



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Roope Koivisto

Momenttijäykän liimaruuviliitoksen valmistusprosessin käyttöönotto

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Roope Koivisto

Työn nimi: Momenttijäykän liimaruuviliitoksen valmistusprosessin käyttöönotto

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 38

Liitteiden lukumäärä: 4

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käydä läpi mitä tulee ottaa huomioon, kun aloitetaan liimaruuviliitoksen valmistus sekä saada hyväksyttävä tulos alkutestauskappaleista, jotta liitosta voidaan alkaa valmistamaan. Opinnäytetyössä esitetään liimapuusta valmistetun momenttijäykän pilarin valmistusprosessi aina liimapuun valmistamisesta valmiiseen liimaruuviliitokseen.

Liimaruuviliitoksen valmistusta aloitettaessa tulee suorittaa valmistusmenetelmän alkutestaus liimaruuvilin tai liimatangon tartuntavetokokeet EN 26891 mukaisella menettelyllä. Honkatalot on suomalainen hirsitalo valmistaja. Honkatalojen toimeksiannossa testattiin kolme liimaruuvikoekappaletta. Esitetyt alkutestaukset suoritettiin Espoossa Eurofins Expert Services Oy:n toimesta. Koetulosten mukaan Honkatalojen käyttämä liimaruuviliitos täyttää sille asetetut vaatimukset.

Liimaruuviliitoksen valmistus on hyvä lisä Honkatalojen rakennerepertuaariin, jolloin teräspilareiden käyttöä voidaan tarvittaessa välttää. Tulevaisuudessa myös liimatangosta valmistettu liitos voisi tuoda lisämahdollisuuksia rakennesuunnitteluun.

¹ Asiasanat: liimaruuviliitos, asetetut vaatimukset, alkutestaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Roope Koivisto

Title of thesis: Introduction of the manufacturing process of torque rigid adhesive screw connection

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2022

Number of pages: 38

Number of appendices: 4

The objective of the thesis was to study what should be considered when starting the manufacture of adhesive screw joint to obtain an acceptable result of initial testing pieces so that the joint can be manufactured. The thesis presented the process of manufacturing a torque rigid pillar made of adhesive wood, ranging from the preparation of glued wood to the finished adhesive screw joint.

Initial testing of the manufacturing method should be conducted at the start of the manufacture of the adhesive screw or adhesive rod adhesive traction tests under EN 26891. Honkatalot is a Finnish log house manufacturer. Honkatalot commissioned three adhesive screw test pieces to be tested. The initial testing presented was conducted in Espoo by Eurofins Expert Services Ltd. According to the test results, the adhesive screw joint used by Honkatalot met the requirements set for it.

The manufacture of adhesive screw joint is a good addition to the construction repertory of Honkatalot, thus avoiding the use of steel pillars if necessary. In the future, a joint made of an adhesive rod could also bring additional possibilities for structural design.

¹ Keywords: adhesive screw connection, set requirements, initial testing

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä | 2 |
| Thesis abstract | 3 |
| SISÄLTÖ | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo | 6 |
| 1 JOHDANTO | 8 |
| 2 LIIMAPUUN VALMISTUS | 9 |
| 2.1 Osana luonnon kiertokulkua | 9 |
| 2.2 Valmistus | 9 |
| 2.3 Laatu ja valvonta | 9 |
| 2.4 Lujuus ja jäykkyys | 10 |
| 2.5 Liimat | 10 |
| 3 LIIMARUUVILIITOKSEN LIITOSTAVAT PERUSTUKSIIN | 12 |
| 3.1 Pultattava pilarikenkäliitos | 12 |
| 3.2 Pultattava teräslevyliitos | 13 |
| 3.3 Hitsattava pilarikenkäliitos | 14 |
| 4 MESSUKOHTEESEEN VALIKOIDUT YKSITYISKOHDAT | 15 |
| 4.1 Pilarit | 15 |
| 4.2 Liimaruuviliitostyyppi | 16 |
| 4.3 Liittimet | 16 |
| 4.4 Liima | 17 |
| 4.5 Pilarikenkä | 17 |
| 4.6 Vetolaite omaan laadunvalvontaan | 18 |
| 5 LIIMARUUVILIITOKSEN VALMISTUKSELLE ASETETUT VAATIMUKSET | 19 |
| 5.1 Valmistukselle asetetut vaatimukset | 19 |
| 5.1.1 Puu | 19 |
| 5.1.2 Liima ja liimaus | 19 |
| 5.1.3 Liittimet | 20 |
| 5.2 Sisäiselle laadunvalvonnalle asetetut vaatimukset | 21 |
| 5.2.1 Puu | 21 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.2 | Liima ja liimaus | 21 |
| 5.2.3 | Liittimet..... | 21 |
| 5.2.4 | Liimauksen laadunvalvonta..... | 21 |
| 5.2.5 | Poikkeavat tulokset | 22 |
| 5.2.6 | Kirjanpito | 22 |
| 6 | MASTOPILARIN JA LIIMARUUVILIITOKSEN MITOITUS..... | 23 |
| 6.1 | Mastopilari..... | 23 |
| 6.2 | Liimaruuviliitoksen mitoitus..... | 23 |
| 7 | LIIMARUUVILIITOKSEN TESTAUS JA TULOS | 28 |
| 7.1 | Yleistä | 28 |
| 7.2 | Koekappaleet | 28 |
| 7.3 | Testaus | 29 |
| 7.4 | Koetulokset..... | 31 |
| 7.5 | Koetulosten tarkastelu..... | 34 |
| 8 | POHDINTA..... | 36 |
| | LÄHTEET | 37 |
| | LIITTEET | 38 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Pilarit..... | 15 |
| Kuva 2. Liitostyyppi..... | 16 |
| Kuva 3. Liimaruuvi. | 17 |
| Kuva 4. Pilarikengät..... | 17 |
| Kuva 5. Vetolaite..... | 18 |
| Kuva 6. Kuormitus- ja mittausjärjestelyt. | 30 |
| Kuva 9. Murtoon kuormitetut liimaruuviliitokset. | 34 |
| Kuva 10. Testin jälkeen halkaistu tartunnasta murtunut liimaruuviliitos LR-2-2. | 34 |
| | |
| Kuvio 1. Periaatekuva pultattavasta pilarikenkäliitoksesta..... | 12 |
| Kuvio 2. Periaatekuva pultattavasta teräslevyliitoksesta..... | 13 |
| Kuvio 3. Periaatekuva hitsattavasta teräslevyliitoksesta. | 14 |
| Kuvio 4. Liimaruuvien yleiset keskiöetäisyydet. | 26 |
| Kuvio 5. Koekappaleiden mittapiirros..... | 29 |
| Kuvio 6. Kuormituksessa noudatettu kuormitusaikakaavio. | 31 |
| Kuvio 7. Koetulokset. | 32 |
| Kuvio 8. Koekappale LR-1. | 32 |
| Kuvio 9. Koekappale LR-2. | 33 |
| Kuvio 10. Koekappale LR-3. | 33 |

| | |
|---|----|
| Taulukko 1. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot. | 25 |
| Taulukko 2. Yhden ruuvin leikkauskestävyys $R_{v,d}$ (kN). | 26 |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käydä läpi, mitä tulee ottaa huomioon, kun aloitetaan liimaruuviliitoksen valmistus, sekä saada hyväksyttävä tulos alkutestauskappaleista, jotta liitosta voidaan alkaa valmistamaan.

Honkatalojen asiakas rakennuttaa talon vuoden 2022 asuntomessualueelle. Kohteen rakenteiden jäykistys vaatii momenttijäykkiä pilareita. Honkatalot ovat valmistaneet momenttijäykät pilarit tähän mennessä teräksestä. Honkatalot valmistaa itse liimapuunsa, joten heräsi ajatus liimapuun käyttämisestä kyseisten momenttijäykkien pilarien valmistuksessa. Tässä opinnäytetyössä esitetään liimapuusta valmistetun momenttijäykan pilarin valmistusprosessi aina liimapuun valmistamisesta valmiiseen liimaruuviliitokseen. Olennaista ovat valmistukselle ja laadun valvonnalle asetetut vaatimukset.

Kun liimaruuviliitoksen valmistus aloitetaan, tulee suorittaa valmistusmenetelmän alkutestaus liimaruuvien tai -tangon tartuntavetokokeiden EN 26891 mukaisella menettelyllä. Koekappaleiden valmistuksen tulee vastata normaalisti tuotannossa käytettäviä materiaaleja ja valmistusmenetelmiä, lisäksi testauslaitoksella tulee olla puurakenteiden kiinnittimien testausmenetelmän EN 26891 kattava akkreditointi. Koesarjan tulosten tulee täyttää EN 145358 -standardin mukainen näytteiden hyväksymisehtotarkastelu, kun tuloksia verrataan suunnitteluohjeessa ilmoitettuun tartuntakestävyyden ominaisarvoon. (Ympäristöministeriö 2014, s. 7–8.)

Tässä työssä esitetyt alkutestaukset suoritettiin Espoossa Eurofins Expert Services Oy:n toimesta.

2 LIIMAPUUN VALMISTUS

2.1 Osana luonnon kiertokulkua

Liimapuu valmistetaan Suomessa männystä tai kuusesta. Puiden lehdet sitovat itseensä ilmakehästä hiilidioksidia ja vapauttavat ilmakehään happea. Näin puuhun varastoituu hiiltä eli siitä tulee niin sanottu hiilinielu. Liimapuuta valmistettaessa syntyy puujätettä, jota käytetään hyväksi energiantuotannossa. Liimapuuta voidaan uusiokäyttää tai jatkojalostaa esimerkiksi lastu- ja kuitulevyiksi. Lopuksi puuta hyödynnetään lämmön sekä sähkön tuottamiseen ja hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään. (Vesanen & Viljakainen 2014, s. 15.)

2.2 Valmistus

Liimapuun valmistus alkaa, kun tukit saapuvat sahalle, jossa niistä sahataan lamelleja. Leikatut lamellit kuivataan kuivaamossa haluttuun kosteussuhteeseen. Kuivatut lamellit lujuuslajitellaan joko visuaalisesti tai koneellisesti. Lujuuslajitellut lamellit jatketaan sormijatkoksella, jonka päävaiheet ovat katkaisu, sormien työstäminen jyrsimellä, liiman levitys, puristus sekä liiman kovetus ja katkaisu. Seuraavaksi jatkettua lamellia höylätään. Lamellipaksuus on yleensä 45 mm. Sitten höylätyt lamellit liimataan. Ennen liiman kovettumista lamellinippu nostetaan puristimeen ja puristetaan sopivalla paineella. Liiman kovettuttua lamellinippu nostetaan puristimesta ja siirretään höylälle, jossa epätasaisuudet ja liimapurseet poistetaan jokaiselta sivulta. Valmiit liimapuut pakataan ja varastoidaan huolellisesti odottamaan kuljetusta työmaalle. (Vesanen & Viljakainen 2015, luku 1 s. 5–8.)

2.3 Laatu ja valvonta

Rakennustuoteasetus määrittää valmistajan tekemän suoritusasoilmoituksen keskeiseksi asiakirjaksi. Suoritusasoilmoitus tulee tehdä kaikista tuotteista, joilla on harmonisoitu tuotestandardi. Liimapuulle harmonisoitu tuotestandardi on EN 14080. Tuote pitää CE-merkitä, jos sille on tehty suoritusasoilmoitus. Tämä mahdollistaa tuotteiden vapaan liikkuvuuden Euroopan unionin alueella. Tuotestandardissa kerrotaan ne ominaisuudet, jotka valmistajan

täytyy ilmoittaa, mikä auttaa eri valmistajien tuotteiden vertaamista ilmoitettujen ominaisuuksien perusteella. (Vesanen & Viljakainen 2015, luku 1 s. 5–8.)

Standardista käy ilmi myös valmistajan laadunvalvontamenettelyille sekä laitoksen toiminnalle asetetut vaatimukset. Näin varmistetaan, että tuotteet vastaavat valmistajan suoritussoilmoitusta. Valmistusprosessia valvotaan jatkuvasti tuotannon sisäisessä laadunvalvonnassa. Lisäksi ilmoitettu laitos seuraa tuotannon sisäistä laadunvalvontaa ja tekee tarkastuskäyntejä valmistuspaikoissa. (Vesanen & Viljakainen 2015, luku 1 s. 8.)

2.4 Lujuus ja jäykkyys

Liimapuun lujuus määritellään yleensä käytetyn sahatavaran lujuuden, poikkileikkauksen koostumuksen ja sormijatkosten lujuuden perusteella. Valmistaja voi käyttää laskennallista menetelmää tai koekuormitusta määritelläkseen oman lujuusluokkansa ja optimoidakseen saatavan sahatavaran käytön. (Vesanen & Viljakainen 2015, luku 1 s. 12.)

Lujuuteen vaikuttaa jännityksen ja syiden suunnat sekä kosteuden ja kuormitusajan vaikutukset. Lujuus vaihtelee sekä rakenneosan eri kohdissa että rakenneosien välillä. Lamellivaikutuksen ansiosta liimapuulla on suurempi keskimääräinen lujuus ja pienempi lujuuden hajonta kuin rakennesahatavarasta tehdyllä vastaavalla rakenneosalla. (Vesanen & Viljakainen 2015, luku 1 s. 10.)

2.5 Liimat

Liimapuun valmistuksessa käytettävillä liimoilla on suuri lujuus ja kestävyys pitkäaikaisesti kuormitettuina. Lisäksi käytettävistä liimoista on pitkä käyttökokemus. (Vesanen & Viljakainen 2015, luku 1 s. 16.)

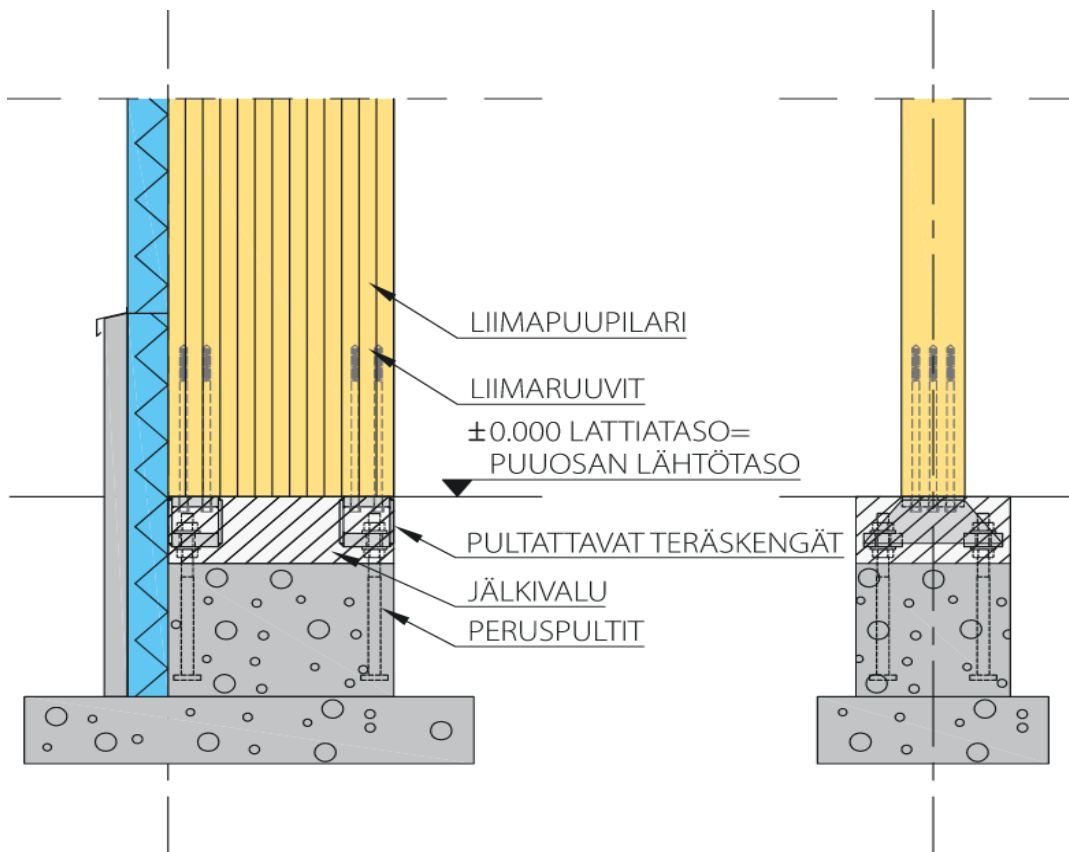
Liimatyyppit on jaettu soveltuvien käyttöolosuhteiden mukaisesti kahteen eri tyyppiin. Liimatyyppin 1 mukaista liimaa saa käyttää kaikissa eurokoodi 5:n mukaisissa käyttöluokissa 1–3. Jos liimapuussa on käytetty liimatyyppin 2 liimaa, liimapuuta voidaan käyttää vain käyttöluokan 1 mukaisissa olosuhteissa. (Vesanen & Viljakainen 2014, s. 19.)

Liimapuun liimauksessa käytetään värittömiä MUF- ja PUR-liimoja. MUF-liimat ovat kaksikomponenttisiä melamiini-urea-formaldehydiliimoja ja PUR-liimat ovat yksikomponenttisiä polyuretaaniliimoja. (Puuinfo 23.06.2020.)

3 LIIMARUUVILIITOKSEN LIITOSTAVAT PERUSTUKSIIN

3.1 Pultattava pilarikengäliitos

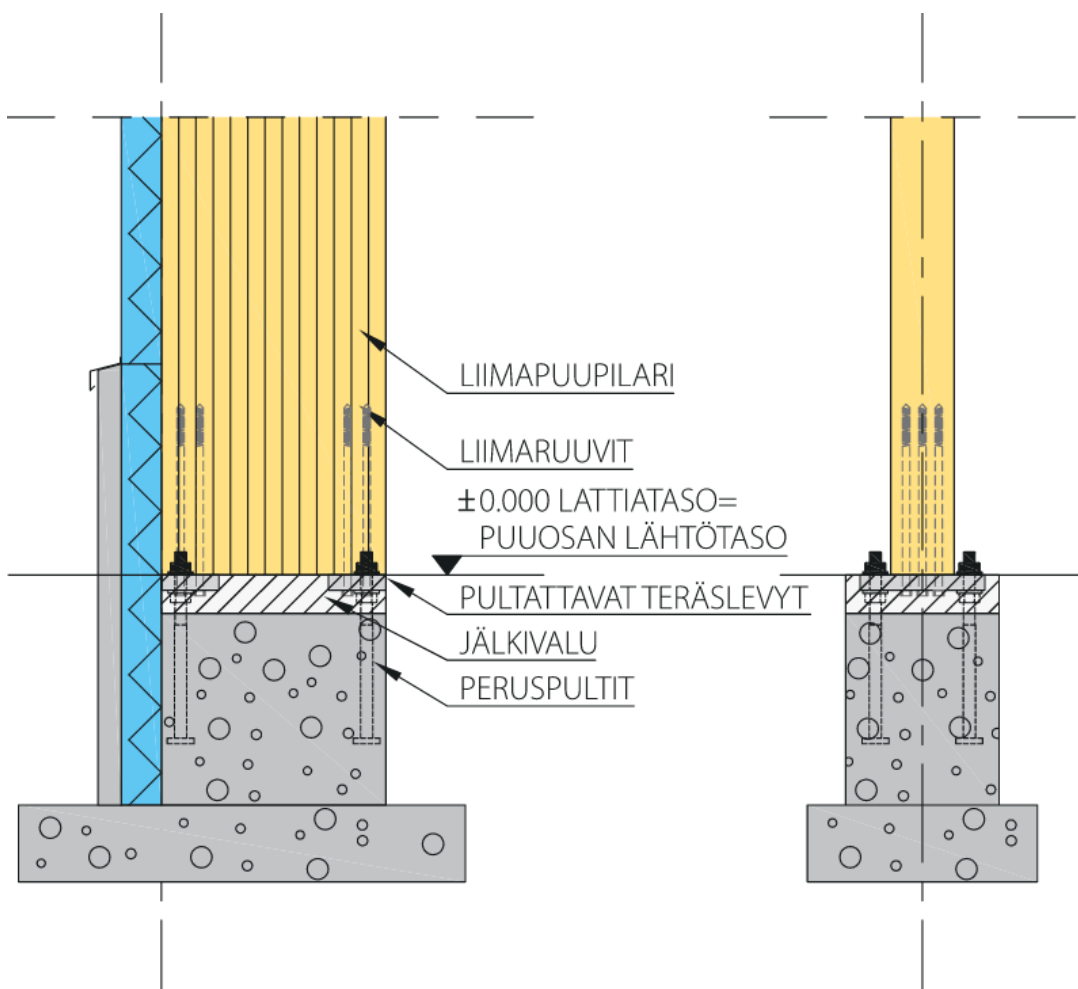
Kuviossa 1 esitetty pultattava pilarikengäliitos on yleisin käytössä oleva liitososa liimaruuviliitoksessa. Hitsaamalla koottu 100 mm – 150 mm korkea pilarikengä kiinnittyy yläosastaan liimaruuvien kautta pilariin ja alaosastaan peruspultteihin. Pilarissa käytetään kahta pilarikengää, joista toinen ottaa vastaan vetoa ja toinen puristusta. Pilarikengät mitoitetaan kestämään sille aiheutuvat kuormitukset. Liitoksella on hyvät säätömahdollisuudet. Liitososa vaatii noin 200 mm asennusvarauksen. Pilarikengällä tehdystä liitoksesta jälkivalu tulee liitososan päälle, mikä suojaa liitosta ja antaa sille siistin ulkonäön. (Laine 2012, s. 19.)



Kuvio 1. Periaatekuva pultattavasta pilarikengäliitoksesta (Wersowood 2020, s. 10).

3.2 Pultattava teräslevyliitos

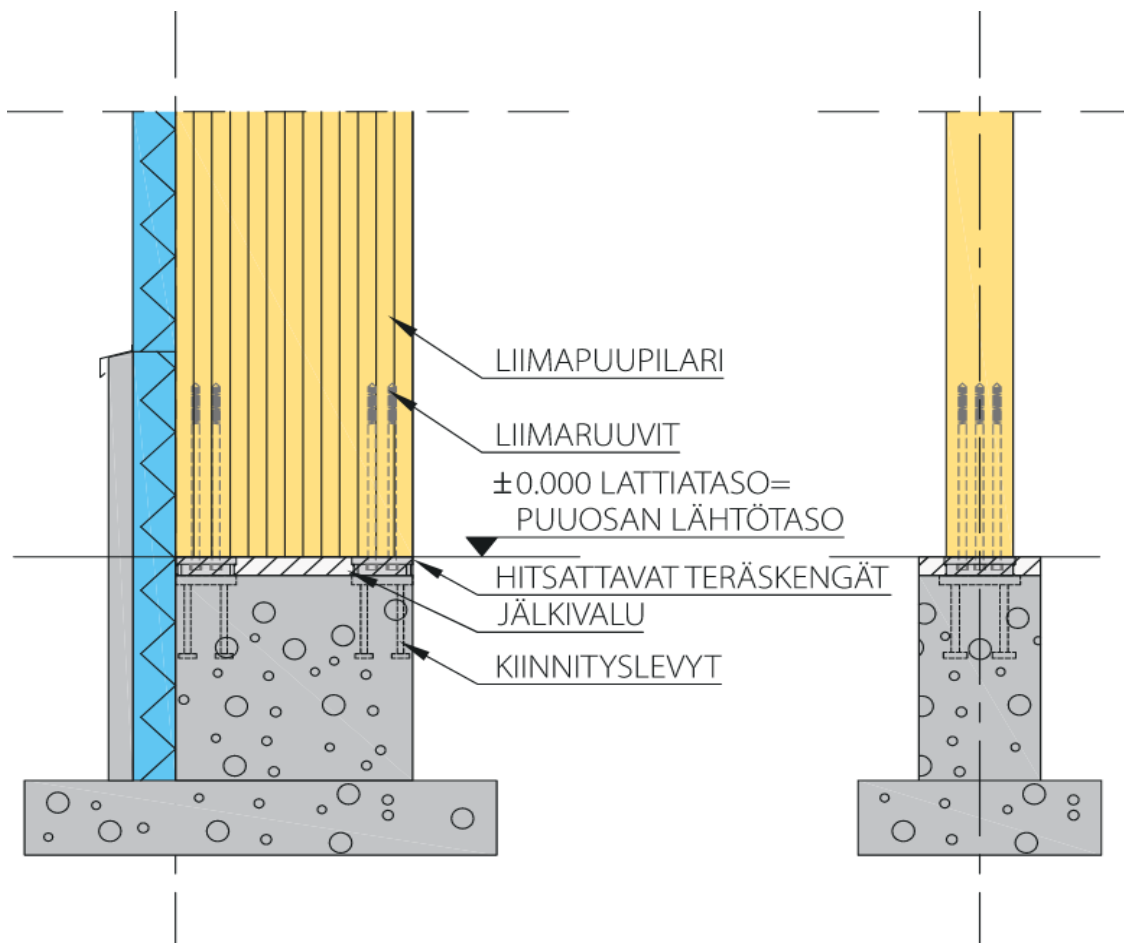
Kuviossa 2 on esitetty pultattava teräslevyliitos. Lattateräslevy on 20 mm – 40 mm, joka kiinnitetään pilariin liimaruuveilla ja peruspultteihin pulttikiinnityksellä. Teräslevynä voidaan käyttää yhtä koko pilarin levyistä teräslevyä tai kahta pienempää teräslevyä pultattavien pilarikenkien tapaan. Teräslevyn mitat ja paksuus mitoitetaan pilarin koon ja kuormitusten mukaan. Liitoksen vaatima asennusvaraus on noin 100 mm. Peruspulttien päät ja kiinnitysmutterit jäävät jälkivalun päälle näkyviin, mikä rajoittaa liitoksen käyttöä. Liitos on yksinkertainen ja edullinen toteuttaa. (Laine 2012, s. 20.)



Kuvio 2. Periaatekuva pultattavasta teräslevyliitoksesta (Wersowood 2020, s. 10).

3.3 Hitsattava pilarikenkäliitos

Kuviossa 3 on esitetty hitsattava pilarikenkäliitos. Hitsaamalla valmistettava teräsosa kiinnitetään liimaruuveilla pilarin alapäähän. Osa koostuu yhdestä tai kahdesta pilarin alapintaa vasten olevasta levystä ja levyn reunoihin hitsattavista matalista seinämistä. Pilarikenkä hitsataan peruspilarissa sijaitseviin kiinnityslevyihin. Liitososien mitat ja paksuus mitoitetaan pilarin koon ja kuormitusten mukaan. Asennusvaraus on vain noin 50 mm. Kyseistä liitostyyppiä käytettäessä peruspilarista voidaan tehdä matalampi, koska peruspilariin upotettavat kiinnityslevyt ovat matalampia kuin peruspilarit. Liitoksessa ei ole säätömahdollisuutta ja hitsattavat liitokset ovat haastavampia työmaalla kuin pulttiliitokset. (Laine 2012, s. 21.)



Kuvio 3. Periaatekuva hitsattavasta teräslevyliitoksesta (Wersowood 2020, s. 10).

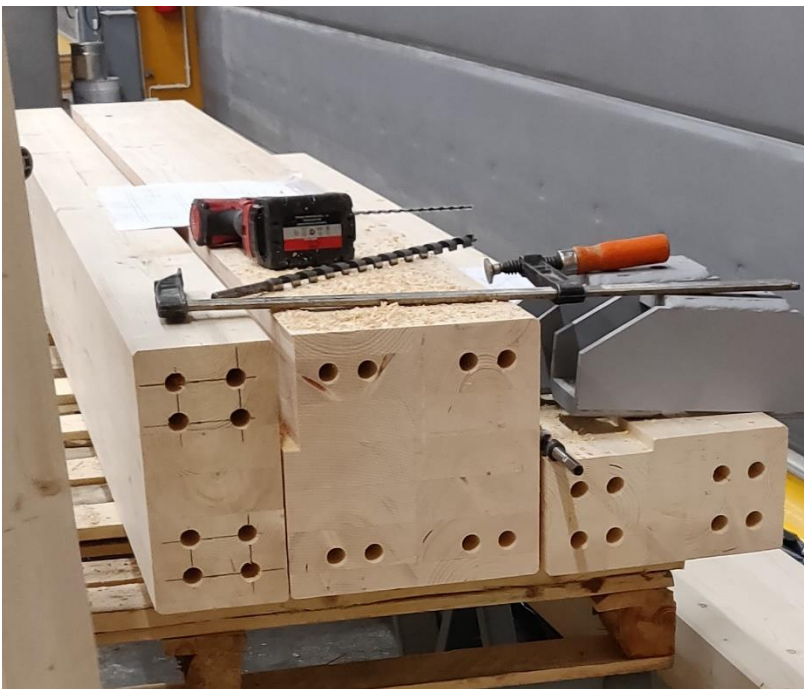
4 MESSUKOHTEESEEN VALIKOIDUT YKSITYISKOHDAT

4.1 Pilarit

Pilarit pyritään pitämään leikkauspinta-alaltaan optimaalisen kokoisina, jotta ne sopisivat ulkonäöllisesti hyvin seinälle, joka koostuu ainoastaan lasista ja pilareista.

Pilareiden koko muodostuu niihin kohdistuvien voimien sekä ruuvien varoetäisyyksien mukaan. Lisäksi pilareihin tehdään työstöjä esimerkiksi liukuovien karmeille, jotka tulee myös huomioida varoetäisyyksissä.

Kuvassa 1 on nähtävissä kohteen kolmen erilaisen pilarin poikkileikkaukset ja niiden eroavaisuudet. Pilarit ovat kooltaan 140 mm x 270 mm ja 270 mm x 270 mm. Pilareiden lujuusluokka on GL32h.



Kuva 1. Pilarit.

4.2 Liimaruuviliitostyyppi

Pilarit ovat keskeisessä osassa rakennuksen arkkitehtuuria, joten liitostavaksi valikoitui kuvassa 2 nähtävä pultattava pilarikenkä. Tässä liitoksessa on siisti ulkonäkö sekä hyvät ja helpot säätömahdollisuudet.



Kuva 2. Liitostyyppi.

4.3 Liittimet

Kuvassa 3 on nähtävänä käytetyt ruuvit, joiden pituus on 500 mm ja paksuus 19 mm. Kierreosuuden pituus on 200 mm ja lujuusluokka on 5.8. Pilarissa olevien ruuvien lukumäärää määrättyy pilariin kohdistuvien voimien mukaan. Lisäksi alkutestaukseen lähetettävissä koe-kappaleissa tulee olla kokonaispituudeltaan 1100 mm pitkät liittimet, jotka valmistettiin katkaisemalla kuvan 3 liittimet sileältä osalta ja hitsaamalla väliin 600 mm pitkä pyörötanko.



Kuva 3. Liimaruuvi.

4.4 Liima

Liimana käytettiin Loctite cr 421 purbondia, joka perustuu kaksikomponenttiseen polyuretaaniteknologiaan ja se on valmistettu ilman liuottimia tai formaldehydiä. Lisätietoja liimasta liitteessä 1 ja liimaukseen tilattu välinepaketti liitteessä 2.

4.5 Pilarikengä

Pilarikengät suunnitellaan ja valmistetaan tapauskohtaisesti. Pilarikengään kohdistuvat kuormitukset vaikuttavat niiden kokoon ja levyosien paksuuksiin. Pilarikengä on kahta eri kokoa, kuten kuvassa 4 näkyy.



Kuva 4. Pilarikengät.

4.6 Vetolaite omaan laadunvalvontaan

Jokaista liimaussarjaa kohden tehdään koekappale, jolla varmistetaan, että liimauksen laatu täyttää sille laaditut laatuvaatimukset. Laadunvalvonta suoritetaan tähän tarkoitukseen valmistetulla vetolaitteella (kuva 5), joka mittaa liittimen tartuntakestävyyden. Murtokuormat kirjataan testauspöytäkirjaan.



Kuva 5. Vetolaite.

5 LIIMARUUVILIITOKSEN VALMISTUKSELLE ASETETUT VAATIMUKSET

5.1 Valmistukselle asetetut vaatimukset

Kun liimaruuviliitoksen valmistus aloitetaan, tulee suorittaa valmistusmenetelmän alkutestaus liimaruuvien tai -tangon tartuntavetokokeet EN 26891 mukaisella menettelyllä. Koekappaleiden valmistuksen tulee vastata normaalisti tuotannossa käytettäviä materiaaleja ja valmistusmenetelmiä. Lisäksi testauslaitoksella tulee olla puurakenteiden kiinnittimien testausmenetelmän EN 26891 kattava akkreditointi. Koesarjan tulosten tulee täyttää EN 145358 standardin mukainen näytteiden hyväksymisehtotarkastelu, kun tuloksia verrataan suunnitteluohjeessa ilmoitettuun tartuntakestävyuden ominaisarvoon. (Ympäristöministeriö 2014, s. 7–8.)

5.1.1 Puu

Liimapuun tulee olla standardin EN 14080 mukaista liimapuuta, ja lisäksi liimapuu voi olla ETA:n (eurooppalainen tekninen arviointi) tai varmennustodistuksen mukaista 2–5-lamellista liimapuuta. Puutavara voi olla standardin EN 14374 mukaista viilupuuta, ETA:n mukaista CLT:tä, standardin 14081–1 mukaista havupuusahatavaraa tai suomalaista pyöreää puutavaraa, jonka lujuusluokaksi voidaan olettaa enintään standardin EN 338:n mukainen C30. (Ympäristöministeriö 2014, s. 5–6.)

Puun kosteus liimaushetkellä voi olla keskimäärin 3 prosenttiyksikköä suurempi kuin rakenteelle suunniteltu alin kosteuspitoisuus, kun liitos kuuluu käyttöluokkaan 1 tai 2. Lisäksi varmistetaan, että puutavaran laatu, lujuusluokka ja mitat vastaavat rakennesuunnitelmaa.

5.1.2 Liima ja liimaus

Liiman pitää olla puun ja metallin rakenteelliseen liimaukseen hyväksyttyä epoksi-, polyuretaani- tai resorsinoliimaa, joka täyttää vähintään standardin EN 301 liimatyypin 2 vaatimukset. Liiman tulee täyttää standardin EN 301 liimatyypille 1 asetetut vaatimukset, jos liitoksen kantavuudelle on asetettu palonkestovaatimuksia tai liitos kuuluu standardin EN 1995-1-1 käyttöluokan 3 olosuhteisiin. (Ympäristöministeriö 2014, s. 6.)

Liiman käyttöohje ja käyttöturvallisuustiedote tulee olla saatavilla. Kaksikomponenttisen liiman sekoitussuhde pitää olla valmistajan ohjeiden mukainen, ja liima tulee käyttää siinä ajassa, minkä valmistaja on sille määrännyt.

Liimaustyöstä pidetään liimauspöytäkirjaa, johon kirjataan liimauksen aloitus- ja lopetusaika. Liimauspaikan lämpötila tulee olla vähintään 15 °C, lisäksi lämpötilan vaikutus ja suhteellisen kosteuden vuorokausikeskiarvo tulee huomioida valmistajan ohjeiden mukaan. Liimaus tulee suorittaa samoin kuin valmistusmenetelmän alkutestauksessa.

5.1.3 Liittimet

Liimaruuvien ja liimatankojen tulee olla CE -merkinnällä tai varmennustodistuksella valmistettuja rakenteelliseen käyttöön tarkoitettuja ruuveja, pultteja, harjateräksiä tai kierretankoja, jotka on valmistettu seostamattomasta teräksestä tai austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä tai standardin EN 10083-1, EN 10263, EN 10269, EN 10016, EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10149-1, EN 10277-2 mukaisesta seostamattomasta teräksestä tai standardin EN 10083-1 tai 10088 mukaisesta austeniittisestä teräksestä valssaamalla, vetämällä, tyssäämällä ja/tai lastuavalla työstöllä valmistettuja kansiruuveja tai profiloituja tankoja. (Ympäristöministeriö 2014, s. 6.)

Standardien mukaan valmistetuissa liittimissä saa olla mittapoikkeamaa halkaisijassa ja pituudessa enintään 2,5 % ja muissa mitoissa enintään 5 %, lisäksi venymän A5 tulee olla vähintään 8 % määritettynä standardin EN ISO 6892-1 mukaan. Vetomurto- ja myötölujuuden ominaisarvot määritetään standardin EN 14592 mukaan, jos kyseessä on kansiruuvi, ja profiloidulla tangolla standardien EN 10218-1 ja EN ISO 6892-1 mukaan, kun ominaisarvo laskeaan koetuloksista standardin EN 14358 mukaan. Leikkauskuormitettuna käytettäville liittimille määritetään myötömomentin ominaisarvo standardin EN 14592 mukaisella menettelyllä. Korroosiosuojaus tulee varmentaa käyttöluokassa 3 olevissa liittimissä joko testaamalla standardin EN 10244-2 mukaan tai ainestodistuksella, jos kyseessä on ruostumaton teräs. (Ympäristöministeriö 2014, s. 6.)

Liittimien pitää vastata rakennepiirustuksien merkintöjä. Pinnoittamattomien liittimien tulee olla hiekka- tai teräsraepuhallettuja, ja niitä säilytetään kuivassa ja pölyltä suojatussa paikassa.

5.2 Sisäiselle laadunvalvonnalle asetetut vaatimukset

5.2.1 Puu

Valmistajan tulee tarkistaa jokaisen valmistussarjan alussa, että puuosat ovat rakennepiirustusten mukaisia, ja yhdestä puuosasta mitataan, että puun keskimääräinen ja yksittäiset kosteuspitoisuudet ovat vaatimusten mukaiset. Lisäksi liittimille porattujen reikien on täytettävä toleranssivaatimukset.

5.2.2 Liima ja liimaus

Valmistajan tulee tarkistaa, että käytettävä liima on varmennustodistuksen mukaista ja liiman viimeistä käyttöpäivää ei ole vielä ohitettu. Liimaolosuhteiden täytyy olla asetettujen vaatimusten mukaisia. Liimauspöytäkirjaan merkitään liimauksen aloitus- ja lopetusaika sekä liimauksen aikana vallitseva lämpötila ja suhteellinen kosteus. Liimausaika ei saa ylittää sallitua lämpötilasta riippuvaa enimmäisaikaa. Pöytäkirjoja tulee säilyttää vähintään 10 vuotta. (Ympäristöministeriö 2014, s. 10.)

5.2.3 Liittimet

Valmistaja tarkistaa, että liittimet vastaavat rakennepiirustuksissa olevia ja että liittimet ovat puhdistettuja.

5.2.4 Liimauksen laadunvalvonta

Valmistaja valmistaa vähintään yhden liimaruuvien tai liimatangon käsittävän laadunvalvontakoekappaleen kutakin alkavaa liimaliitosten valmistuksen 8 tunnin työvuoroa kohden.

Koekappaleet valmistetaan täsmälleen samoin kuin varsinaiset valmistuskappaleet, lisäksi koekappaleiden mitat ja materiaalit on määritelty laadunvalvontasopimuksessa.

Koekappaleista testataan liittimen tartuntakestävyys, joka suoritetaan akkreditoitun laitoksen kalibroimalla laitteella ja laadunvalvontasopimuksen mukaisella tavalla. Murtokuorman tulee olla suurempi kuin suunnitteluohjeessa oleva liittimen tartuntakestävyuden ominaisarvo. Lisäksi kaikki murtokuormat kirjataan testauspöytäkirjaan. (Ympäristöministeriö 2014, s. 11.)

5.2.5 Poikkeavat tulokset

Valmistajan havaitessa poikkeavia tuloksia puussa, liimassa, liittimissä, lämpötilassa, suhteellisessa kosteudessa, liimauksessa, liimauksen laadunvalvonnantestauksessa tai merkitsemisessä tulee tarkistus tai mittaus välittömästi uusida. Mikäli puusta otettu yksittäisen koetuloksen vaatimus ei täyty, tehdään vastaavan valmistussarjan tuotteesta tai tuotteista vähintään kaksi lisätestiä. Lisätesteillä täydennetyn erän koetulokset tarkastellaan standardin EN 14358 kohdan 5 mukaisella näytteen hyväksymisehtotarkastelulla, kun ominaisarvona on suunnitteluohjeessa ilmoitettu liittimen tartuntakestävyys. Mikäli lisätesteilläkään ei saada hyväksyttyä arvoa, tulee valmistajan varmistaa, että kyseistä tuote-erää ei saa käyttää rakennepiirustusten mukaisesti ja tuotteeseen merkitään selvästi, liimaruuvi- tai liimatankoliitos on vaajaalaatuinen. (Ympäristöministeriö 2014, s. 11.)

Liitosten valmistusta jatketaan vasta kun poikkeaman syy on selvitetty ja korjaavat toimenpiteet hoidettu. Kaikki tulee kirjata huolellisesti laadunvalvontapöytäkirjaan.

5.2.6 Kirjanpito

Laadunvalvontapäiväkirjoja säilytetään vähintään 10 vuotta ja niitä täytetään aina kun liimaliitoksia valmistetaan. Päiväkirjaan kirjattavat asiat ovat tarkastus-, mittaus-, ja testaustulokset vaatimusten mukaisesti sekä laadunvalvonnasta vastaavat henkilöt, päivämäärä ja niiden tuotteiden tunnuksat, joihin valvonta kohdistuu. (Ympäristöministeriö 2014, s. 11.)

6 MASTOPILARIN JA LIIMARUVILIITOKSEN MITOITUS

6.1 Mastopilari

Mitoituksessa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 ja sen kansallisista liitteistä, RIL 201-1-2017:sta tai puurakenteille yksinkertaistettuna RIL 205-1-2017 ohjeen kohdasta 2.3.1.4S (Puuinfo 22.7.2020).

Mastopilari tulee mitoittaa puristukselle, taivutukselle, nurjahdukselle, kiepahdukselle sekä leikkaukselle. Lisäksi jos pilarilta vaaditaan palonaikaista rakenteellista kestävyyttä, tulee suorittaa palomitoitus. Mastopilarin mitoitus on esitetty liitteessä 3.

6.2 Liimaruuviliitoksen mitoitus

Liimaruuviliitoksen mitoitus perustuu lausuntoon VTT-S-05701–14. Laskentaa voi käyttää, koska rakenteen käyttöluokka on 1. (Puuinfo 2015, s. 4.)

Tässä opinnäytetyössä liimaruuviliitokselta ei vaadita palokestävyyttä. Liimaruuviliitos mitoitetaan kohteessa käytettyjen liiman, ruuvien, liimapuun ja kuormitusten mukaan. Liimaruuviliitoksen mitoitus on esitetty Excel-taulukolla liitteessä 4.

Liimaruuvit on esitetty kohdassa 4.3. Mitoitusohjeessa ruuvit ovat kärkiosaltaan 100 – 150 mm:n pituudelta kierteistettyjä ja liitoksessa käytetyissä liimaruuveissa on kierteistetty pituus on 200 mm. Tämä ei vaikuta Eurofins Expert Services Oy:n johtavan asiantuntijan A. Kevarinmäen (henkilökohtainen tiedonanto 12.8.2021) mukaan mitoitukseen.

Liitoksessa käytettävä liima on esitetty kohdassa 4.4. Kyseessä on polyuretaaniliima, minkä takia mitoituksessa käytetään liimaruuvien lujutena S235JRG2.

Mitoitusohjeessa on esitetty porattavien reikien kooksi 20 mm reikä ruuvin sileän osan syvyydellä ja edellisen reiän pohjaan porataan 16 mm reikä siten, että reiän kokonaissyvyys vastaa ruuvin tartuntapituutta L_a . Pohjaan porattava reikä on 18 mm. Eurofins Expert Services Oy:n johtavan asiantuntijan A. Kevarinmäen (henkilökohtainen tiedonanto 12.8.2021) mukaan tätä

voi käyttää ja valmistuksessa voi halutessa vaihtaa 16 mm reikään, koska 18 mm reikä on kriittisempi tapaus.

Pilarin alapään liitos on jäykkä, ja se siirtää perustuksille momentin sekä pysty- ja vaakakuormat. Pilarikengän veto- ja puristusvoima lasketaan kaavoista 1 ja 2

$$A_d = \frac{M_d}{e} - \frac{N_d}{2} \quad (1)$$

$$B_d = \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2} \quad (2)$$

missä

- M_d on liitokseen vaikuttavan momentin mitoitusarvo
- e on veto- ja puristusvoiman etäisyys toisistaan
- N_d on liitokseen vaikuttavan normaalivoiman mitoitusarvo.

Liimaruuvien normaalikestävyyden mitoitusarvo $R_{ax,d}$ lasketaan kaavasta 3

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}} \\ k_{mod} * \frac{R_{a,k}}{\gamma_M} \end{array} \right. \quad (3)$$

missä

- $R_{y,k}$ on ruuvien myötökestävyyden ominaisarvo, joka on 62 kN, kun ruuvien lujuusluokka on S235
- $\gamma_{M,y}$ on ruuvien myötökestävyydelle käytettävä osavarmuusluku Suomessa 1,1
- k_{mod} on liimapuun muunnoskerroin, joka määräytyy taulukon 1 mukaan, josta saadaan arvoksi 1,1, kun käyttöluokka on 1 ja kuorman aikaluokka on hetkellinen
- γ_M on liimapuun osavarmuuslukuna, joka Suomessa on 1,25
- $R_{a,k}$ on ruuvien tartuntakestävyyden ominaisarvo, joka lasketaan kaavasta 4 kun käyttöluokka on 1 ja ruuvienlujuusluokka S235

$$R_{a,k} = \left(\frac{L_a}{490} \right) * 72 \text{ kN} \quad (4)$$

Taulukko 1. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot.

| Käyttö- luokka | Kuorman aikaluokka | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|-------------|
| | Pysyvä | Pitkäaikai- nen | Keskipitkä | Lyhytaikai- nen | Hetkellinen |
| 1 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| 2 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| 3 | 0,5 | 0,55 | 0,65 | 0,7 | 0,9 |

Vetorasitetun liimaruuviryhmän tulee lisäksi täyttää kaavan 5 ehto

$$F_{t,d} \leq n_t^{0,9} * R_{a,d} \quad (5)$$

missä

$F_{t,d}$ on vedetyn liimaryhmän mitoituskuorma, n_t on vedettyjen liimaruuvien lukumäärä

$R_{a,d}$ on ruuvien tartuntakestävyyden mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta 6

$$R_{a,d} = k_{\text{mod}} * \frac{R_{a,k}}{\gamma_M} \quad (6)$$

jonka symbolit on määritelty jo kaavassa 3.

Liimaruuviliitokseen vaikuttava leikkausvoima V_d otetaan vastaan pilarin puristetun reunan liimaruuveilla, jos ruuvien etäisyys liimapuupoikkileikkauksen leikkauskuormitetusta reunasta on $\geq 0,5 \cdot h$. Vetorasitetuilla liimaruuveilla ei oleteta olevan leikkauskestävyyttä.

Yhden liimaruuvien leikkauskestävyyden $R_{v,d}$ arvo katsotaan taulukosta 2, josta saadaan arvoksi tässä tilanteessa 7,0 kN.

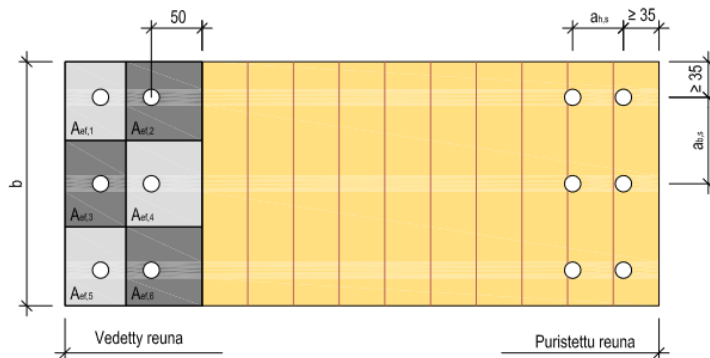
Taulukko 2. Yhden ruuvin leikkauskestävyys $R_{v,d}$ (kN).

| Ruuvi | Aikaluokka | | |
|------------------|------------|------------|-------------|
| | Pysyvä | Keskipitkä | Hetkellinen |
| S235JRG2 | 5,2 | 6,0 | 7,0 |
| Lujuusluokka 5.8 | 6,1 | 7,1 | 8,3 |

Koko liitoksen leikkauskestävyys $R_{v,d}$ saadaan kertomalla yhden liimaruuvien leikkauskestävyys puristuspuolella olevien liimaruuvien lukumäärällä.

Kuviossa 4 on esitetty liimaruuvien yleiset keskiöetäisyydet. Liimapuun vetokestävyttä laskettaessa yhden liimaruuvien suorakaiteen muotoinen tehollinen pinta-ala $A_{ef,i}$ ulottuu enintään 50 mm etäisyydelle ruuvien reiän keskeltä. Pinta-alaa $A_{ef,i}$ laskettaessa on siitä vähennettävä 16 mm porareikää vastaava pinta-ala 200 mm^2 ja vierekkäisten pinta-alojen päällekkäisiä pinta-aloja ei oteta huomioon.

Pilarin poikkileikkaus



$H_{2,k}$ kerrotaan luvulla 0,8 käyttöluokassa 2

YLEISET LIIMARUUVIEN KESKIÖETÄISYYDET

$a_{b,s} = 50 \text{ mm}$, kun ruuvi on S235 ja hetkellinen aikaluokka on mitoittava
 $a_{b,s} = 60 \text{ mm}$ muussa tapauksessa
 $a_{h,s} = 65 \text{ mm}$, kun ruuvi on S235 ja hetkellinen aikaluokka on mitoittava
 $a_{h,s} = 75 \text{ mm}$ muussa tapauksessa

LIIMARUUVIEN PIENIMMÄT KESKIÖETÄISYYDET

$a_{b,s} = 40 \text{ mm}$, kun liimapuun vetokestävyys täyttää kohdan 5.0 ehdon
 $a_{h,s} = 40 \text{ mm}$, kun liimapuun vetokestävyys täyttää kohdan 5.0 ehdon

LIIMARUUVIEN ASENNUSTARKKUUKUDET

porareian kohdistustarkkuus $\pm 2 \text{ mm}$
 porareian vinous $L / 100$

Kuvio 4. Liimaruuvien yleiset keskiöetäisyydet.

Liimaruuvien keskiöetäisyydet $a_{b,s}$ ja $a_{h,s}$ voidaan pienentää mittaan 40 mm, kun liimapuun vetokestävyys $N_{t,d}$ täyttää ehdon, joka lasketaan kaavasta 7

$$N_{t,d} = f_{t,d} * \sum_{i=1}^{n_t} A_{ef,i} \geq F_{t,d} \quad (7)$$

missä

$f_{t,d}$ on liimapuun vetolujuuden mitoitusarvo

- $A_{ef, i}$ on liimapuun tehollinen vetovyöhykkeen pinta-alaa ruuvia i kohden
 n_t on liitinryhmän vedettyjen liimaruuvien lukumäärä
 $F_{t, d}$ on vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma

7 LIIMARUUVILIITOKSEN TESTAUS JA TULOS

Tämä osio perustuu Eurofins Expert Services Oy:n testauslaboratorion lähettämään raporttiin.

7.1 Yleistä

Toimeksiannossa testattiin kolme liimaruuvikoekappaletta. Testit tehtiin Honkatalojen Ritolan tehtaalla käyttöönotettavan lausunnon EUFI29-19002809-T1 mukaisen liimaruuvausliitostekniikan edellyttämänä alkutestauksena. Käytettävä liima oli polyuretaaniliima LOCTITE CR421. Ruuvit olivat kärkiosaltaan 200 mm pituudelta kierteistettyjä kansiruuveja, joiden sileän osan nimellishalkaisija oli 19 mm. Ruuvien lujuusluokka oli 5.8. Ruuvien tartuntapituus puussa oli 490 mm. Ruuvien suunta yhtyi liimapuun syysuuntaan. Koekappaleiden kummasakin päässä oli samanlainen liimaruuviliitos. Testauksessa liimaruuviliitokset vetokuormitettiin murtoon noudattaen EN 26891 standardin mukaista kuormitusohjelmaa. Koetuloksista laskettiin liimaruuviliitoksen tartuntakestävyuden ominaisarvo noudattaen standardeja EN ISO 8790:2020 ja EN 14358:2016. Alkutestauksessa määritettyä tartuntalujuutta verrattiin suunnitteluohjelausunnon EUFI29-19002809-T1 mukaiseen liimaruuviliitoksen tartuntalujuuteen.

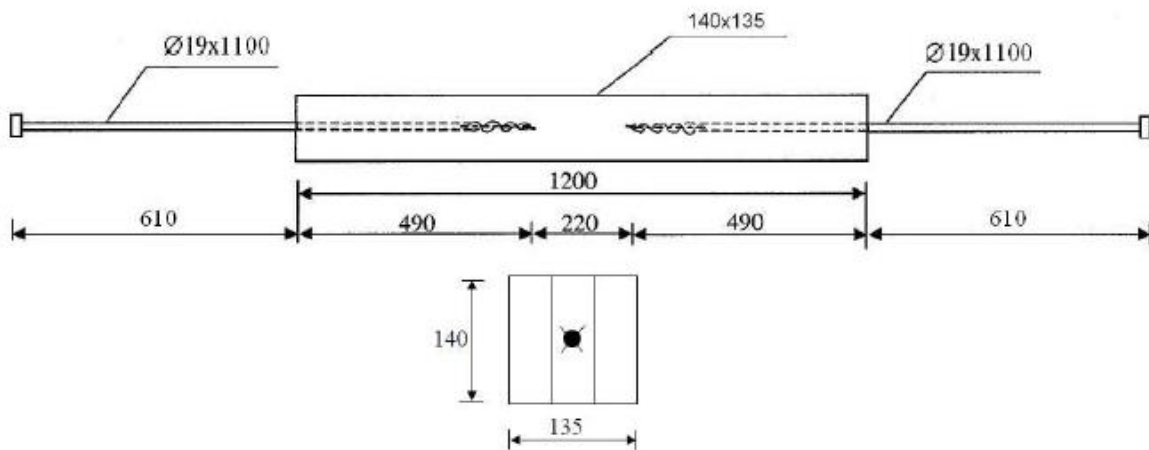
7.2 Koekappaleet

Koekappaleiden mittapiirustukset on esitetty kuviossa 5. Koesarjassa oli kolme samanlaista koekappaletta. Koekappaleiden puuosa oli poikkileikkaukseltaan 140 mm x 135 mm liimapuu, jossa oli kolme 45 mm x 140 mm lamellia. Liimapuuosat oli sahattu lujuusluokan GL32h liimapuupalkista siten, että jokainen koekappale tuli eri lamelleista. Koekappaleet valmistettiin Oy Primapoli Ltd:n Honkatalojen Ritolan tuotantolaitoksessa Töysässä.

Koekappaleissa käytetyt ruuvit olivat 500 mm pitkiä hiekkapuhaltamalla puhdistettuja kansiruuveja, joiden kärjen kierteistetyn osuuden pituus oli 200 mm ja tangon sileän osan nimellishalkaisijamitta 19,0 mm. Ruuvit oli jatkettu puuosan ulkopuolelta päittäishitsaamalla ruuvitankoon 600 mm pitkä 20 mm:n pyörötanko. Ruuvien lujuusluokka oli 5.8.

Tilajan antamien tietojen mukaan ruuvien liimauksessa oli käytetty kaksikomponenttista LOCTITE CR421 PURPOND -polyuretaaniliimaa. Liimapuuhun oli porattu ensin 310 mm

syvä reikä 20 mm poralla. Tämän jälkeen em. reiän pohjaan oli porattu 16 mm reikä niin, että reiän kokonaissyvyudeksi tuli 490 mm. Koekappaleiden valmistusohjeen mukaan ruuveja pyöritettiin liimakaukalossa niin, että ruuvi on kauttaaltaan liimassa noin 300 mm matkalta ruuvien kärjestä. Tämän jälkeen ruuvi työnnetään käsin vaaka-asentoon asetetun koekappaleen esiporattuun reikään niin syväälle kuin se menee. Loppuosuus kierrettiin ruuvinvääntimellä niin, että ruuvien tartuntapituudeksi puussa tulee 490 mm.



Kuvio 5. Koekappaleiden mittapiirros.

Koeliitokset liimattiin tehtaalla 8.10.2021. Ruuvien liimauksen jälkeen valmistaja säilytti koekappaleita tuotantohallissa 18.10.2021 asti +20 °C lämpötilassa, jälkeen koekappaleet lähetettiin Espooseen Eurofins Expert Services Oy:n testauslaboratorioon. Koekappaleet vastaanotettiin Eurofinsilla 20.10.2021, jossa niitä säilytettiin muovin käärytyssä paketissa testaukseen saakka. Välittömästi kuormituskokeiden jälkeen kunkin koekappaleen keskeltä otettiin keskimmäisestä lamellista kosteus- ja tiheysnäyte. Mitatut puun tiheydet ja kosteuspitoisuudet on esitetty kuviossa 7.

7.3 Testaus

Liimaruuviliitosten vetokokeet tehtiin Eurofins Expert Services Oy:n Rakenteiden testaushallissa Espoossa 22.10.2021. Testaajana toimi testauspäällikkö Antti Sivonen. Testausajan kohtana testaushallin ilman kosteus oli RH 45+5 % ja lämpötila oli 21+1 °C.

Kuormitus- ja mittausjärjestelyt on esitetty kuvassa 6. Vetotestit tehtiin pystyasennossa Amsler-merkkisellä 1 MN:n aineenkoestuskoneella kiinnittäen liimaruuvitankojen päät kuormituskoneen leukoihin. Kuormituksen ohjauksessa ja voiman mittauksessa käytettiin kalibroituja

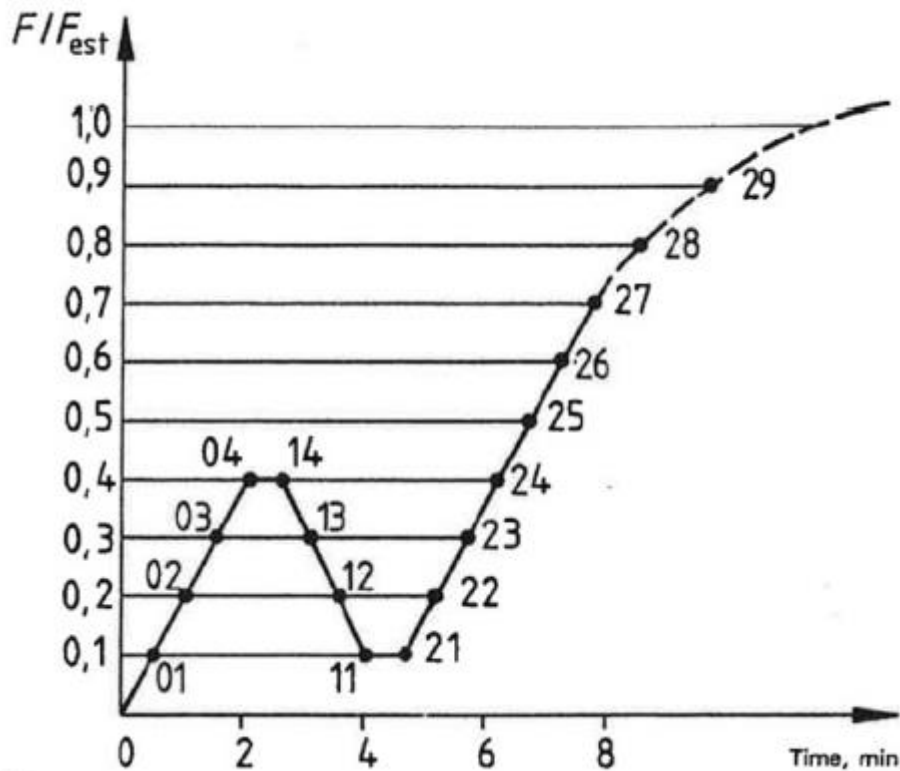
196 kN:n voimataulua. Liimaruuvien ja puun päädyn välistä liukumaa mitattiin kummastakin päästä kahdella vastakkaisille puolille asennetulla +10 mm:n induktiivisella anturilla. Anturit kiinnitettiin ruuviin noin 100 mm päähän puun päädyistä siten, että jousianturin mittauspää oli kontaktissa puun päähän.

Koekappaleiden arvioitu murtokuorma F_{est} oli 100 kN. Testaus sisälsi kuvion 6 mukaisen $0,4F_{est}$:n esikuormitusosuuden. Kuormitus toteutettiin sähköisesti voimaohjattuna kuormitusnopeudella $0,2F_{est}/\text{min}$ $0,7F_{est}$ voima-arvoon saakka. Tämän jälkeen kuormitusnopeutta pienennettiin lineaarisesti niin, että F_{est} voima-arvo saavutetaan kuormitusnopeudella $0,05F_{est}/\text{min}$. Koekappaleiden kokonaiskuormitusajat olivat noin 12 minuuttia.

Voima- ja siirtymäarvot tallennettiin yhden sekunnin välein. Liitoksen murtuessa voimaohjattu kuormitus jatkui äkillisenä sysäyksenä kuormitussyylinterille säädettyyn noin 30 mm liikevaraan saakka. Liimaruuvien tartunnasta murtunut liitospää halkaistiin ja valokuvattiin (kuva 8). Murtopinnasta määritettiin puustamurtoprosentti (kuvio 7).



Kuva 6. Kuormitus- ja mittausjärjestelyt.



Kuvio 6. Kuormituksessa noudatettu kuormitusaikakaavio.

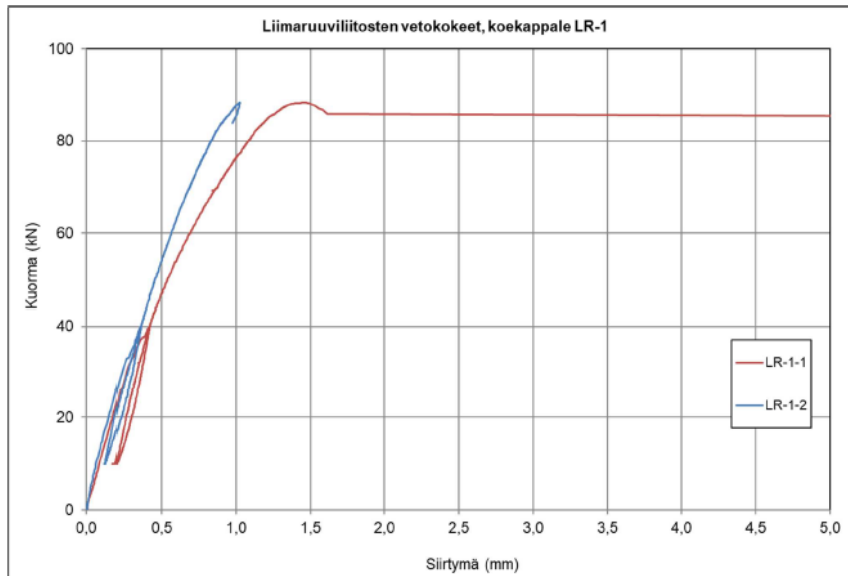
7.4 Koetulokset

Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet on esitetty kuvioissa 8, 9 ja 10. Kaikki esitetyt siirtymät ovat ruuvikohtaisia tangon vastakkaisilta puolilta mitattujen siirtymien keskiarvoja. Vedetyn liimaruuvien siirtymäkerroin k_S on laskettu EN 26891 standardin mukaan esikuormitusosuu-
della kuorma-arvojen $0,1F_{est}$ ja $0,4F_{est}$ välillä tapahtuneesta liitosliukumasta. Ruuvikohtaiset koetulokset on esitetty kuviossa 7.

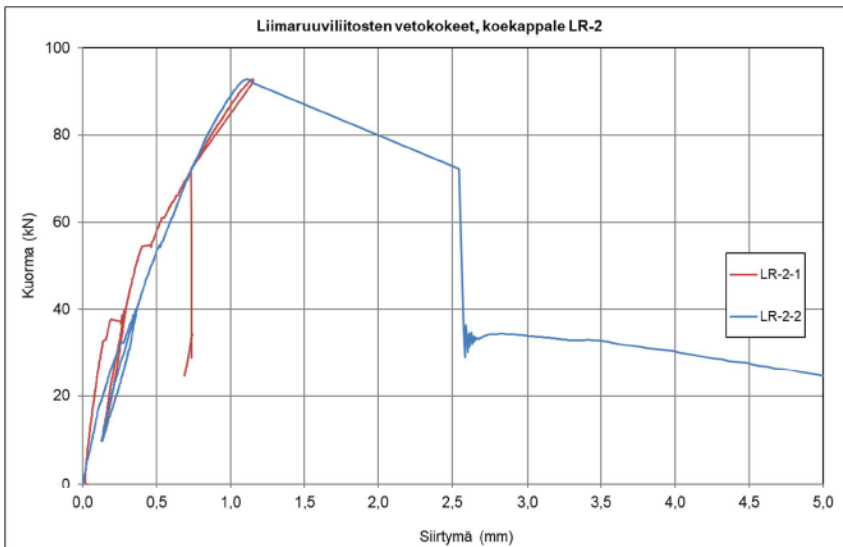
Koetulokset. ω on liimapuun kosteuspitoisuus ja ρ_ω tiheys. F_{\max} on maksimikuorma ja δ_{\max} sitä vastaava liimaruuviliitoksen siirtymä. k_s on liitoksen siirtymäkerroin. Puustamurtoprosentti on määritetty vain tartunnasta murtuneelle liimaruuville.

| Liitos | ω [%] | ρ_ω [kg/m ³] | F_{\max} [kN] | δ_{\max} [mm] | k_s [kN/mm] | Puustamurto [%] |
|------------------|--------------|------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------|-----------------|
| LR-1-1 | 14,5 | 459 | 88,33 | 1,46 | 91,8 | |
| LR-1-2 | 14,5 | 459 | 88,33 | 1,03 | 102,7 | |
| LR-2-1 | 14,6 | 458 | 92,71 | 1,15 | 123,0 | |
| LR-2-2 | 14,6 | 458 | 92,71 | 1,11 | 99,9 | 45 |
| LR-3-1 | 14,3 | 449 | 87,56 | 1,47 | 83,5 | |
| LR-3-2 | 14,3 | 449 | 87,56 | 1,05 | 144,2 | |
| Keskiarvo | 14,5 | 455 | 89,53 | 1,21 | 107,5 | 45 |
| Keskihajonta | 0,14 | 4,9 | 2,48 | 0,20 | 22,32 | |
| Variaatiokerroin | 0,9 % | 1,1 % | 2,8 % | 17 % | 20,8 % | |

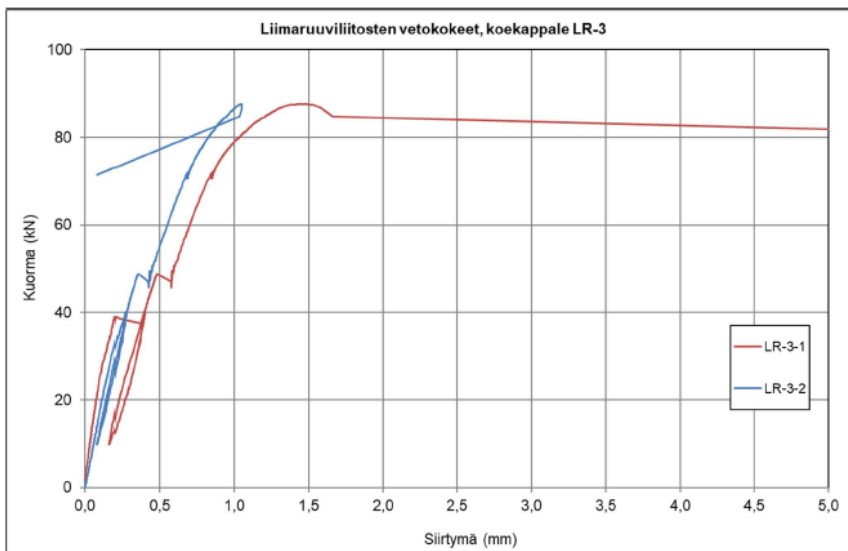
Kuvio 7. Koetulokset.



Kuvio 8. Koekappale LR-1.



Kuvio 9. Koekappale LR-2.



Kuvio 10. Koekappale LR-3.

Koekappaleiden LR-1 ja LR-3 murtotapa oli pyörötangon ja liimaruuvin pään välisen hitsausliitoksen pettäminen (ks. kuva 7). Koekappaleen LR-2 toisessa päässä tapahtui liimaruuvin tartuntamurto. Tartunnasta murtuneen ruuvin varren sileällä osalla murtopinta oli käytännössä kokonaan liimasaumassa terästangon pinnassa, kun ruuvin kierteisellä osalla murtopinta oli kauttaaltaan puussa (ks. kuva 8). Tällöin murtopinnan LR-2 koekappaleen murtopään puustamurtoprosentti on noin 45 %.



Kuva 7. Murtoon kuormitetut liimaruuviliitokset.



Kuva 8. Testin jälkeen halkaistu tartunnasta murtunut liimaruuviliitos LR-2-2.

7.5 Koetulosten tarkastelu

Kun koetuloksista lasketaan puun ominaisuuksista riippuva ruuvin tartuntalujuus, koetulokset vastaavat EN ISO 8970:2020 standardin mukaan sellaisen puutavaran lujuusluokkaa, jossa koesarjan koekappaleiden tiheyden keskiarvo poikkeaa alle 5 % kyseisen lujuusluokan tiheyden keskiarvosta ρ_{mean} . Suunnitteluohjelausunnossa EUFI29-19002809-T1 liimaruuvien

tartuntalujuus on annettu lujuusluokan GL30c mukaiselle liimapuulle, jonka tiheyden keskiarvo $\rho_{mean} = 430 \text{ kg/m}^3$. Koesarjan koekappaleiden tiheyden keskiarvoksi mitattiin 455 kg/m^3 puun kosteuspitoisuuden ollessa keskimäärin 14,5 %. Tällöin koetuloksista lasketun liitoskestävyyden ominaisarvon voidaan katsoa vastaavan liimapuun lujuusluokkaa GL30c.

EN ISO 8970:2020 -standardin mukaan ominaisarvon laskennassa tulee korottaa koetulosten keskihajontaa, mikäli koekappaleiden puun tiheyden variaatiokerroin $C_{V, \rho, sel}$ on pienempi kuin sen lujuusluokan puutavaran tiheyden variaatiokerroin $C_{V, \rho, tar}$, johon koetuloksia sovelletaan. Koesarjan tiheyden variaatiokerroin oli 1,1 %. Lujuusluokan GL30c liimapuun tiheyden variaatiokertoimeksi on oletettava vähintään 6 %, mikä vastaa normaalijakauman mukaista keskihajontaa, kun tiheyden ominaisarvo on 390 kg/m^3 ja keskiarvo on 430 kg/m^3 . Tällöin ruuvin tartuntalujuuden ominaisarvon laskennassa käytettävä koetulosten variaatiokerroin on korotettava testauksessa saadusta 2,8 %:n arvosta 7,6 %:iin (EN ISO 8970:n kaava A.2).

Liimaruuviliitoksen tartuntakestävyyden ominaisarvo lasketaan koetuloksista standardin EN 14358:2016 mukaan käyttäen logaritmista normaalijakaumaa ja EN ISO 8970 mukaan korjattua tilastollista standardipoikkeamaa $s_y = 0,076$. Ominaisarvon laskennassa käytettävä hajontakerroin k_s valitaan koeliitosten kokonaismäärän $n = 6$ mukaan, koska kussakin koekappaleessa oli kaksi liitosta, joilla molemmilla saavutettiin vähintään koekappaleen murtokuorma. Tällöin LOCTITE CR421 -polyuretaaniliimalla lujuusluokan GL30c liimapuuhun 490 mm tartuntapituudella liimatun liimaruuviliitoksen tartuntakestävyyden ominaisarvoksi saadaan $F_{a, Rk} = 75,0 \text{ kN}$.

Suunnitteluohjelausunnon EUFI29-19002809-T1 mukaan polyuretaaniliimalla 490 mm tartuntapituudella liimatun liimaruuviliitoksen tartuntakestävyyden ominaisarvona saadaan käyttää lujuusluokan S235 liimaruuville esitettyä arvoa $R_{a, k} = 72 \text{ kN}$. Liimaruuviliitosten alkutestauksessa saavutettiin siis suunnitteluohjeen mukainen polyuretaaniliimalla liimatun liimaruuviliitoksen tartuntakestävyyden ominaisarvo.

Lausunnon EUFI29-19002809-T1 mukaista suunnitteluohjetta voidaan soveltaa Honkatalojen Ritolan tehtaalla LOCTITE CR421 -polyuretaaniliimalla liimattujen kärkeäsaltaan 200 mm pituudelta kierteistettyjen lujuusluokan 5.8 liimaruuviliitosten suunnitteluun, kun liimaruuviliitoksen tartuntakestävyys lasketaan lujuusluokan S235 liimaruuville esitetyllä tavalla.

8 POHDINTA

Honkatalot on talotehdas, joka valmistaa itse liimapuunsa. Näin ollen sen on kustannustehokkaampaa valmistaa momenttijäykkä liitos liimaruuviliitoksella kuin teetättää teräspilari kyseiseen tarkoitukseen. Puupilarilla on pienempi hiilijalanjälki kuin teräspilarilla, joten se sopii hyvin Honkatalojen arvoihin. Lisäksi teräspilaria käytettäessä voi olla suurempi riski kosteuden kondensoitumiselle verrattuna liimapuusta valmistettuun pilariin.

Liimaruuvilla valmistetuissa liitoksissa kiinnitettävä osa on yleensä melko pieni, koska liitos valmistetaan tehtaalla valmiiksi ja kuljetetaan työmaalle. Liimatangolla tehtävä liitos olisi monipuolisempi, koska sitä voisi käyttää esimerkiksi niin, että liimataan kierretanko liimapuupilarin päähän tehtaalla ja siihen kiinnitetään liimapuupalkki vasta työmaalla muttereita hyväksikäyttäen. Liimaruuviliitoksen vaihtaminen liimatankoon vaatisi uudet alkutestaukset kyseiselle liitokselle.

Momenttijäykkiä pilareita tarvitaan kohteissa, joissa ei ole esimerkiksi jäykistäviä väliseiniä apuna rakennuksen jäykistämiseksi. Pilarikengällä varustettu liimaruuviliitos on huomaamaton, koska kenkä ja ruuvit jäävät lattiarakenteiden sisään piiloon. Näin se on oikeastaan ainoa vaihtoehto, jota voi käyttää omakotitalon sisätiloissa näkyvällä paikalla olevissa pilareissa. Pilarit, jotka ovat näkyvällä paikalla, pidetään yleensä mahdollisimman sievän kokoisina, jotta ne sopivat arkkitehtuuriin.

Liimaruuviliitoksen valmistus on hyvä lisä Honkatalojen repertuaariin, koska monille on nykyään tärkeää, että oma talo on rakennettu mahdollisimman "vihreästi", ja nyt voidaan vähentää teräspilareiden käyttöä. Liimatangosta valmistettu liitos kannattaisi ottaa myös käyttöön, koska se toisi lisämahdollisuuksia suunnitteluun.

LÄHTEET

- Laine, P. 2012. Liimapuurunkoisen mastokehähallin liitostekniikka [AMK-opinnäytetyö, Saimaan ammattikorkeakoulu] Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48999/laine_perttu.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Puuinfo. 23.6.2020. Puutieto: Puurakentamisen liimat. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.12.2021]. Saatavana: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/puurakentamisen-liimat/>
- Puuinfo. 22.7.2020. Suunnittelu: Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.2.2022]. Saatavana: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>
- Puuinfo. 28.4.2015. Suunnittelu: HalliPES_1.0_Osa_14_Voimaliitokset 2.12 [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.2.2020]. Saatavana: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/HalliPES_1-0_Osa_14_Voimaliitokset-2.12..pdf
- Vesänen, T., & Viljakainen, M. 2014. Liimapuukäsikirja: Osa 1. Suomen liimapuuyhdistys & Puuinfo. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.11.2021]. Saatavana: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>
- Vesänen, T., & Viljakainen, M. 2015. Liimapuukäsikirja: Osa 2. Suomen liimapuuyhdistys & Puuinfo. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.11.2021]. Saatavana: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-2.pdf>
- Wersowood. 2020. Liimapuuesite: Verso liimapuu kotimainen ja ekologinen laatutuote. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.12.2021]. Saatavana: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Verso-liimapuu.pdf>
- Ympäristöministeriö (YM). 2.7.2014 Varmennustodistus: Puurakenteiden vetorasitetut ja liimatut terästanko- ja ruuviliittimet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.3.2022]. Saatavana: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7b0CAA456C-4A1E-4B96-A14F-8048E6B715B5%7d/108693>

LIITTEET

Liite 1. Loctite cr 421 purbon

Liite 2. Liimaukseen tilattu välinepaketti

Liite 3. Mastopilarin mitoitus

Liite 4. Liimaruuviliitoksen mitoitus

Liite 1. Loctite cr 421 purbon



LOCTITE CR 421 PURBOND

Two-component polyurethane system for bonding threaded rods and steel rebar into structural timber components

LOCTITE CR 421 PURBOND
Henkel & Cie. AG / 01-2017

Properties

LOCTITE CR 421 PURBOND is based on two-component polyurethane technology and is manufactured without solvents or formaldehyde.

LOCTITE CR 421 PURBOND is classified as a Type 1 adhesive which is approved and registered according to page 5 of this data sheet ("Certifications and registrations").

Applications

LOCTITE CR 421 PURBOND is used for anchoring purposes and to transfer tensile and compressive loads in wood components by means of glued-in threaded rods and steel rebar inserted along or perpendicular to the grain direction.

Product data

| | |
|------------------------|--|
| Base | Polyurethane |
| Consistency | Good flow properties |
| Solids content | 100% |
| Color shade | Beige |
| Pot life | 10 minutes (for 100 g mix and 20 °C) |
| Gel time | 5 minutes |
| | Gel time begins after pot life has elapsed. During the 5-minute gel time, the steel parts can be aligned. Once the gel time has elapsed, the components must be immobilized for 5 ½ hours. |
| Curing characteristics | A post-curing period of at least 48 hours at 20 °C or higher is required. The full load shall not be applied until after 10 days. |

Adhesive systems for engineered wood



| | |
|-------------------------------------|--|
| Brookfield viscosity | Component A: approx. 25,000 mPa.s Component B: approx. 250 mPa.s Mixture (A + B): approx. 9,000 mPa.s |
| Density | Component A: 1.41 g/ml Component B: 1.22 g/ml Mixture (A + B): 1.35 g/ml |
| Mixing ratio | By volume: A: B = 2 : 1 By weight: A: B = 2.28 : 1 → Add 0.44 kg of component B to 1.00 kg of component A |
| Fire hazard | Flame resistant |
| Resistance | To weak alkalis, acids, and solvents |
| Storage life | At optimal storage temperature of 15 - 25 °C, the shelf life is unopened 6 months (note expiration date). Storage under 10 °C and above 35 °C shall be avoided. |
| Declaration | The Safety Data Sheet (MSDS) for LOCTITE CR 421 PURBOND must be observed. |
| Material specifications | Material specifications for cured LOCTITE CR 421 PURBOND |
| Shore D hardness (DIN 53505) | 84 |
| Tensile strength (ISO 527) | ~ 25 – 30 N/mm ² at approx. 2 % elongation at break |
| Compressive strength | 79.9 N/mm ² at 20 °C |
| Modulus of elasticity | 1560 N/mm ² at 20 °C |

Adhesive systems for engineered wood



Excerpts from component tests

Threaded rod (DIN 978-1) parallel to wood grain

| Rod ϕ (mm) | d_L | Hole ϕ (mm) | d_h | Insertion length (mm) | l_b | 6 | | 12 | | 16 | | 20 | | 30 | | | |
|-------------------------------------|--------------------|------------------|-------|-----------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 8 | 16 | 28 | 17 | 18 | 20 | 28 | 32 | | | | |
| Ultimate tensile strength (kN) | $F_{t,static}$ | 1) | 16.3 | 47.1 | 67.4 | 65.4 | 62.0 | 76.5 | 77.4 | 94.5 | 106.6 | 132.3 | 100.5 | 112.1 | 167.5 | 169.5 | 261.5 |
| | $F_{t,dynamic}$ | 2) | - | 50.7 | 64.4 | 75.1 | 64.2 | 65.8 | - | - | - | - | - | 86.4 | 143.2 | 170.6 | - |
| Shear strength (N/mm ²) | $\tau_{s,static}$ | 3) | 5.4 | 7.8 | 5.6 | 3.6 | 5.9 | 2.4 | 7.2 | 4.4 | 4.7 | 4.2 | 4.0 | 6.4 | 4.8 | 3.2 | 3.5 |
| | $\tau_{s,dynamic}$ | 3) | - | 8.4 | 5.3 | 4.2 | 6.1 | 2.1 | - | - | - | - | - | 4.9 | 4.1 | 3.2 | - |
| Slip modulus (kN/mm) | K_{slip} | 4) | 288.0 | 28.5 | 27.1 | 23.0 | 26.2 | 28.4 | 213.0 | 204.0 | 217.0 | 216.0 | 209.0 | 67.9 | 66.9 | 90.0 | 399.0 |

Ribbed steel rebar (DIN 488-1) – parallel to wood grain

| Rod ϕ (mm) | d_L | Hole ϕ (mm) | d_h | Insertion length (mm) | l_b | 12 | | 16 | | 20 | | 28 | |
|-------------------------------------|--------------------|------------------|-------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | | | | | | 16 | 28 | 200 | 400 | 200 | 400 | 600 | 700 |
| Ultimate tensile strength (kN) | $F_{t,static}$ | 1) | 51.2 | 73.4 | 35.8 | 73.6 | 72.4 | 154.8 | 96.8 | 169.0 | 196.0 | 289.4 | - |
| | $F_{t,dynamic}$ | 2) | 52.2 | 73.5 | 34.1 | 78.4 | - | - | 102.8 | 193.8 | 195.9 | - | |
| Shear strength (N/mm ²) | $\tau_{s,static}$ | 3) | 4.2 | 4.1 | 3.4 | 2.3 | 5.8 | 6.2 | 5.5 | 4.8 | 3.7 | 4.1 | |
| | $\tau_{s,dynamic}$ | 3) | 4.3 | 4.1 | 3.2 | 2.5 | - | - | 5.8 | 5.5 | 3.7 | - | |
| Slip modulus (kN/mm) | K_{slip} | 4) | 65.6 | 75.0 | 63.3 | 75.0 | 260.0 | 255.0 | 136.5 | 132.4 | 96.9 | 493.0 | |

Excerpts based on dimensioning calculations pursuant to DIN 1052:2004-08

Threaded rod (DIN 978-1) parallel to wood grain

| Rod ϕ (mm) | d_L | Hole ϕ (mm) | d_h | Insertion length (mm) | l_b | 6 | | 12 | | 16 | | 20 | | 30 | | | |
|-------------------------------------|--------------|------------------|-------|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | | | | | 8 | 16 | 28 | 17 | 18 | 20 | 28 | 32 | | | | |
| Ultimate tensile strength (kN) | F_{ts} | 5) | 9.0 | 18.1 | 36.2 | 46.8 | 18.1 | 46.8 | 40.2 | 65.3 | 65.3 | 74.9 | 65.3 | 50.3 | 81.7 | 98.0 | 167.9 |
| Shear strength (N/mm ²) | f_{ts} | 6) | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.6 | 1.7 | 1.5 | 3.8 | 3.1 | 2.9 | 2.4 | 2.6 | 2.9 | 2.3 | 1.9 | 2.2 |
| | $f_{ts,2.3}$ | 7) | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 3.5 | 4.0 | 3.5 | 4.0 | 3.3 | 3.3 | 2.7 | 3.3 | 4.0 | 3.3 | 2.6 | 2.4 |

Ribbed steel rebar (DIN 488-1) – parallel to wood grain

| Rod ϕ (mm) | d_L | Hole ϕ (mm) | d_h | Insertion length (mm) | l_b | 12 | | 16 | | 20 | | 28 | |
|-------------------------------------|--------------|------------------|-------|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| | | | | | | 16 | 28 | 200 | 400 | 200 | 400 | 600 | 700 |
| Ultimate tensile strength (kN) | F_{ts} | 5) | 36.2 | 46.8 | 18.1 | 46.8 | 40.2 | 65.3 | 50.3 | 81.7 | 98.0 | 150.9 | |
| Shear strength (N/mm ²) | f_{ts} | 6) | 3.0 | 2.6 | 1.7 | 1.5 | 3.2 | 2.6 | 2.9 | 2.3 | 1.9 | 2.1 | |
| | $f_{ts,2.3}$ | 7) | 4.0 | 3.5 | 4.0 | 3.5 | 4.0 | 3.3 | 4.0 | 3.3 | 2.6 | 2.5 | |

Notes

The indicated values are to be interpreted as guidelines in conjunction with component material properties under standard conditions (20 °C / 65 % relative air humidity) and/or service class 1. They provide rough estimates and do not override the user's responsibility to perform application specific calculations.

- 1) Averages from 3 to 7 identical tests
- 2) Averages from 2 identical tests
- 3) Fracture strength on the wood/adhesive contact surface (hole diameter)
- 4) The determination of K_{slip} largely depends on the measurement setup
- 5) Characteristic fracture force at stripping
- 6) Characteristic shear strength, correlated with wood/adhesive contact surface (hole diameter)
- 7) Characteristic shear strength according to section 6.2 of the technical specifications

Italics Fracture as tensile failure of steel/rod outside the bond zone



Processing data

See bulletin "Instructions for optimal processing of the casting resin LOCTITE CR 421 PURBOND".

Preparation

LOCTITE CR 421 PURBOND is a two-component adhesive. During application, the two components must be mixed into a homogeneous casting resin with the static mixer recommended by Henkel. The two components must not be mixed manually. The parts to be cast must be clean and free of adhesive-repellent substances such as oils, greases, or release agents.

Wood moisture

The wood moisture content shall not exceed 15 %.

Processing temperature

The temperature of the wood and steel parts as well as the casting resin should be min. 17 °C and max. 30 °C. Normally, LOCTITE CR 421 PURBOND is processed in climatized production halls as is customary in the manufacture of structural wood elements and as specified in the applicable standards. In exceptional cases and beyond the German building regulations: If at construction sites the wood temperature of min. 15 °C cannot be guaranteed, the casting resin and the steel parts must be conditioned to 20–25 °C before processing begins. Under this condition, LOCTITE CR 421 PURBOND may also be used in a wood temperature of 10 °C.

Application

LOCTITE CR 421 PURBOND is applied directly from the 2C cartridge or alternatively with a 2C application device recommended by Henkel. Both options have been tested by Henkel as system solutions.

Readying the cartridge

1. Unscrew quick-lock cap
2. Pull out cartridge seal
3. Attach mixer and secure with quick-lock cap
4. Insert cartridge in pneumatic applicator gun
5. To assure optimized mixing, eject and discard the first 10 grams of adhesive
6. Cast reference specimen for quality assurance
7. Begin with the application/casting sequence

Adhesive systems for engineered wood

LOCTITE®

Protection and cleaning

Protection

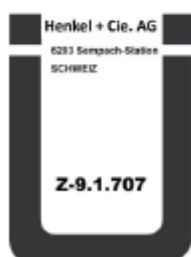
While handling the liquid product, the operator must wear *Henkel* handling gloves and safety goggles under all circumstances.

Cleaning

Cured adhesive can only be removed with mechanical methods. Unwanted adhesion of the resin on components and tools can be prevented by previously coating them with *LOCTITE RELEASE AGENT PURBOND*.

Certifications and registrations

The provisions of the respective approval authorities must be complied with.



ZC PUR adhesive LOCTITE® CR 421 PURBOND for bonding steel rods in timber components

Approval number: Z-9.1-707



Certification de CTBA pour type Initiale pour la réalisation d'assemblages de structures bois par goujons collés

Registration number: CTBA.IBC.37.271-LLM/GB.N°2005.311-0259



SITAC, Swedish Institute for Technical Approval In Construction

Certification Number: T400153-01

Guarantee

The information provided herein is based on the test results of the Henkel application laboratory and the experience of our customers.

Henkel guarantees the consistently high quality of this product which is manufactured according to ISO 9001 and 14001; on the basis of our many years of experience, it has been tested and found suitable for the recommended applications under the conditions described herein.

However, material and processing parameters can significantly influence the properties of our product. For this reason, the processor must perform tests prior to actual applications.

For other applications or processing conditions, please contact your Henkel project manager. The general terms of sale and delivery of Henkel & Cie. AG shall apply.

Adhesive systems for engineered wood

Liite 2. Liimaukseen tilattu välinepaketti

**PURBOND CR 421****Gebinde und Systemkomponenten/
Package and System Components**

| IDH-Nr | Produkt/ Product | Beschreibung/ Description | Foto/Photo |
|---------|---|--|------------|
| 1304764 | PURBOND CR 421 Komp. A+B | Kartonbox à 8 Kartuschen zu 550g inkl. 8 Statikmischer / Box with 8 cartridges with 550 g incl. 8 mixers | |
| 1304952 | Statikmischer / Mixer DN8X32 – CR 421 | 10 er Pack Statikmischer / 10 pieces of the mixer | |
| 1304761 | PURBOND CR 421 Komp. A | Plastikeimer zu 20kg / Plastic pail 20 kg | |
| 1304765 | PURBOND CR 421 Komp. B | | |
| 1304949 | pneumatisches Austraggerät / pneumatic Application System | Austraggerät pneumatisch für Kartuschen PURBOND CR 421 (Pressluft erforderlich) / Application System pneumatic for cartouches of PURBOND CR 421 (air supply requested) | |

Adhesive systems for engineered wood

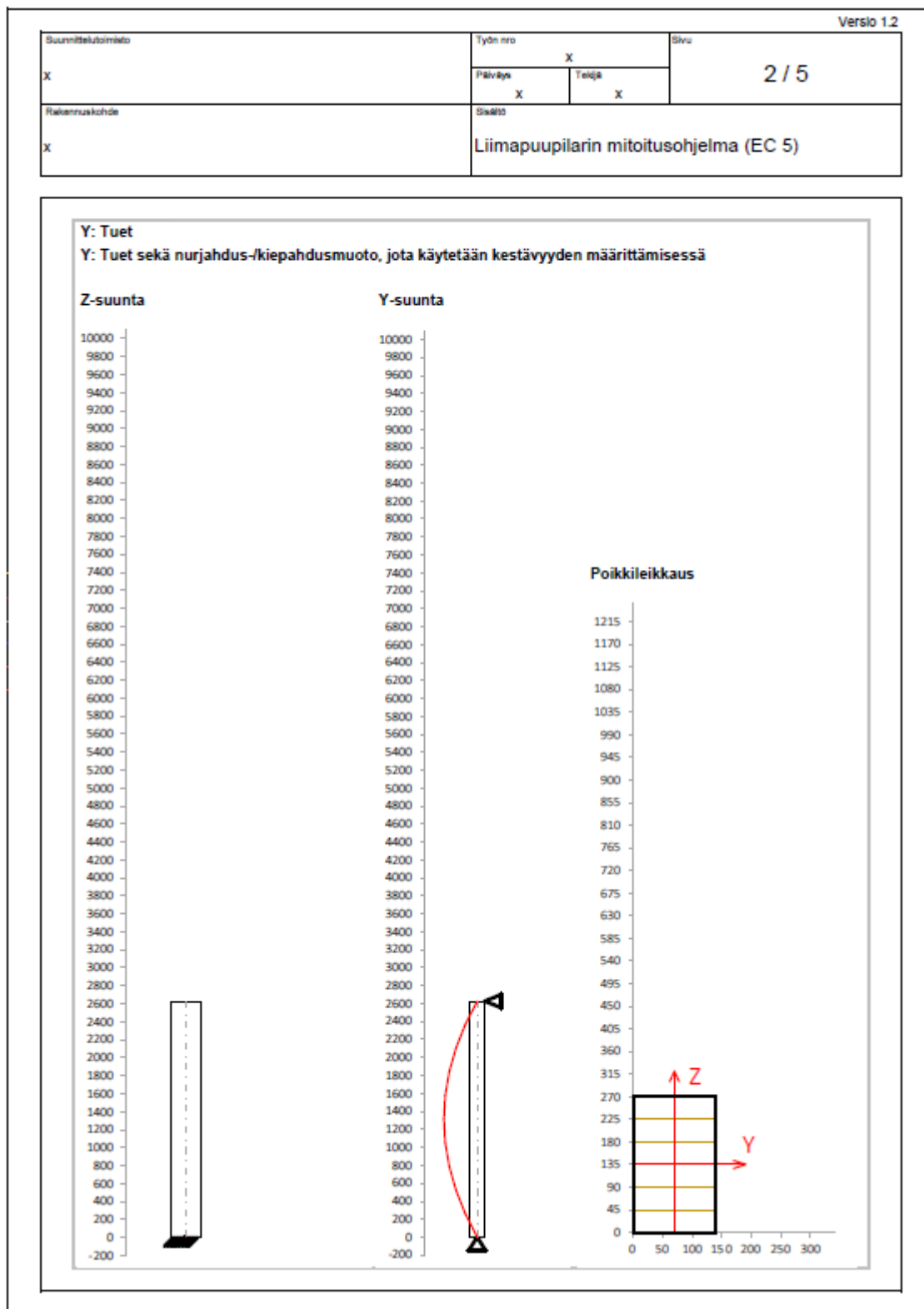
HSA 20-04-2010

Liite 3. Mastopilarin mitoitus

| | | |
|---------------------|--|-------|
| Versio 1.2 | | |
| Suunnittelutoimisto | Työn nro | Sivu |
| X | X | 1 / 5 |
| | Päiväys | |
| | X | X |
| Rakennuskohde | Osa-ohje | |
| X | Liimapuupilarin mitoitusohjelma (EC 5) | |

| 1.0 RAKENTEEN TIEDOT | | Info |
|--|--|------|
| Pilarin tyyppi | Mastopilari Z-suunnassa, Nivelepäinen pilari Y-suunnassa | ▼ |
| Rasitus suunnat | Puristettu X-suunnassa - Taivutettu Z-suunnassa | ▼ |
| Tuettu Z-suunnassa | Mastopilarilla ei tuetua Z-suunnassa | ▼ |
| Tuettu Y-suunnassa | Tuet päissä | ▼ |
| Kuormituksen tyyppi Z-suunnassa | Tasainen kuorma + Pistekuorma vapaassa päässä | ▼ |
| Kuormitus tulee pilarille Z-suunnassa | Vedettyä reunalta | ▼ |
| Kuormituksen tyyppi Y-suunnassa | Ei kuormitusta Y-suunnassa | ▼ |
| Kuormitus tulee pilarille Y-suunnassa | Ei kuormitusta Y-suunnassa | ▼ |
| Poikkileikkauksen leveys | b = 140 mm (vaakasuora) | ▼ |
| Poikkileikkauksen korkeus | h = 270 mm | ▼ |
| Lujuusluokka | GL30h | ▼ |
| Käyttöluokka | ≤ 1 | ▼ |
| Aikaluokka | Herkellinen | ▼ |
| Pilarin pituus | L = 2628 mm | |
| Pilarin omapaino (MRT) | $g_{d,pilari} = 0,57$ kN | |
| Normaalivoima (puristus) X-suunnassa (MRT) | $N_{d,x} = 71,3$ kN | |
| Momentti Z-suunnassa (MRT) | $M_{d,y} = 18,0$ kNm | |
| Leikkausvoima Z-suunnassa (MRT) | $V_{d,y} = 18,0$ kN | |
| Momentti epäkeskisyydestä Y-suunnassa (MRT) | $M_{d,z} = 0,0$ kNm | |
| Leikkausvoima epäkeskisyydestä Y-suunnassa (MRT) | $V_{d,z} = 0,0$ kN | |

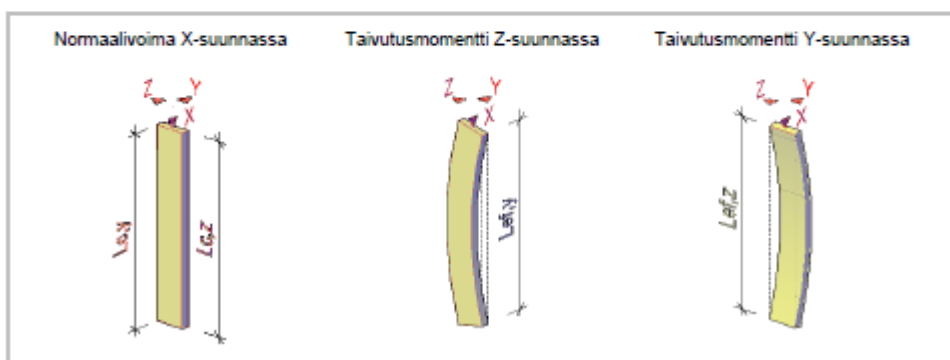
| 2.0 MITOITUSTULOKSET | | | Info |
|--|-------------------------------------|-------------------------|--|
| Puristuskestävyys | | Leikkauskestävyys [Z] | Z-suunnan stabiloiva tuki |
| Nurjahdus- ja kiepahduskestävyys [Z] | | | |
| $N_{d,x}$ | $N_{d,x} + M_{d,y} + k_{m1}M_{d,z}$ | $V_{d,y}$ | Fd [kN] C [N/mm] a [mm] |
| OK | OK | OK | 0,0 kN 0,0 - |
| 15 % | 48 % | 21 % | Tuet vain pilarin päissä (kiertymän estävä tuki) |
| Puristuskestävyys | | Leikkauskestävyys [Y] | Y-suunnan stabiloiva tuki |
| Nurjahdus- ja kiepahduskestävyys [Y] | | | |
| $N_{d,x}$ | $N_{d,x} + k_{m1}M_{d,y} + M_{d,z}$ | $V_{d,z}$ | Fd [kN] C [N/mm] a [mm] |
| OK | OK | Ei leikkausvoimaa | 0,0 kN 0,0 - |
| 10 % | 33 % | 0 % | Tuet vain pilarin päissä (kiertymän estävä tuki) |



| | | |
|---------------------|--|--------|
| Suunnittelutoimisto | Työn nro | Sivu |
| X | X | |
| | Päiväys | Talaja |
| Rakennuskohde | Sisältö | 3 / 5 |
| X | Liimapuupilarin mitoitusohjelma (EC 5) | |

Rasitukset

| | | | |
|-----------|------|-----|------------------------------|
| $N_{d,x}$ | 71,8 | kN | Normaaliavoima |
| $M_{d,y}$ | 16,0 | kNm | Taivutusmomentti Z-suunnassa |
| $M_{d,z}$ | 0,0 | kNm | Taivutusmomentti Y-suunnassa |
| $V_{d,y}$ | 16,0 | kN | Leikkausvoima Z-suunnassa |
| $V_{d,z}$ | 0,0 | kN | Leikkausvoima Y-suunnassa |



Materiaaliominaisuudet

| | | | |
|--------------|-------|-------------------|---|
| γ_M | 1,25 | | Materiaalin osavarmuusluku |
| k_{mod} | 1,10 | | Muunnoskerroin |
| $f_{c,0,k}$ | 30,00 | N/mm ² | Puristuslujuuden ominaisarvo |
| k_b | 1,08 | | Taivutuslujuuden korotuskerroin (Z-suunnassa) |
| $f_{m,y,k}$ | 32,49 | N/mm ² | Taivutuslujuuden ominaisarvo Z-suunnassa |
| $f_{m,z,k}$ | 30,00 | N/mm ² | Taivutuslujuuden ominaisarvo Y-suunnassa |
| $f_{v,k}$ | 3,50 | N/mm ² | Leikkauslujuuden ominaisarvo |
| $E_{0,mean}$ | 13600 | N/mm ² | Kimmomoduuli |
| $E_{0,05}$ | 11300 | N/mm ² | Kimmomoduuli |
| $f_{c,0,d}$ | 26,40 | N/mm ² | Puristuslujuuden laskenta-arvo |
| $f_{m,y,d}$ | 28,59 | N/mm ² | Taivutuslujuuden laskenta-arvo Z-suunnassa |
| $f_{m,z,d}$ | 26,40 | N/mm ² | Taivutuslujuuden laskenta-arvo Y-suunnassa |
| $f_{v,d}$ | 3,08 | N/mm ² | Leikkauslujuuden laskenta-arvo |

Poikkileikkausvakiot

| | | | |
|-------|-----------|-----------------|-----------------------------------|
| b | 140 | mm | Poikkileikkauksen leveys |
| h | 270 | mm | Poikkileikkauksen korkeus |
| A | 37800 | mm ² | Poikkileikkauksen pinta-ala |
| W_y | 1701000 | mm ³ | Taivutusvastus Y-akselin suhteen |
| W_z | 882000 | mm ³ | Taivutusvastus Z-akselin suhteen |
| I_y | 229635000 | mm ⁴ | Jäyhyysmomentti Y-akselin suhteen |
| I_z | 61740000 | mm ⁴ | Jäyhyysmomentti Z-akselin suhteen |

| Suunnittelutoiminto | | Työn ero | | Sivu |
|---------------------|--|--|--------|-------|
| X | | X | | 4 / 5 |
| | | Päiväys | Tekijä | |
| X | | X | X | |
| Rakennuskohde | | Sisältö | | |
| X | | Liimapuupilarin mitoitusohjelma (EC 5) | | |

| Nurjahduskestävyys Z-suunnassa | | | |
|--------------------------------|-------|-------------------|--|
| $L_{d,z}$ | 6570 | mm | Nurjahduspituus |
| i_y | 77,94 | mm | Jäyhyyssäde |
| λ_y | 84,29 | | Hoikkuusluku |
| $\lambda_{rel,y}$ | 1,38 | | Muunnettu hoikkuusluku |
| β_c | 0,10 | | Alkukäyryydestä riippuva kerroin |
| k_y | 1,51 | | Kerroin |
| $k_{c,y}$ | 0,47 | | Nurjahduskerroin |
| $\sigma_{c,d}$ | 1,90 | N/mm ² | Puristusjäännitys |
| $\sigma_{m,y,d}$ | 0,41 | N/mm ² | Taivutusjäännitys Z-suunnassa |
| $\sigma_{m,z,d}$ | 0,00 | N/mm ² | Taivutusjäännitys Y-suunnassa |
| k_m | 0,7 | | Kerroin |
| EHTO | 0,15 | ≤ 1 | Puristus / Nurjahdus $N_{d,x}$ |
| EHTO | 0,48 | ≤ 1 | Nurjahdus $N_{d,x}$ + Taivutus $M_{d,y}$ + $k_m \cdot M_{d,z}$ |
| EHTO | - | ≤ 1 | Puristus $N_{d,x}$ + Taivutus $M_{d,y}$ + $k_m \cdot M_{d,z}$ |

| Kiepahduskestävyys Z-suunnan taivutuksessa | | | |
|--|--------|-------------------|------------------------------|
| c | 0,68 | | Kerroin |
| $L_{ef,y}$ | 2493 | mm | Kiepahduspituus |
| $\sigma_{m,ott}$ | 223,75 | N/mm ² | Kriittinen taivutusjäännitys |
| $\lambda_{rel,m}$ | 0,38 | | Suhteellinen hoikkuusluku |
| k_{ott} | 1,00 | | Ei kiepahda |
| $\sigma_{m,y,d}$ | - | N/mm ² | Taivutusjäännitys |
| EHTO | - | ≤ 1 | Kiepahdus + Puristus |
| EHTO | - | ≤ 1 | Kiepahdus |

| Leikkauskestävyys Z-suunnassa | | | |
|-------------------------------|-------|-------------------|-------------------------------------|
| k_{cr} | 1,0 | | Halkeilukerroin liimapuulla (vakio) |
| A | 37800 | mm ² | Poikkileikkauksen pinta-ala |
| τ_d | 0,63 | N/mm ² | Leikkausjäännitys |
| EHTO | 0,21 | ≤ 1 | Leikkaus |

| Z-suunnan tukeen ei synny voimaa kiepahduksesta (1. muoto) | | | |
|--|---|------|--|
| a | - | mm | Stabiloivien tukien k-jako |
| $F_{d,1}$ | - | kN | Voima stabiloivassa tuessa (1. muoto) |
| C | - | N/mm | Stabiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus |

| Z-suunnan tukeen ei synny voimaa kiepahduksesta (2. muoto) | | | |
|--|---|-----------------|--|
| m | - | kpl | Poikittaistuettujen kenttien määrä |
| a | - | mm | Stabiloivien tukien k-jako |
| I_y | - | mm ⁴ | Jäyhyysmomentti Y-akselin suhteen |
| $l_{d,z}$ | - | mm | Nurjahdus- / kiepahdusmuodon kriittinen aallonpituus |
| $k_{0,red}$ | - | | Stabiloivan tuen voiman pienennyskerroin |
| $F_{d,2}$ | - | kN | Voima stabiloivassa tuessa (2. muoto) |
| C | - | N/mm | Stabiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus |

| Suunnittelutieto | | Työn nro | | Sivu | |
|------------------|--|----------|---------|--------|-------|
| X | | | X | | 5 / 5 |
| | | | Päiväys | Talija | |
| Rakennuskohde | | Siväli | | | |
| X | Liimapuupilarin mitoitusohjelma (EC 5) | | | | |

| Nurjahduskestävyys Y-suunnassa | | | |
|--------------------------------|-------|-------------------|--|
| $L_{c,y}$ | 2628 | mm | Nurjahduspituus |
| i_z | 40,41 | mm | Jäyhyysäde |
| λ_z | 65,03 | | Hoikkuusluku |
| $\lambda_{rel,z}$ | 1,07 | | Muunnettu hoikkuusluku |
| β_c | 0,10 | | Alkukäyrästä riippuva kerroin |
| k_z | 1,11 | | Kerroin |
| $k_{c,z}$ | 0,71 | | Nurjahduskerroin |
| $\sigma_{c,d}$ | 1,90 | N/mm ² | Puristusjäännitys |
| $\sigma_{m,z,d}$ | 0,00 | N/mm ² | Taivutusjäännitys Y-suunnassa |
| $\sigma_{m,y,d}$ | 0,41 | N/mm ² | Taivutusjäännitys Z-suunnassa |
| k_m | 0,7 | | Kerroin |
| EHTO | 0,10 | ≤ 1 | Puristus / Nurjahdus $N_{d,x}$ |
| EHTO | 0,33 | ≤ 1 | Nurjahdus $N_{d,x}$ + Taivutus $k_m \cdot M_{d,y} + M_{d,z}$ |
| EHTO | - | ≤ 1 | Puristus $N_{d,x}$ + Taivutus $k_m \cdot M_{d,y} + M_{d,z}$ |

| Kiepahduskestävyys Y-suunnan taivutuksessa | | | |
|--|---|-------------------|------------------------------|
| c | - | | Kerroin |
| $L_{ef,z}$ | - | mm | Kiepahduspituus |
| $\sigma_{m,eff}$ | - | N/mm ² | Kriittinen taivutusjäännitys |
| $\lambda_{rel,m}$ | - | | Suhteellinen hoikkuusluku |
| k_{eff} | - | | Kiepahduskerroin |
| $\sigma_{m,z,d}$ | - | N/mm ² | Taivutusjäännitys |
| EHTO | - | ≤ 1 | Kiepahdus + Puristus |
| EHTO | - | ≤ 1 | Kiepahdus |

| Leikkauskestävyys Y-suunnassa | | | |
|-------------------------------|---|-------------------|-------------------------------------|
| k_{cr} | - | | Halkeilukerroin liimapuulla (vakio) |
| A | - | mm ² | Poikkileikkauksen pinta-ala |
| τ_d | - | N/mm ² | Leikkausjäännitys |
| EHTO | - | ≤ 1 | Leikkaus |

| Y-suunnan tukeen ei synny voimaa kiepahduksesta (1. muoto) | | | |
|--|---|------|--|
| a | - | mm | Stabiloivien tukien k-jako |
| $F_{d,1}$ | - | kN | Voima stabiloivassa tuessa (1. muoto) |
| C | - | N/mm | Stabiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus |

| Y-suunnan tukeen ei synny voimaa kiepahduksesta (2. muoto) | | | |
|--|---|-----------------|--|
| m | - | kpl | Poikittaistuetujen kenttien määrä |
| a | - | mm | Stabiloivien tukien k-jako |
| I_z | - | mm ⁴ | Jäyhyysmomentti Z-akselin suhteen |
| ℓ_B | - | mm | Nurjahdus- / kiepahdusmuodon kriittinen aallonpituus |
| $k_{B,red}$ | - | | Stabiloivan tuen voiman pienennyskerroin |
| $F_{d,2}$ | - | kN | Voima stabiloivassa tuessa (2. muoto) |
| C | - | N/mm | Stabiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus |

Liite 4. Liimaruuviliitoksen mitoitus

| ULOSVETOKESTÄVYYS | | https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/16_Momenttij%C3%A4ykk%C3%A4-liimaruuviliitos.pdf | |
|-------------------|----------|---|---|
| PILARI | | | |
| b | 140 mm | | |
| h | 270 mm | | |
| Ruuvi | | | |
| | 5,8 | 0 | LAITA NUMERO 1 OIKEAN LUJUUDEN KOHTAAN!!!! |
| | S235JRG2 | 1 | |
| V _d | 16 kN | | |
| A _d | 73,2 kN | vetoa | |
| B _d | 126,8 kN | puristusta | |
| M _d | 16 kNm | | |
| e | 0,16 m | | |
| N _d | 53,6 kN | | |
| R _{ax,d} | min | | |
| | 56,36 kN | | |
| | 66 kN | | |
| R _{y,k} | 62 kN | | 62 |
| γ _{m,y} | 1,1 | | |
| K _{mod} | 1,1 | | |
| γ _m | 1,2 | | |
| R _{a,k} | 72 kN | | 72 |
| L _a | 490 mm | | |

$$A_d = \frac{M_d}{e} - \frac{N_d}{2}$$

$$B_d = \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2}$$

$$R_{ax,d} = \min \begin{cases} \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}} \\ K_{mod} \cdot \frac{R_{a,k}}{\gamma_M} \end{cases}$$

R_{y,k} = ruuvin myötökkestävyyden ominaisarvo
 R_{y,k} = 62 kN, kun ruuvin lujuusluokka S235
 R_{y,k} = 101 kN, kun ruuvin lujuusluokka 5.8
 γ_{M,y} = ruuvin myötäämiselle käytettävä osavarmuusluku, Suomessa 1,1
 K_{mod} = muunnoskerroin liimapuulle
 γ_M = liimapuun osavarmuusluku, Suomessa 1,2
 R_{a,k} = ruuvin tartuntakestävyyden ominaisarvo
 R_{a,k} = $\left(\frac{L_a}{490}\right) \cdot 72$ kN, kun ruuvin lujuusluokka S235 (käyttöluokka 1)
 R_{a,k} = $\left(\frac{L_a}{490}\right) \cdot 84$ kN, kun ruuvin lujuusluokka 5.8 (käyttöluokka 1)
 R_{a,k} kerrotaan luvulla 0,8 käyttöluokassa 2

Momenttijäykkä liimaruuviliitos (mastopilari)

Kuva: Puuinfo PUUINFO

| L_a | 490 mm | $R_{ak} = \frac{1000}{490} = 84 \text{ kN}$, kun ruuvien lujusluokka 5.8 (käyttöluokka 1) R_{ak} kerrotaan luvulla 0,8 käyttöluokassa 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|---|------------|------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----|-----|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------|----|----|--|--|--|--|------------|-------------|----|----|----|----|--------|---------|--------------|-----|-----|----------------|-------------|----|----|----|----|----|------|--------------|-----|-----|----------------|-----------|-----|-----|--|--|--|--|-----------|-----|-----|--|--|--|--|-------------|--------------|--------|--------|--|--|--|--|------------|--------|--------|--|--|--|--|
| $F_{t,d}$ | 73,2 kN | $F_{t,d} \leq n_t^{0,9} \cdot R_{a,d}$ $F_{t,d}$ = vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma n_t = vedettyjen liimaruuvien lukumäärä $R_{a,d}$ = ruuvien tartuntakestävyysmitoitusarvo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| n_t | 4 kpl | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $R_{a,d}$ | 196,27 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Käyttöaste | 37,3 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEIKKAUSKESTÄVYYS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yksiruuvi | | Puristetun liimaruuviliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo $R_{v,d}$ (kN) yhtä ruuvia kohden käyttöluokissa 1 ja 2, kun ruuvien etäisyys poikkileikkauksen leikkansuormitetusta reunasta on $\geq 0,5b$ ja ruuvien keskiöetäisyys $a_n \geq a_{n,s}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $R_{v,d}$ | 7 kN | <table border="1"> <tr> <th>Ruuvi</th> <th>Aikaluokka</th> <th> pysyvä</th> <th> keskipitkä</th> <th> hetkellinen</th> </tr> <tr> <td>S235JRG2</td> <td></td> <td>5,2</td> <td>6,0</td> <td>7,0</td> </tr> <tr> <td>Lujusluokka 5.8</td> <td></td> <td>6,1</td> <td>7,1</td> <td>8,3</td> </tr> </table> | Ruuvi | Aikaluokka | pysyvä | keskipitkä | hetkellinen | S235JRG2 | | 5,2 | 6,0 | 7,0 | Lujusluokka 5.8 | | 6,1 | 7,1 | 8,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ruuvi | Aikaluokka | | pysyvä | keskipitkä | hetkellinen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S235JRG2 | | | 5,2 | 6,0 | 7,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lujusluokka 5.8 | | 6,1 | 7,1 | 8,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Koko liitos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $R_{v,d}$ | 28 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Käyttöaste | 57,14 % | HOX!! OLETUKSENA AIKALUOKKA HETKELLINEN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LOHKEAMISMURTOKESTÄVYYS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 42000 | Lasketaan tehollinen pinta-ala A_{ef} , jossa huomioidaan liimaruuveja varten poratut reiät $D = 16 \text{ mm}$. Tehollinen pinta-ala ulottuu maksimissaan 50 mm:n päähän ruuvista. Jos pinta-alat menevät päällekkäin, samaan alaa ei huomioida kahteen kertaan. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A_{ef} | 41195,75228 mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vetokestävyys ehto | 9,32 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Saa käyttää → | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Saa käyttää → | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <h2>2. Mitoitus</h2> <ul style="list-style-type: none"> Liimaruuvien etäisyydet: <ul style="list-style-type: none"> YLEISET LIIMARUUVIEN KESKIÖETÄISYYDET <ul style="list-style-type: none"> $a_{n,s} = 50 \text{ mm}$, kun ruuvi on S235 ja hetkellinen aikaluokka on mitoitettava $a_{n,s} = 60 \text{ mm}$ muussa tapauksessa $a_{n,s} = 65 \text{ mm}$, kun ruuvi on S235 ja hetkellinen aikaluokka on mitoitettava $a_{n,s} = 75 \text{ mm}$ muussa tapauksessa LIIMARUUVIEN PIENIMMÄT KESKIÖETÄISYYDET <ul style="list-style-type: none"> $a_{n,s} = 40 \text{ mm}$, kun liimapuun vetokestävyys $N = f \cdot \sum A_i > F$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <p>Taulukko 1 Lujusluokan GL30 liimapuun lujus- ja jäykkyysominaisuudet (N/mm²) sekä tiheysominaisuudet (kg/m³)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ominaisuus</th> <th>Symboli</th> <th>GL30c</th> <th>GL30h</th> <th colspan="2">ominais</th> <th colspan="2">mitoitus</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <th>GL30c</th> <th>GL30h</th> <th>GL30c</th> <th>GL30h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>taivutuslujuus</td> <td>$f_{m,k}$</td> <td>30</td> <td>30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Vetolujuus</td> <td>$f_{t,d,k}$</td> <td>20</td> <td>24</td> <td rowspan="2">20</td> <td rowspan="2">24</td> <td rowspan="2">19,063</td> <td rowspan="2">22,8756</td> </tr> <tr> <td>$f_{t,90,k}$</td> <td>0,5</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Puristuslujuus</td> <td>$f_{c,d,k}$</td> <td>25</td> <td>30</td> <td rowspan="2">25</td> <td rowspan="2">30</td> <td rowspan="2">22</td> <td rowspan="2">26,4</td> </tr> <tr> <td>$f_{c,90,k}$</td> <td>3,0</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Leikkauslujuus</td> <td>$f_{v,k}$</td> <td>3,5</td> <td>3,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$f_{r,k}$</td> <td>1,2</td> <td>1,2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Kimmomoduli</td> <td>$E_{0,mean}$</td> <td>13 000</td> <td>13 600</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$E_{0,05}$</td> <td>10 800</td> <td>11 300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Ominaisuus | Symboli | GL30c | GL30h | ominais | | mitoitus | | | | | | GL30c | GL30h | GL30c | GL30h | taivutuslujuus | $f_{m,k}$ | 30 | 30 | | | | | Vetolujuus | $f_{t,d,k}$ | 20 | 24 | 20 | 24 | 19,063 | 22,8756 | $f_{t,90,k}$ | 0,5 | 0,5 | Puristuslujuus | $f_{c,d,k}$ | 25 | 30 | 25 | 30 | 22 | 26,4 | $f_{c,90,k}$ | 3,0 | 3,0 | Leikkauslujuus | $f_{v,k}$ | 3,5 | 3,5 | | | | | $f_{r,k}$ | 1,2 | 1,2 | | | | | Kimmomoduli | $E_{0,mean}$ | 13 000 | 13 600 | | | | | $E_{0,05}$ | 10 800 | 11 300 | | | | |
| Ominaisuus | Symboli | GL30c | GL30h | ominais | | mitoitus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | GL30c | GL30h | GL30c | GL30h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| taivutuslujuus | $f_{m,k}$ | 30 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vetolujuus | $f_{t,d,k}$ | 20 | 24 | 20 | 24 | 19,063 | 22,8756 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $f_{t,90,k}$ | 0,5 | 0,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puristuslujuus | $f_{c,d,k}$ | 25 | 30 | 25 | 30 | 22 | 26,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $f_{c,90,k}$ | 3,0 | 3,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Leikkauslujuus | $f_{v,k}$ | 3,5 | 3,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $f_{r,k}$ | 1,2 | 1,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kimmomoduli | $E_{0,mean}$ | 13 000 | 13 600 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $E_{0,05}$ | 10 800 | 11 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Saa käyttää →

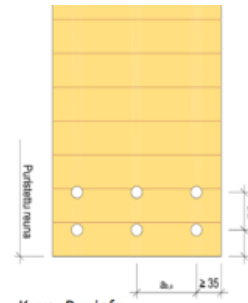
LIIMARUUVIEN PIENIMMÄT KESKIÖETÄISYYDET

$a_{b,s} = 40$ mm, kun liimapuun vetokestävyys
 $a_{h,s} = 40$ mm, kun liimapuun vetokestävyys

$$N_{i,d} = f_{t,d} \cdot \sum_{j=1}^n A_{ef,j} \geq F_{t,d}$$

LIIMARUUVIEN ASENNUSTARKKUUDET

porareilän kohdistustarkkuus ± 2 mm
 porareilän vinous $L / 100$



| | $1,4$ | $1,4$ | |
|--------------------|---------------|--------|--------|
| Kimmomoduli | $E_{0,mean}$ | 13 000 | 13 600 |
| | $E_{0,05}$ | 10 800 | 11 300 |
| | $E_{90,mean}$ | 300 | 300 |
| | $E_{90,05}$ | 250 | 250 |
| Liikumoduli | G_{mean} | 650 | 650 |
| | G_{05} | 540 | 540 |
| | $G_{r,mean}$ | 65 | 65 |
| | $G_{r,05}$ | 54 | 54 |
| Tiheys | ρ_k | 390 | 430 |
| | ρ_{mean} | 430 | 480 |

PILARIKENGÄN KESTÄVYYS

| | |
|------------|------|
| Ruuvit kpl | 4 |
| N_{Rd} | 73,2 |

Liimapuupilarikengä:

| Pilarikengä | Liimaruuvien lukumäärä / pilarikengä | | | |
|-------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 10 | 8 | 6 | 4 |
| 265 | 575 | 475 | 375 | - |
| 240 | 575 | 475 | 375 | - |
| 215 | - | 475 | 375 | - |
| 190 | - | 475 | 375 | - |
| 165 | - | - | 375 | 260 |
| 140 | - | - | - | 260 |
| 115 | - | - | - | 260 |

Valitse sopiva kenkä taulukosta!