	9,62
F4	99,23	2,16	160	9,00
F5	96,79	2,78	171	8,80

C2 koekappaleen tulokset eivät tallentuneet videotallenteelle, joten sen mittakellojen siirtymät puuttuvat taulukosta ja kaavioista.



## 3 VALOKUVIA KOEJÄRJESTELYSTÄ, B1



## 4 KOSTEUDEN MITTAUS

Kosteuden mittaus tehtiin viidelle näytepalalle kuiva-painomenetelmällä. Puun kosteus ilmoitetaan painokosteuden prosentteina. Heti koestuksen jälkeen viidestä koekappaleesta leikattiin näytepalat, joiden paino mitattiin tarkasti. Tämän jälkeen näytteet kuivatettiin absoluuttisen kuivaksi 103 asteisessa uunissa, ja niiden painot mitattiin uudelleen. Koepalojen painokosteus laskettiin kaavalla (kaava 1).

$$Kosteus (\%) = 100\% * \frac{a - b}{b}$$

Kaava 1.

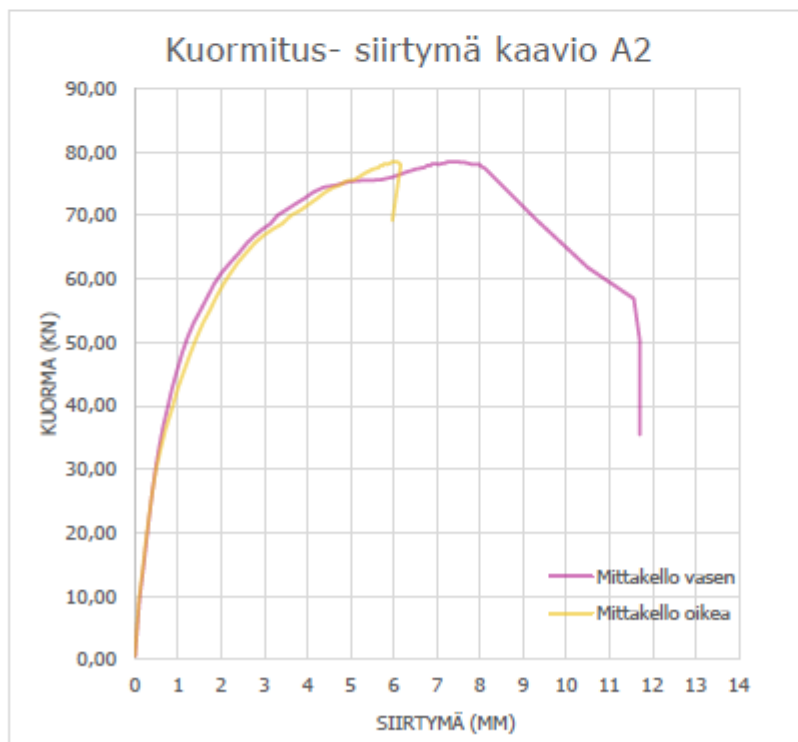
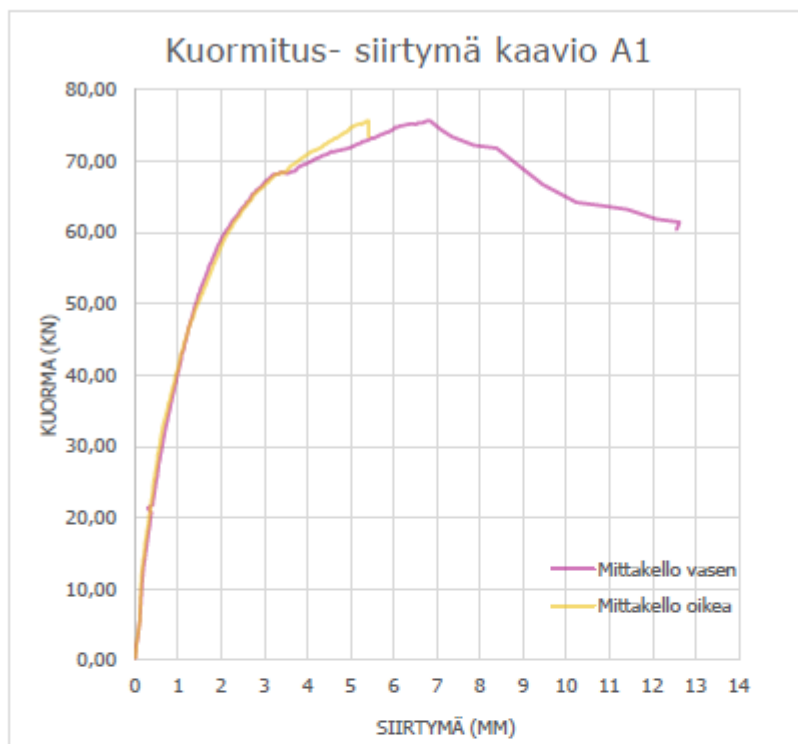
a = kappaleen paino kosteana

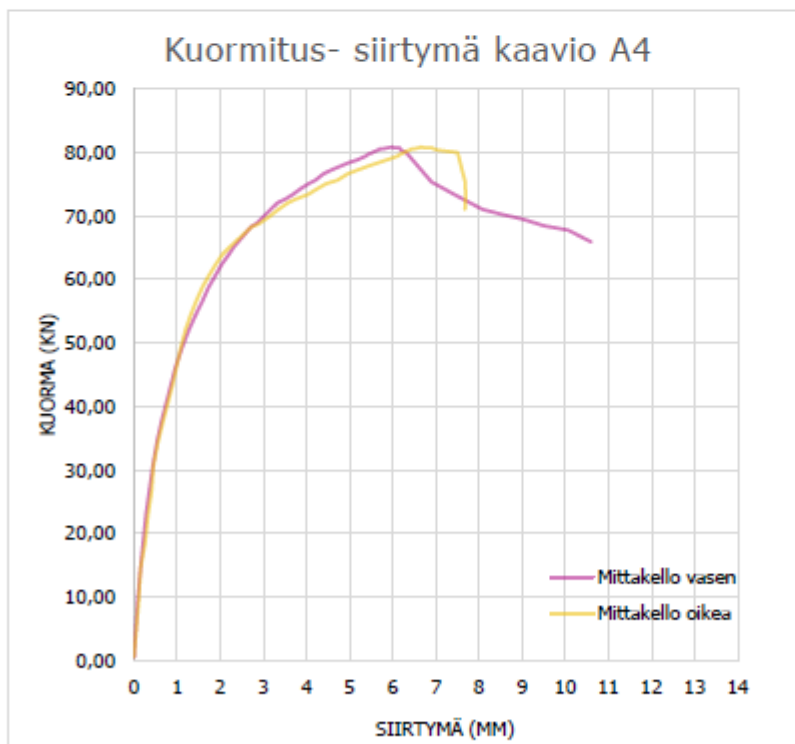
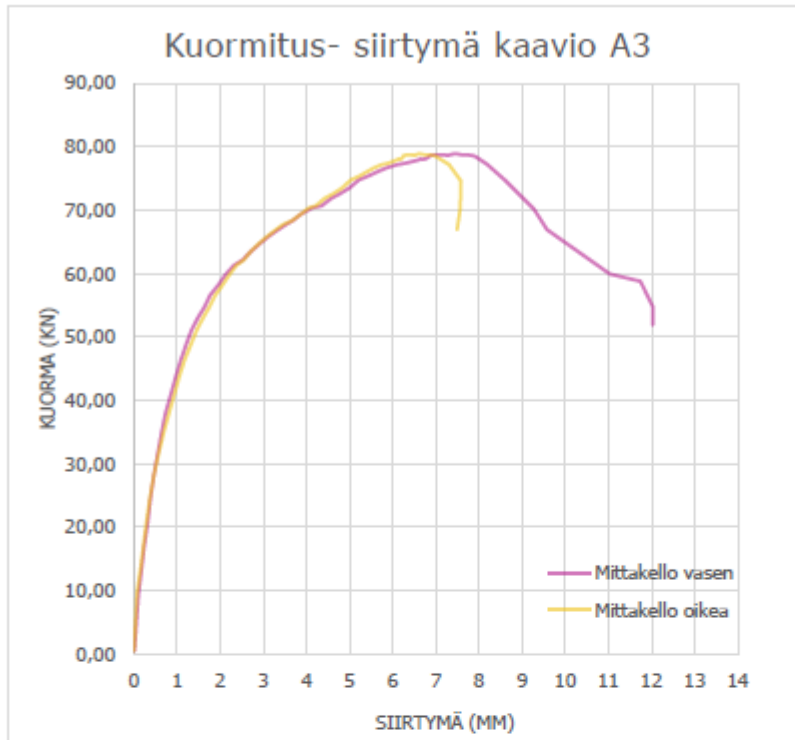
b = kappaleenpaino absoluuttisen kuivana

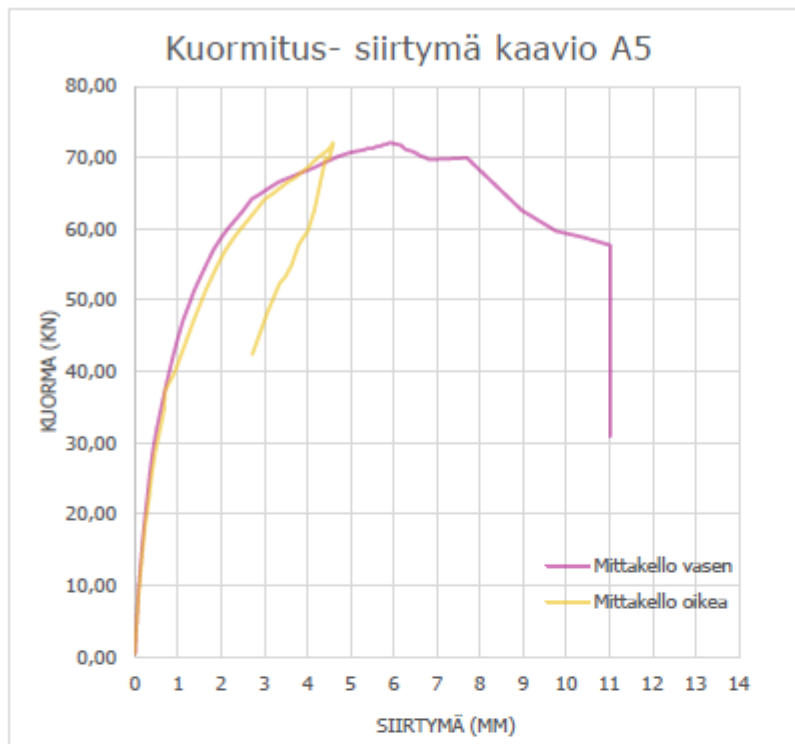
Kosteuden mittaus				
	a paino (g) kosteana	B paino (g) absoluuttisen kuivana	Painokosteus	
B3	447,68	412,44	8,54	%
B5	486,60	448,77	8,43	%
C4	447,64	413,08	8,37	%
C5	496,43	457,95	8,40	%
F3	439,96	405,15	8,59	%

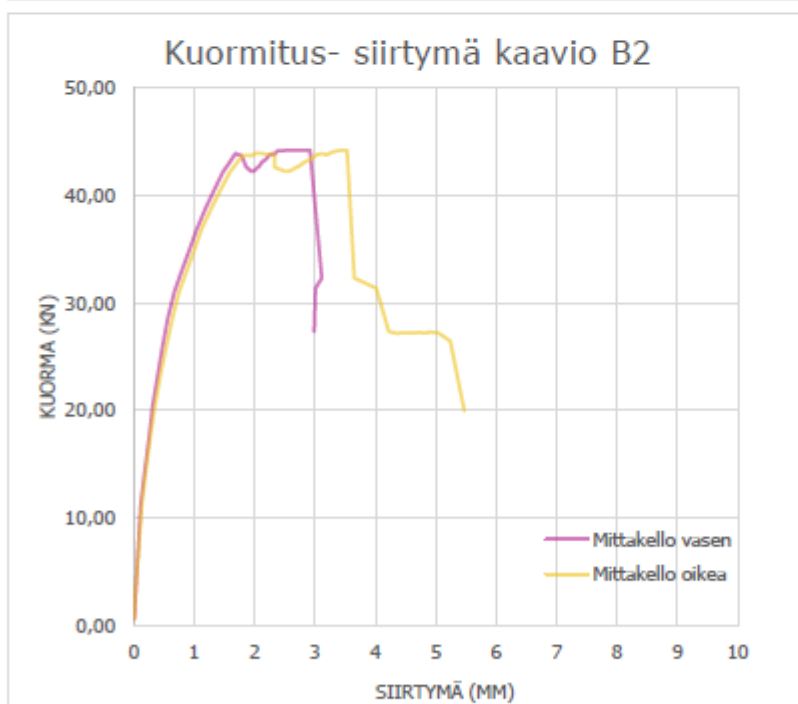
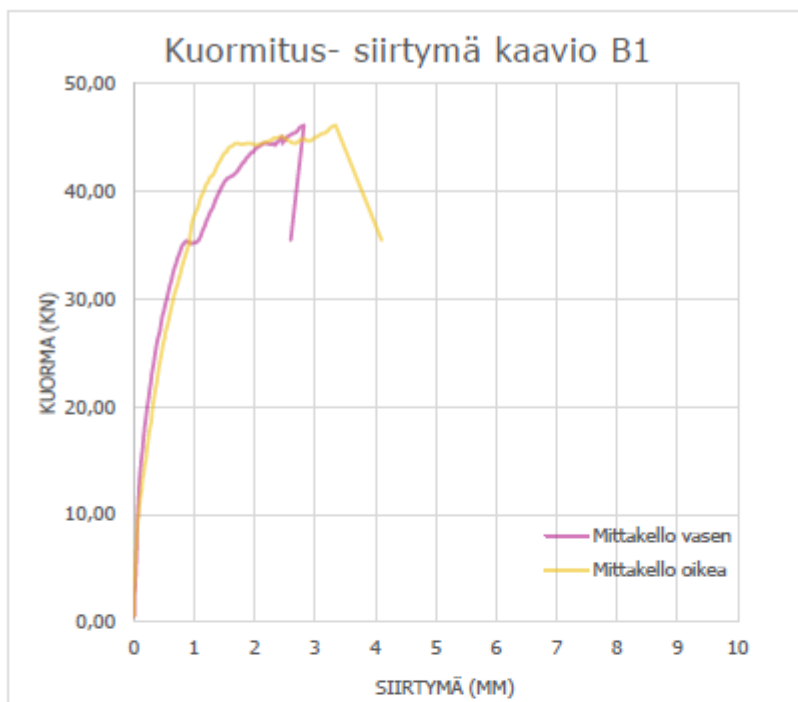
Koekappaleiden painokosteus oli keskimäärin 8,47%.

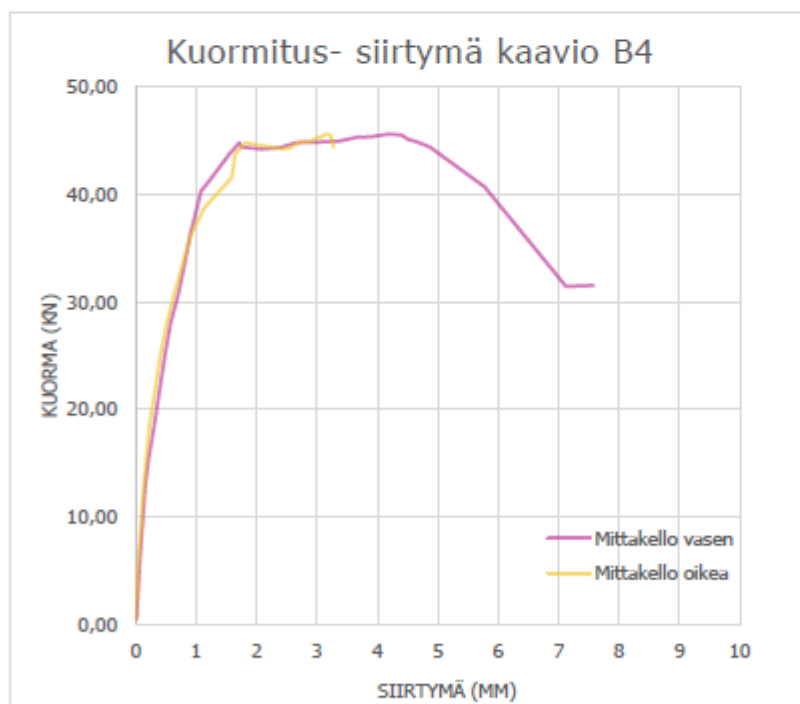
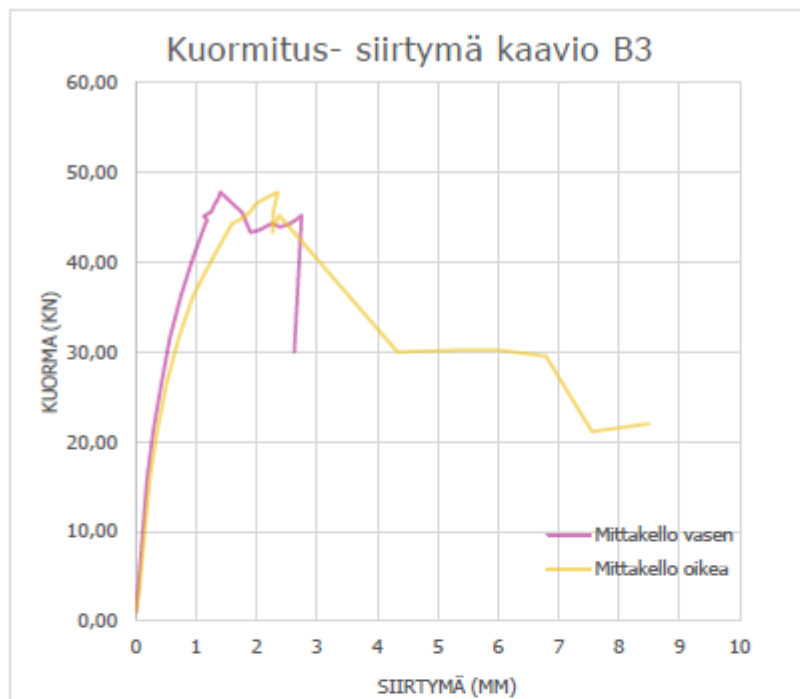
## 5 KUORMITUS-SIIRTYMÄ KAAVIOT KOESTUKSISTA

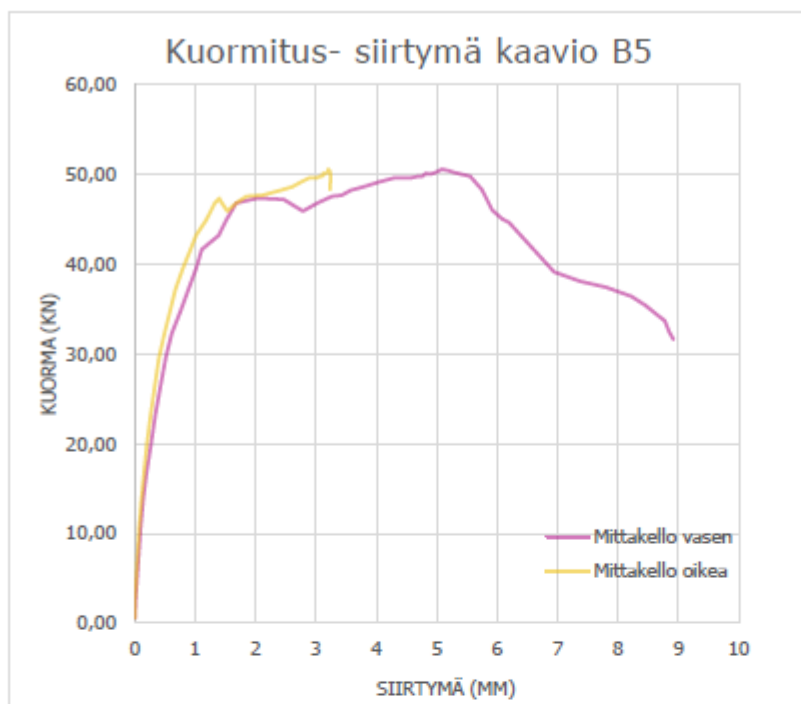




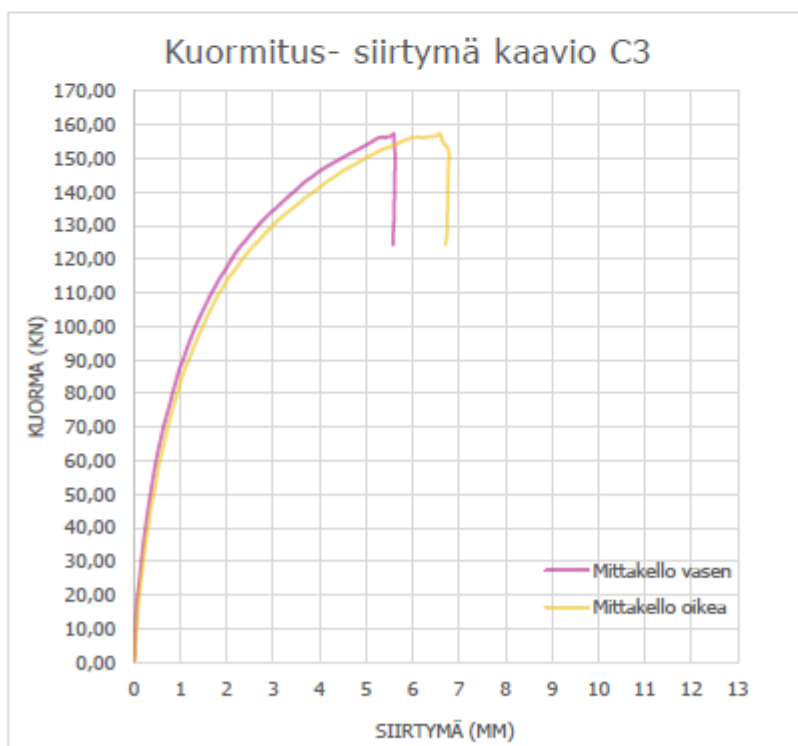
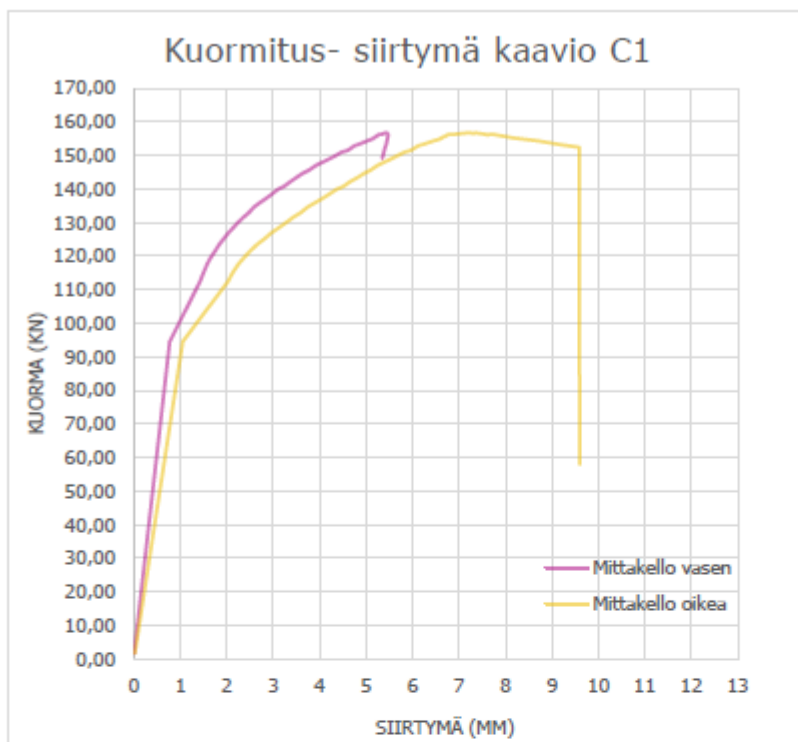


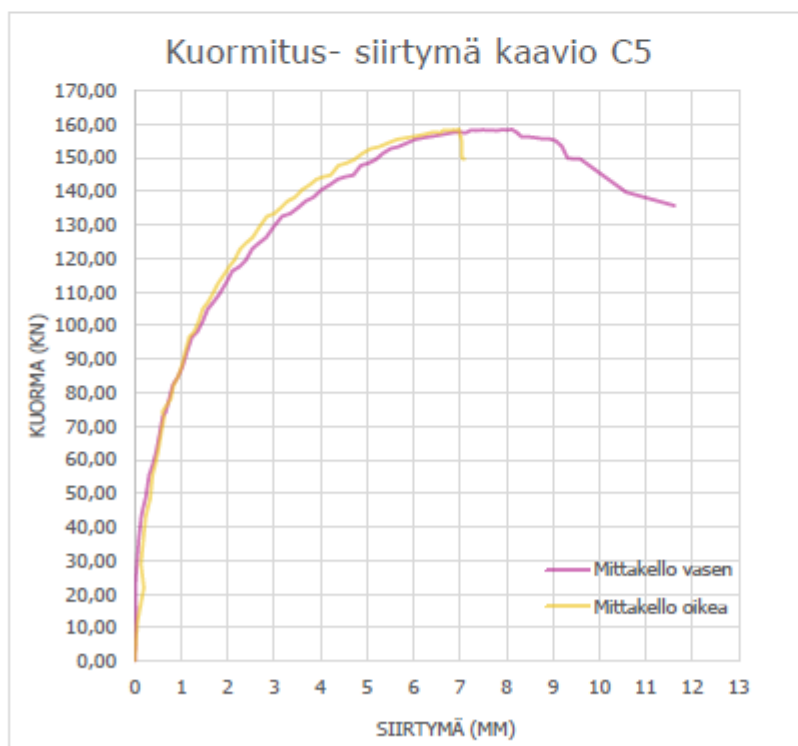
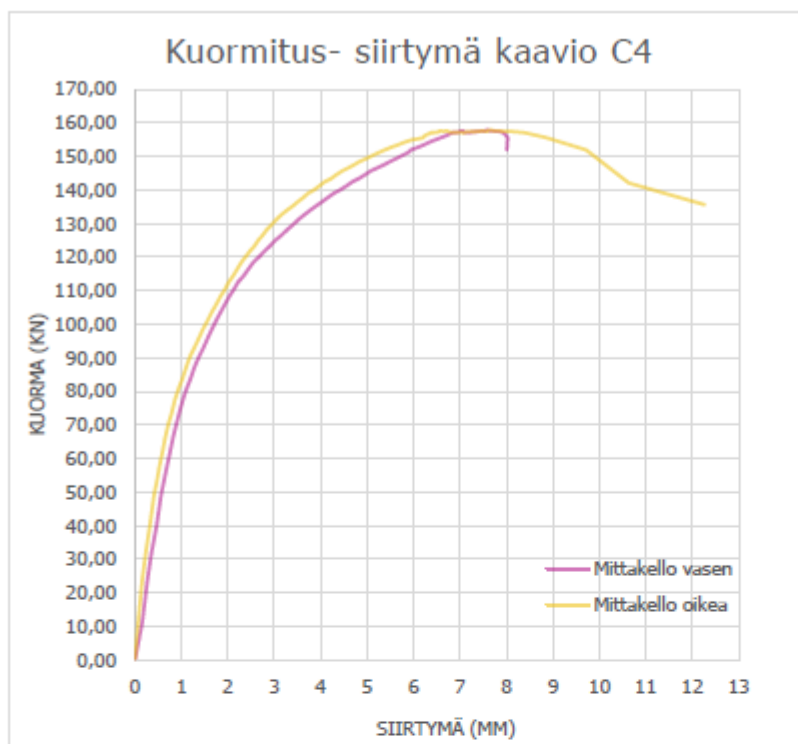


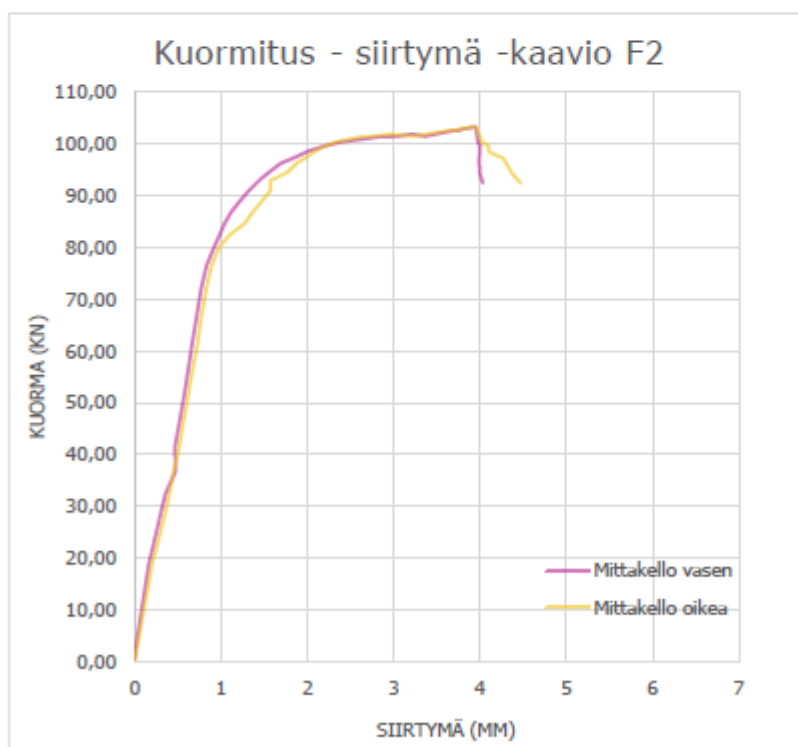
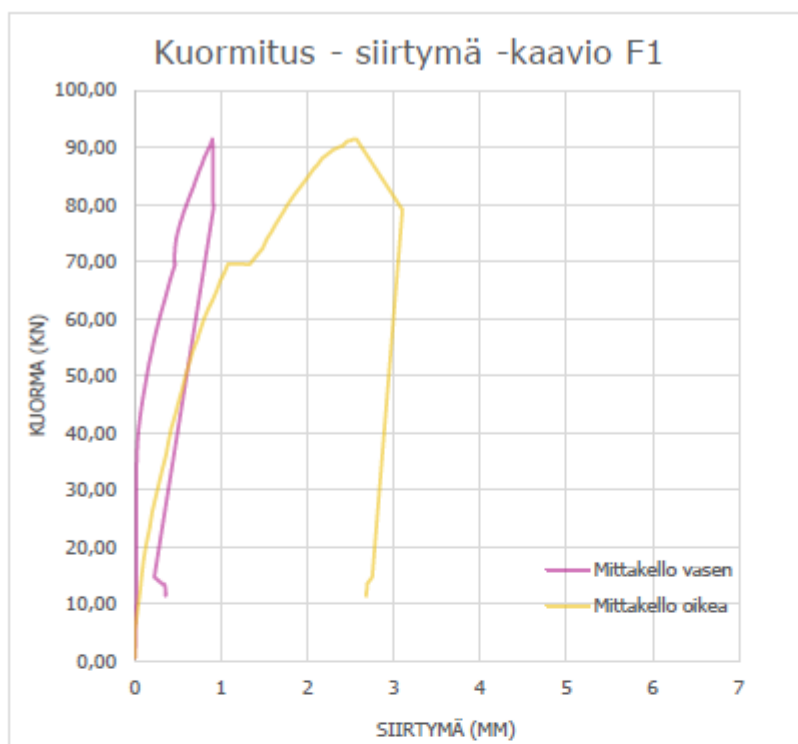


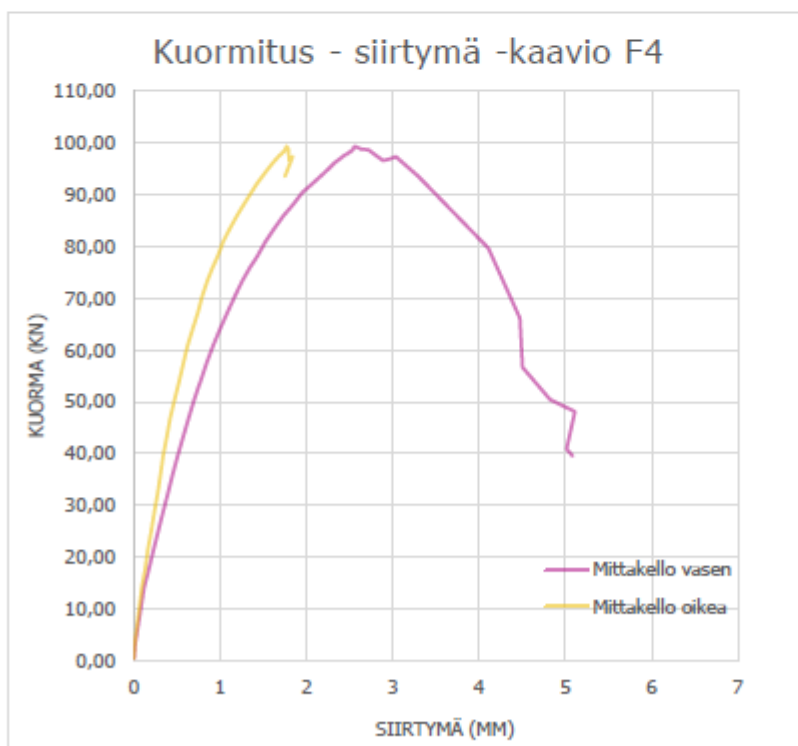
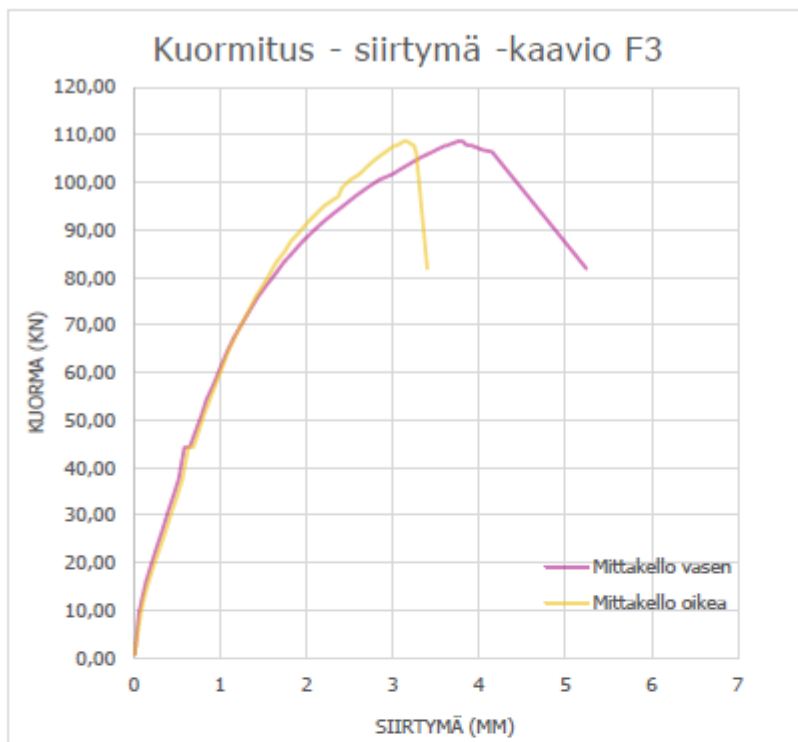


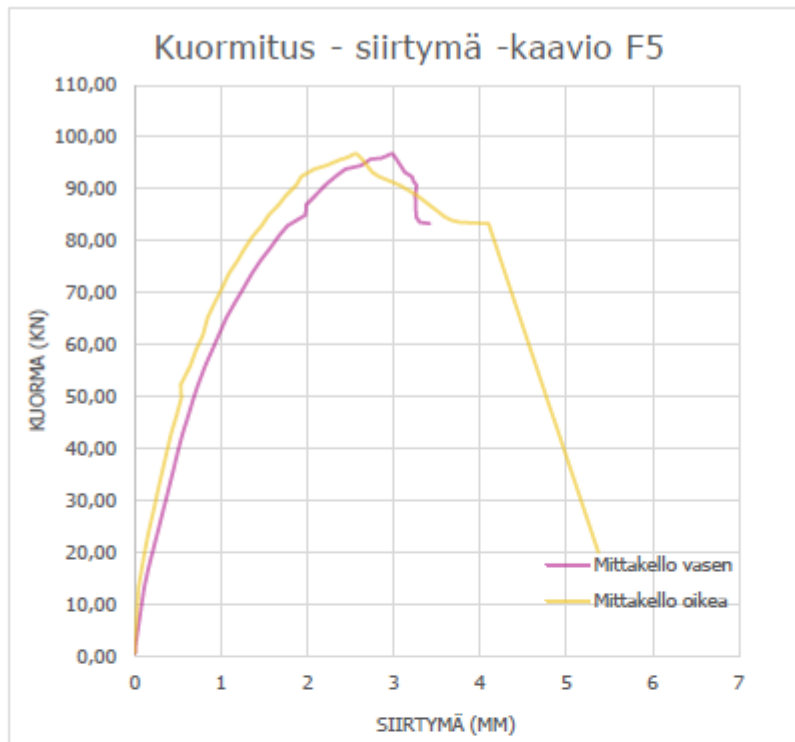












## 6 KUORMITUS-SIIRTYMÄ KAAVIOT SARJOITTAIN

Koestustulokset mittakellojen keskiarvoina.

