



Samuel Hintsala

Liimapuurakenteiden eräiden voimaliitosten kehityshanke

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

5.10.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Samuel Hintsala
Otsikko:	Liimapuurakenteiden eräiden voimaliitosten kehityshanke
Sivumäärä:	70 sivua + 46 liitettä
Aika:	5.10.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Erikoisasiantuntija Sakari Kaustinen Lehtori Markus Immonen

Tämän insinööriyön toimeksiantaja oli Insinööritoimisto Jouni Sorvoja Oy. Insinööriyön tavoitteena oli selvittää momenttijäykän liimapuupilarin liimaruuvein toteutettavan juuriliitoksen ja liimapuupalkin tukipinnan liimatankovahvistuksen mitoittamisessa käytettävät laskentaohjeet sekä liitoskomponenttien tuotehyväksynät. Työn päätavoitteena oli kehittää selvityksen pohjalta yrityksen käyttöön tulevat taulukkolaskentapohjat, joilla liitokset voidaan mitoittaa kuormitusyhdistelmittäin murtorajatilassa. Insinööriyö toteutettiin rakennesuunnittelija näkökulmasta. Työn selvitysosuus toteutettiin teoreettisesti lähdeaineistoa tutkimalla, ja laskentapohjat toteutettiin Microsoft Office Excel -ohjelmistoa hyödyntäen.

Selvitystyön tutkimusongelma oli lähdeaineistoissa esitettyjen laskentaohjeiden osittainen ristiriitaisuus ja puutteellisuus. Selvityksessä aineiston perusteella saatiin kootua järjellinen kokonaisuus mitoituksen teoriasta, kun lähdeaineistoa käytettiin yhdistelmällä niistä vähiten ristiriitaista tietoa.

Liitosten mitoitusteoriaa tutkittaessa huomattiin, ettei uusimmat saatavilla olevat liimaruuviliitosten suunnitteluohjeet ota huomioon ruuvien ulosvedon sitkeysvaatimusta. Vetorasitettujen liimaruuvien tulisi myötää murtotilanteessa, mutta ruuvien murtotavaksi osoittautui lähes kaikissa tapauksissa liimatartunnan hauras murtuminen. Hauraan murtotavan riskin vuoksi liitoksen vetokestävyys mitoituksessa otettiin käyttöön ylimääräinen varmuuskerroin, jolla voidaan osoittaa liitoksen sitkeysvaatimus. Liimaruuviliitoksen mitoitusteoriaa tutkittiin myös liimaruuvien kestävyyttä puristustilanteessa, jolloin huomattiin, ettei se tule mitoittavaksi, kun puristusrasitus otetaan vastaan liimapuun syysuuntaisella puristuslujuudella.

Selvitystyön pohjalta saatujen mitoituskaavojen ja -ehtojen pohjalta rakennettiin kaksi laskentapohjaa, joista toinen mitoittaa liimapuun tukipainekestävyyden vahvistamista liimatangoilla ja teräslevyllä, ja toinen mitoittaa liimapuu-mastopilarin liimaruuvein ja teräksisin pilarikengin toteutettavaa liitosta. Laskentapohjista tuli käyttökelpoisia mitoitusohjelmia, joita yrityksessä tullaan käyttämään tulevaisuudessa käytännön suunnittelutehtävissä.

Avainsanat: rakennesuunnittelu, liimapuurakenteet, liimaruuviliitos, liimatankovahvistus

Abstract

Author: Samuel Hintsala
Title: Development Project of Two Specific Structural Joints in Glued Laminated Timber Structures
Number of Pages: 70 pages + 46 appendices
Date: 5 October 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Sakari Kaustinen, Special Consultant
Markus Immonen, Senior Lecturer

The client for this engineering thesis was Insinööritoimisto Jouni Sorvoja Oy. The aim of the thesis was to determine the calculation guidelines and product approvals of the components used in the design of the base joint of a rigidly fixed glulam column with glued-in screws and the reinforcement of glulam beam in compression with glued-in rods. The main objective was to develop a set of spreadsheet calculation templates for use by the company to design the joints for different load combinations in the ultimate limit state. The engineering thesis was carried out from the perspective of a structural engineer. The analysis part was theoretically based on research material, and the spreadsheet templates were created using the Microsoft Office Excel software.

The research problem of the engineering thesis was the partial contradiction and incompleteness of the calculation guidelines presented in the source material. In the thesis, the data was used to compile a reasonable overview of the design theory by combining the least contradictory information from the source material.

During the thesis project, it was found that the latest design guidelines for joints with glued-in screws do not take into consideration the requirement for screw pull-out ductility. Due to the risk of the brittle fracture mode of glue adhesion, an additional 1.2 safety factor was introduced in the joint tensile strength calculation to demonstrate the ductility requirement of the joint. The design theory of the glue-laminated joint was also investigated for the resistance of the glued-in screws in compression, where it was found that it does not become determinative when the compression load is applied at the compressive strength parallel to the grain of the glued laminated timber.

Based on the calculation formulas and conditions devised during the thesis project, two calculation templates were built, one for the design of reinforcement of glulam beam in compression with glued-in rods and steel plate, and the other for the design of base joint of a rigidly fixed glulam column with glued-in screws and steel column shoes. The spreadsheet templates became usable calculation programs that will be used in the future by the company for practical design tasks.

Keywords: structural design, glued laminated timber structures, joints with glued-in screws, reinforcement with glued-in rods

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Liimapuurakenteiden liimaruuvi- ja liimatankoliitokset	3
2.1	Liimatanko- ja liimaruuviliitostyytit yleisesti	3
2.2	Mastopilarin jäykkä liitos perustukseen	7
2.3	Palkin tukipinnan vahvistaminen	14
2.4	Liitoskomponenttien tuotehyväksynät	17
2.5	Suunnittelun ohjeistukset ja laskentatavat	20
3	Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos	22
3.1	Liitoksen mitoittavat kuormat	22
3.2	Peruspultit	23
3.3	Pilarikengän mitoitus	24
3.4	Liimaruuviryhmän mitoitus	29
3.5	Liimapuun mitoitus liitokselle	35
3.6	Liitoksen mitoitus palotilanteelle	43
4	Liimapuupalkin tukipinnan vahvistaminen liimatangoilla	47
4.1	Liitoksen mitoittavat kuormat ja tukipainekestävyys	47
4.2	Liimatankoryhmän mitoitus	50
4.3	Teräslevyn mitoitus	54
5	Taulukkomitoitusohjelmat	58
5.1	Taulukkolaskentapohjien luominen ja testaaminen	58
5.2	Taulukkolaskentapohjien rakenne ja käyttäminen	60
5.3	Mitoitusesimerkki	63
6	Yhteenveto	66
	Lähteet	68

Liitteet

Liite 1: Mastokehäpalkin kuormat ja mitoitus Finnwood 2.4 -ohjelmalla

Liite 2: Liimatankovahvistuksen mitoitus Excel-laskentapohjalla

Liite 3: Mastokehäpilarin kuormat ja mitoitus Finnwood 2.4 -ohjelmalla

Liite 4: Liimaruuviliitoksen mitoitus Excel-laskentapohjalla

Liite 5: Liimaruuviliitoksen mitoituksessa valittu liimapuupilarikenkä

1 Johdanto

Tämä insinööriyö on kehityshanke, jonka aiheena ja tavoitteena on selvittää liimapuumastopilarien liimaruuviliitos- ja liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisen liimatankoliitostekniikkaan liittyvät tuoteperheiden tuotehyväksynät sekä suunnittelun ohjeistukset ja laskentatavat. Liitoskomponenteista kerätään myös mahdolliset kapasiteettitiedot. Selvityksestä saadun aineiston pohjalta tuotetaan tilaajayritykselle suunnitteluohjeisto liitosmitoituksen tueksi, jona tämä insinööriyöraportti tulee toimimaan.

Selvityksen pohjalta tuotetaan myös taulukkolaskentapohjat, joilla voidaan mitoitaa kyseiset liitokset eri kuormitusyhdistelyineen. Laskentapohjat tulee sisältämään liitoskomponenttien mahdolliset kapasiteettitiedot, sekä komponenttien laskentatakaavat mitoitusperusteineen. Laskentapohjat tulee pohjautumaan Microsoft Office Excel -ohjelmaan, ja ne tulee tilaajayrityksen käyttöön liimatanko- ja liimaruuviliitosten esisuunnittelun ja mitoituksen tueksi.

Insinööriyön tilaaja on Insinööritoimisto Jouni Sorvoja Oy, joka on Sipoossa toimiva rakennetekniikkaan erikoistunut insinööritoimisto. Yrityksen pääasialliseen toimialaan kuuluu uudis- ja korjausrakentamisen päärakennesuunnittelu sekä tarkastustoiminta. Tyypillisiä rakennesuunnittelun kohteita yrityksessä ovat liike- ja toimitilarakentaminen, asuinrakentaminen sekä teollisuusrakentaminen.

Tämän insinööriyön aloittamiseen johtavia asioita tilaajayrityksen mukaan on erityisesti liimapuumastopilarien liimaruuviliitosten komponenttien tuotehyväksyntöjen, suunnitteluohjeistuksien ja laskentatapojen puutteet ja ristiriidat. Yrityksellä on myös tarve kyseisten liitosten laskentapohjalle tai -ohjelmalle, sillä tähän mennessä liitosten mitoitusta on tarkasteltu lähinnä käsinlaskennalla. Puurakentaminen on myös nykyään voimakkaassa kasvussa sen verrattain pienien hiilijalanjäljen vuoksi, joten aihe on myös tätä kautta ajankohtainen.

Raportin käsittelykappaleissa käsitellään työn osa-alueet aihepiireittäin. Luvussa 2 käsitellään liimatanko- ja -ruuviliitoksia yleisesti, sekä tutustutaan työn pääaiheisiin eli liimapuumastopilarin liimaruuvein toteutettavaan perustusliitokseen sekä liimapuupalkin tukipinnan vahvistamiseen liimarangoilla ja teräslevyllä. Kolmannessa ja neljännessä luvussa käsitellään edellä mainittujen liitosten mitoituksen teoria vaiheittain. Viidennessä luvussa esitellään taulukkolaskentapohjan luominen ja sen sisältö. Taulukkolaskentapohjan laskentasisivut mitoitusyhtälöineen esitetään esimerkkilaskelman muodossa raportin liitteenä. Laskentapohjaan sisällytetään myös liitoskomponenttien kapasiteettitaulukot.

2 Liimapuurakenteiden liimaruuvi- ja liimatankoliitokset

2.1 Liimatanko- ja liimaruuviliitostyytit yleisesti

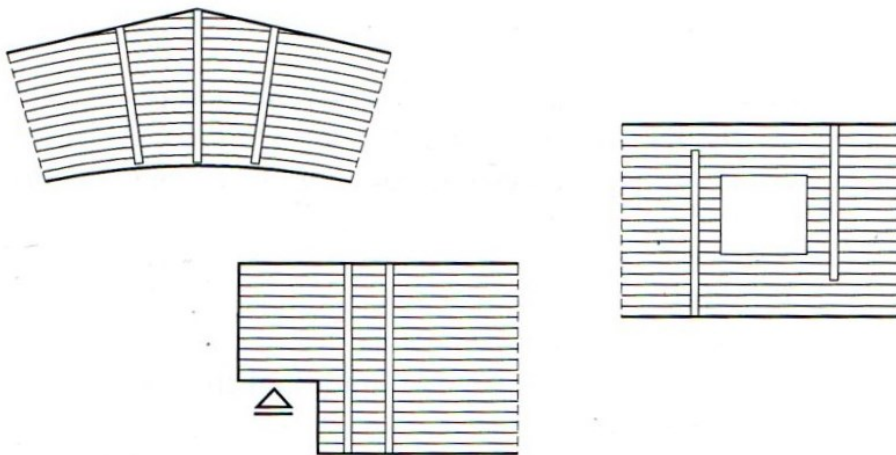
Liimatangoilla tarkoitetaan puun sisään liimattuja terästankoja ja liimaruuveilla puun sisään liimattuja pitkiä kansiruuveja. Liimatankoja- ja -ruuveja käytetään liimapuurakenteissa moniin eri käyttötarkoituksiin. Niillä voidaan esimerkiksi liittää liimapuupalkkeja tai -pilareita toisiin rakenneosiin, tai niillä voidaan vahvistaa liimapuuta puristusta ja erityisesti vetoa vastaan samaan tapaan kuin betoniakin raudoitetaan. [1, s. 87–95, 132–135, 247–262.] Puu materiaalina ei tosin ole homogeenista niin kuin raudoittamaton betoni, sillä puun syiden suunta vaikuttaa oleellisesti sen lujuuteen. Esimerkiksi puun puristus ja vetolujuudet puun syyn suunnassa ovat monin kerroin lujemmat kuin vastaavat kestävyudet kohtisuoraan puun syitä vastaan, kun toisaalta raudoittamattoman betonin puristuslujuus on joka suunnassa sama ja vetokestävyyttä sillä ei ole juuri lainkaan. [2, s. A5/2.]

Liimapuu on puutavaratuote, joka koostuu päällekkäin liimatuista sahatavarakappaleista. Sahatavarat on liimattu niin, että puiden syysuunnat ovat samansuuntaiset. Tämän takia liimapuun lujuusominaisuudet ovat melko lähellä sahatavartuotteiden lujuusominaisuuksia ollen kuitenkin sahatavaraa tasalaatuisempina rakennuspuutavarana hieman lujempaa. [1, s. 10–15.] Merkittävin ero liimapuulla ja sahatavaralla onkin se, että liimapuurakenneosien poikkileikkauksista saadaan merkittävästi suurempia [3, s. 201–202]. Yleensä helpoin keino kasvattaa puurakenneosan kestävyyttä on kasvattaa poikkileikkauksen kokoa, ja liimapuu vastaakin tähän tarkoitukseen hyvin [4, s. 8]. Aina ei ole kuitenkaan järkevää tai edes mahdollista kasvattaa liimapuunkaan poikkileikkausta jonkin paikallisen rasituksen vuoksi, jos valittu poikkileikkaus muuten kestää pääasialliset rasitukset. Tällöin liimapuuta voidaan vahvistaa paikallisesti tiettyä rasitusta vastaan esimerkiksi liimatangoilla tai -ruuveilla. [1, s. 132–135; 3, s. 74, 93, 96.]

Liimapuulla ja puutavaralla yleensäkin on vain vähän vetolujuutta kohtisuoraan puun syitä vastaan. Tästä syystä liimapuuta ei lähtökohtaisesti rasiteta tähän

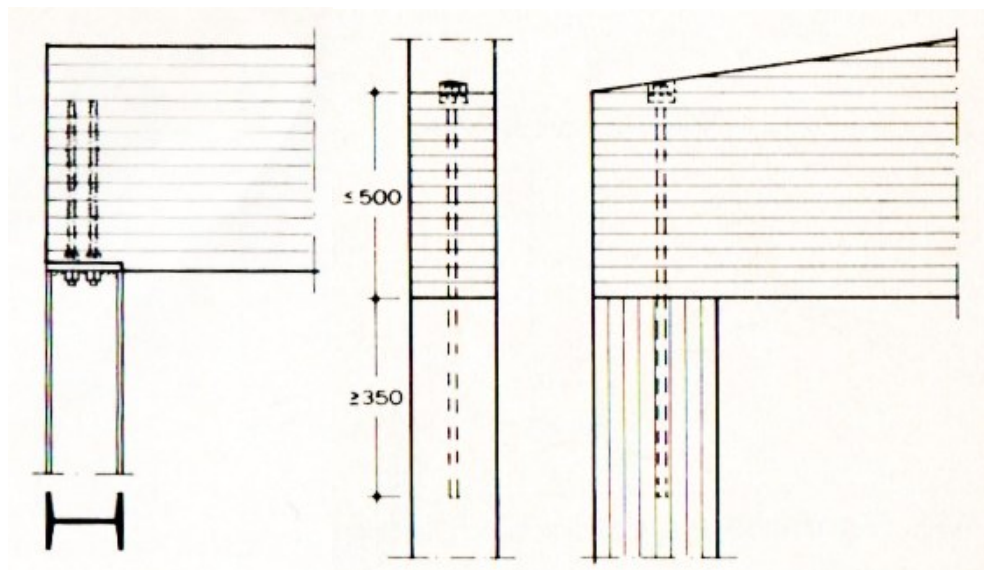
suuntaan, vaan vetorasitus pyritään ottamaan vastaan aina puun syysuunnassa. Välillä kuitenkin tulee tilanteita, jossa liimapuuhun kohdistuu poikittaista vetorasitusta, joka edelleen aiheuttaa puun halkeamisriskiä. [2, s. B2/2–3.] Tällaisissa tapauksissa liimapuuta voidaan vahvistaa puun syitä kohtisuoraan vastaan liimattavilla liimatangoilla tai -ruuveilla. Tankojen tai ruuvien tehtävä on ottaa vastaan liimatartunnan kautta puuhun kohdistuva vetorasitus. [2, s. C14/1–2.]

Tyypillisiä liimapuun poikittaisen vedon vahvistamisen kohteita ovat lovien ja reikien vahvistamiset [1, s. 87–95]. Vahvistuksia tehdään myös esimerkiksi vaihtuvakorkuisten ja kaarevien liimapuupalkkien harjavyöhykkeillä, joissa esiintyy poikittaista vetojännitystä. Tällaisia palkkeja ovat muun muassa harjapalkit, mahapalkit, kaarevat palkit ja kaarevat harjapalkit. [1, s. 132–135.] Esimerkkejä edellä mainituista liimatankovahvistuksista poikittaista vetoa vastaan on esitetty kuvassa 1 [2, s. C14/2]. Liimapuupalkkeihin asennetut ripustukset sekä muut syitä kohtisuoraan rasittavat vetoliitokset aiheuttavat myös poikittaista vetojännitystä puussa, ja näin ollen nekin voivat vaatia liimatankovahvistusta [1, s. 289–290].



Kuva 1. Puun sisään kohtisuoraan syitä vastaan liimatut terästangot vahvistavat liimapuuta paikallisesti poikittaista vetoa vastaan, ja näin estävät puun halkeamista [2, s. C14/2].

Liimatuilla terästangoilla ja ruuveilla on sama liimasauman tartuntakestävyys normaalivoimille sekä veto- että puristusrasituksessa. Tästä syystä liimatankoliitoksia voidaan hyödyntää myös liimapuun poikittaisen puristuskestävyyden vahvistamiseen. [2, s. C14/1–3.] Poikittaista puristusjännitystä aiheuttaa erityisesti puuhun kohdistuva tukipaine [3, s. 38]. Liimapuun puristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa on verrattain heikko, jolloin esimerkiksi liimapuu-pilari-palkki-liitoksissa pilarin tukipainekestävyys on riittävä, mutta samalla kosketuspinnalla palkin tukipainekestävyys ylittää sen lujuuden. [1, s. 15–19; 5, s. 126–128.] Samankaltainen tilanne voi syntyä myös palkin päälle kohdistuvasta pistekuormasta, jolloin liimapuun poikittainen puristuslujuus ei riitä. Tällöin liimapuupalkin poikittaista puristuskestävyyttä voidaan vahvistaa liimatankokoilla tai -ruuveilla (kuva 2). [1, s. 71–72.] Liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisesta, eli tämän insinööriyön toisesta pääaiheesta, kerrotaan lisää raportin myöhemmissä luvuissa.

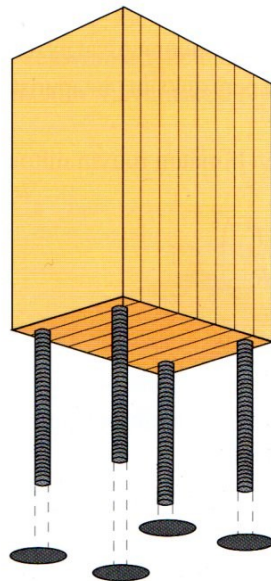


Kuva 2. Vasemmalla esimerkki liimapalkin tukipinnan vahvistamisesta liimaruuveilla, jossa liimapuupalkki on tuettu teräspilariin [5, s. 128]. Oikealla esimerkki liimapuupilarin ja -palkin liittämisestä toisiinsa pilariin liimatun ja palkin läpi kulkevan liimatangon avulla [5, s. 127].

Liimatankoja ja -ruuveja voidaan käyttää myös liimapurakerenneosien liittämisessä toisiin rakenneosiin. Esimerkiksi palkin ja pilarin liitos voidaan toteuttaa

pilarin päähän sisään liimatulla kierretangolla, jossa kierretanko menee palkin läpi asti, ja palkki kiinnitetään kierretangon päähän tulevalla mutterilla ja aluslevyllä (kuva 2). Tämän liitostavan etu on se, että liitoselimet eivät näy ulospäin, mutta heikkoutena on se, ettei tankoliitos riitä tukemaan palkkia sivusuunnassa, vaan sivuttaistuenta on hoidettava muilla keinoin. [1, s. 262; 4, s. 159.] Tämä johtuu erityisesti siitä, että palkki kuivuessaan kutistuu, ja tankoliitos pääsee löystymään, jolloin liitoksella ei ole kykyä pitämään palkkia pystyssä siihen kohdistuvaa kaatavaa rasiitusta vastaan.

Liimaruuveja ja -tankoja käytetäänkin yleensä liimapuusauvojen päiden liitoksissa (kuva 3) esimerkiksi liimapuisten pilarien juuriliitoksissa ja liimapuujäykistesauvojen liitoksissa [4, s. 37]. Nykyään käytettävät liimaruuvit sopivat tähän liitostyyppiin hyvin, sillä niillä voidaan liimauksen yhteydessä kiinnittää liimapuusauvan päähän erillinen teräksinen liitososa.



Kuva 3. Esimerkki liimatangoilla toteutetusta liimapuusauvan päätyliitoksesta. Tankojen avulla sauva voidaan kiinnittää toisiin rakenneseisiin esimerkiksi juotosvalamalla tai teräsosan välityksellä. [4, s. 37, 151–152.]

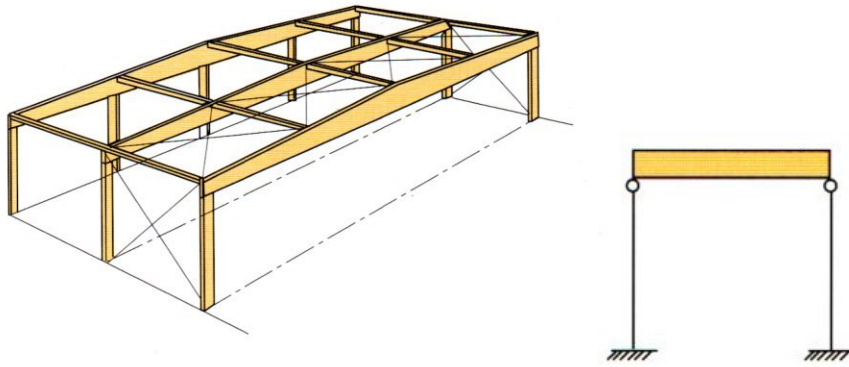
Liimaruuviliitoksella toteutettu jäykistesauvan pään liitoksessa liimaruuviryhmä välittää teräsosan kautta sauvan normaalivoimat eteenpäin esimerkiksi

perustukselle. Samalla tavalla liimaruuviliitoksella voidaan toteuttaa myös jäykästi perustukseen kiinnitetyn pilarin, eli mastopilarin juuriliitos. Liitoksessa on ideana, että liimapuun päähän asennetaan liimaruuveilla kiinnitettävät teräskengät, jotka ottavat vastaan taivutusmomentin aiheuttaman voimaparin, eli puristus- ja vetovoiman, ja välittävät ne perustukselle. [4, s. 145–155; 6, s. 2–4, 22–26.] Mastopilarin liimaruuviliitoksesta, eli tämän insinööriyön toisesta pääaiheesta kerrotaan lisää tämän raportin myöhemmissä luvuissa.

2.2 Mastopilarin jäykkä liitos perustukseen

Tämän insinööriyön yksi pääaiheista on liimapuu-mastopilarin pilarikengin ja liimaruuvein toteutettava liitos perustukseen. Kyseessä on liimatankoliitostyyppi, jota nykyään pääasiassa käytetään liimapuu-mastopilarien juuriliitoksissa [6, s. 2–4]. Liimapuurakenteisissa mastopilarilla tarkoitetaan yleensä hallirakennuksissa käytettävää pilaria, joka on kiinnitetty jäykästi perustukseen pilarin poikkileikkauksen vahvan taivutuskestävyyden suunnassa. Pilarin jäykkää juuriliitosta hyödynnetään hallirakennusten jäykistämiseen liimapuukehien suunnassa. [9, s. Y40.]

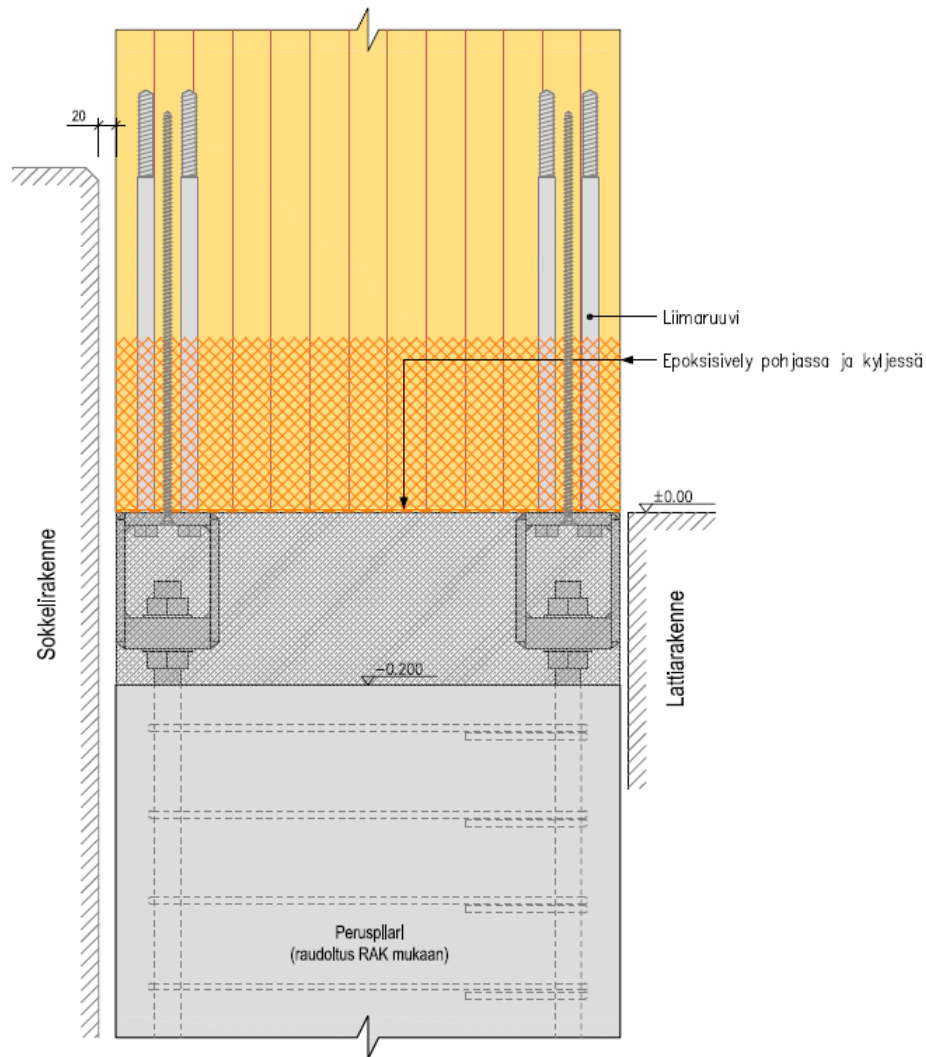
Liimapuupilareiden juurta ei kiinnitetä jäykästi sen heikomman taivutuskestävyyden suunnassa johtuen siitä, että liimapuusauvarakenteiden poikkileikkaukset ovat usein hyvin kapeita verrattuna niiden korkeuteen. Taivutuskestävyyttä hallirakennusten mastopilareilta tarvitaankin usein vain kohtisuoraan ulkoseinää vastaan tuulikuorman vastaanottamiseksi. Mastopilarin juuriliitos onkin nivelellinen liitos poikkileikkauksen heikommassa suunnassa, jolloin rakennuksen jäykistäminen liimapuukehien välillä hoidetaan esimerkiksi ulkoseinien vinosidesauvoilla tai vetotangoilla (kuva 4). [4, s. 130–132.]



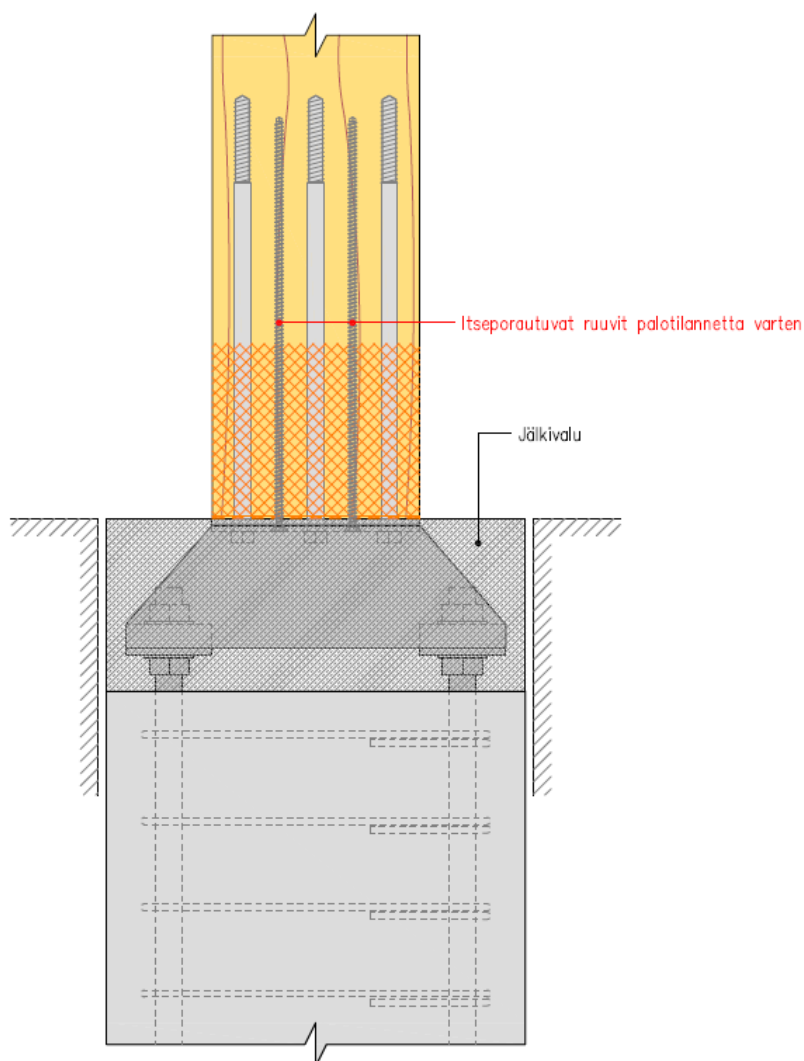
Kuva 4. Vasemmalla esimerkki mastopilareilla liimapuukehien suuntaan jäykistetyistä hallirakenteesta [4, s. 132]. Oikealla liimapuukehän rakennemalli, jossa mastopilari on kiinnitetty jäykästi liimapuukehän suunnassa [4, s. 131].

Kun mastopilarin juuriliitos toteutetaan liimaruuveilla tai -tangoilla, niin liitos jää kokonaan piiloon, mikä onkin hyvä asia esimerkiksi esteettisistä syistä. Liitoksessa käytettävä liima suojaa myös teräksisiä ruuveja korroosiolta. Liimaruuviliitoksen heikkoutena voidaan kuitenkin pitää sitä, että liitoksen ruuveilta vaadittavien reuna- ja keskiöetäisyyksien vuoksi liimapuupilarin momenttikapasiteettia ei välttämättä voida hyödyntää täysimääräisenä. [4, s. 151–152; 5, s. 139.]

Liimapuu-mastopilarin juuriliitoksessa (kuvat 5 ja 6) esitetään puuhallien avoimen standardin HalliPES 1.0 mukaan käytettäväksi konepajavalmisteisia teräskengkiä, jotka kiinnitetään pilarin päähän liimaruuviliitoksella. Pilarikengät kiinnitetään teräsbetoniseen peruspilariin peruspulteilla, jotka mahdollistavat pilarin pystysuoruuden säätämisen asennusvaiheessa. Liimaruuvit, pilarikengä ja peruspultit ottavat yhdessä vastaan liitoksen momentista aiheutuvan voimaparin vetorasituksen, ja lopputilanteessa juotosvalu ottaa vastaan liitoksen puristusvoiman. [6, s. 2–4; 7; 8.]

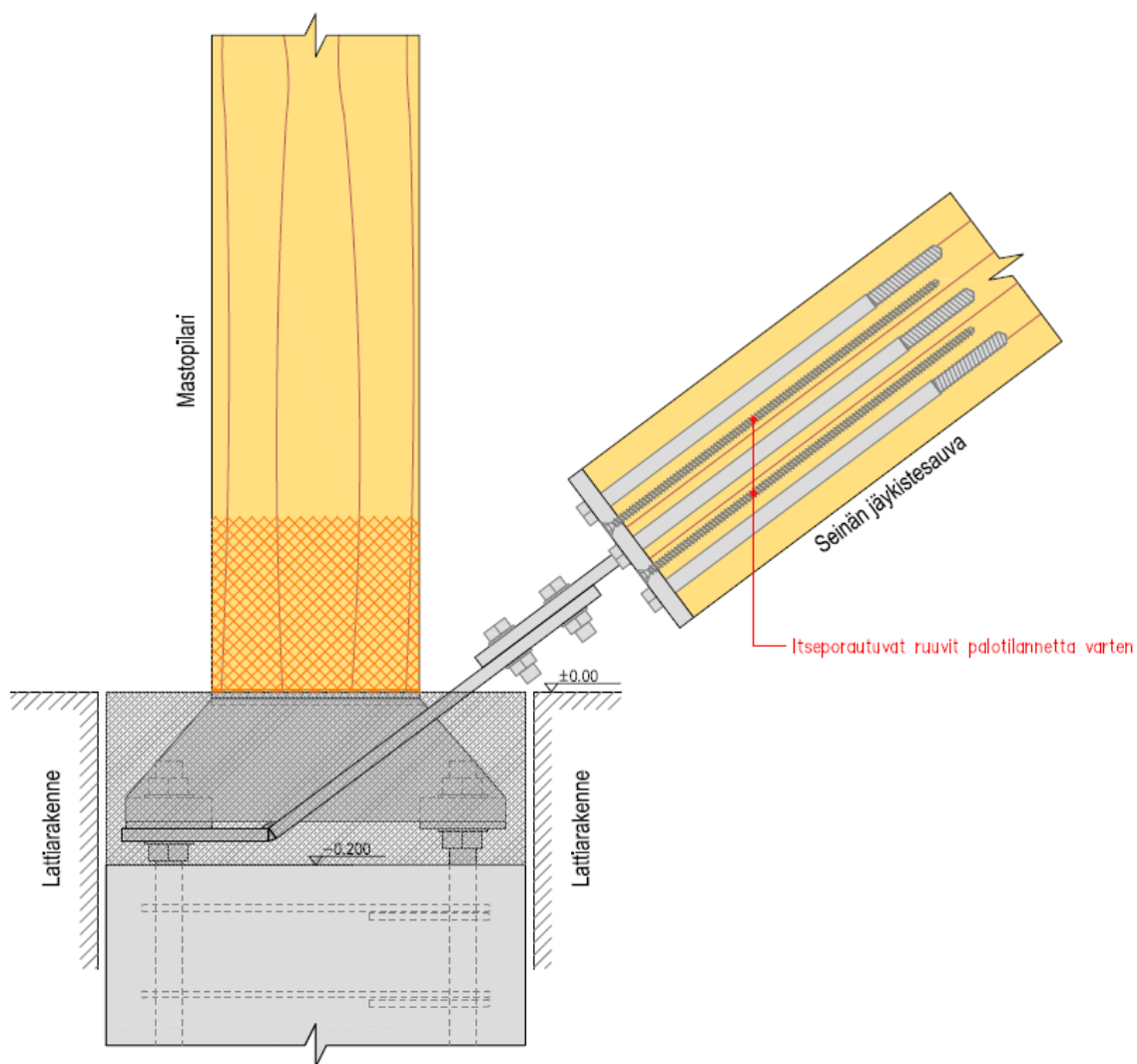


Kuva 5. Esimerkkikuva liimapuu-mastopilarin liimaruuvein ja pilarikengin toteutusta juuriliitoksesta kuvattuna pilarin poikkileikkauksen jäykän kiinnityksen suunnassa [6, s. 2].



Kuva 6. Kuvassa 5 esitetty liitos kuvattuna pilarin poikkileikkauksen nivelkiinnityksen suunnassa [6, s. 2].

Seinän tuulikuormasta liitokseen kohdistuva leikkausvoima kulkeutuu pilarin kautta liimaruuveille, ja niiden kautta pilarikengän ylälaipan välityksellä juotosva-lulle, joka siirtää leikkausvoiman edelleen peruspulttien ja betonien kitkapinnan välityksellä peruspilarille [10, s. 3–7]. Liimaruuviliitoksessa oletetaan vain puristetun liimaruuviryhmän ottavan vastaan leikkausvoiman. Liimaruuviliitos suunnitellaan ottavan vastaan leikkausvoimaa vain pilarin poikkileikkauksen vahvassa suunnassa. Tästä syystä esimerkiksi seinän jäykistesiteitä ei tule kiinnittää pilariin, vaan niiden liitos tehdään suoraan peruspilariin (kuva 7), jolloin jäykistysvoimat eivät rasita liimaruuviliitosta. [6, s. 4, 22.]



Kuva 7. Esimerkki seinän jäykistesauvan liitoksesta liimapuu-mastopilarin peruspilariin [6, s. 22].

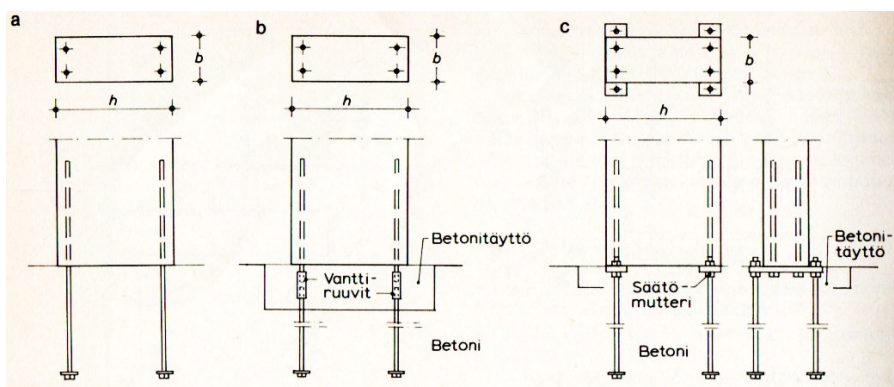
Palotilanteessa juotosvalu toimii suojaamassa pilarikenkää ja peruspultteja palorasitukselta [10, s. 4]. Liimaruuveilla on huono kestävyys palorasitukselle, sillä lämpötilan kohotessa liima sulaa ja menettää tartuntaominaisuutensa. Tästä syystä HalliPES 1.0 esittää käytettäväksi itseporautuvia ruuveja palotilannetta varten (kuva 6), joilla otetaan vastaan palotilanteen kuormat täysin mekaanisella tartunnalla. [6, s. 4; 8.]

Liimapuupilarin pää suojataan jo tehtaalla kosteusrasitukselta sivelemällä sen päätypintaan ja kylkiin päätyalueella epoksia (kuva 5) [6, s. 2–4]. Suojaus

tehdään sen vuoksi, sillä puun avoimet syyt imevät helposti kosteutta puun sisään. Imeytynyt vesi aiheuttaa vakavia vaurioita, sillä kuivuessaan runsas kosteuseläminen aiheuttaa halkeamia liimapuussa. Liimapuun pää onkin suorassa kosketuksessa juotosbetonin kanssa, joka voisi nostaa kapilaarisesti kosteutta suojaamattomaan liimapuuhun. Pilarin pään korkoasema on myös usein sama kuin lattian korko, jolloin esimerkiksi lattialle vuotanut vesi voisi imeytyä suojaamattomaan puuhun. [3, s. 187–188; 6, s. 2–4.]

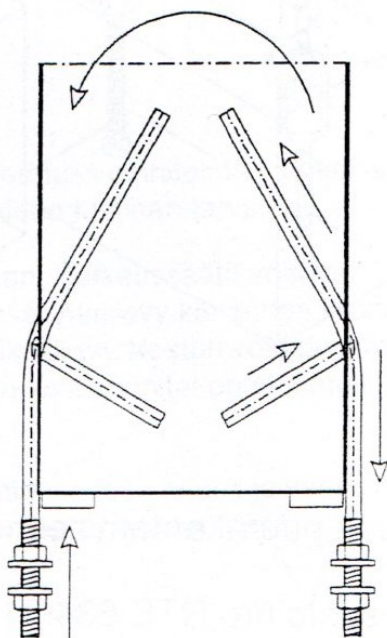
Ennen käytössä olleita liimapuu-mastopilareiden liimatankoliitoksia

Ennen kuin liimapuu-mastopilarien liimaruuvein ja teräskengin toteutettava liitoksen käyttö yleistyi, oli käytössä erilaisin liitoselimin toteutettavia jäykän liimapuupilarin juuriliitoksia. Vuonna 1984 julkaistu kirja RIL 153 Liimapuurakenteet esittää käytettäväksi kolme erilaista jäykästi kiinnitetyn liimapuupilarin liimatankoliitosta (kuva 8). Kuvan 8 kohdassa a esitetään, että pilari kiinnitetään perustukseen liimatankoineen betonoinnin yhteydessä, tai jälkivaluna suoritettuna. Kohdassa b pilarin liimakierretangot kiinnitetään perustukseen valmiiksi kiinnitettyihin jatkostankoihin vanttiruuvien avulla, jonka jälkeen suoritetaan jälkivalu. Kohdassa c liimatangot kiinnitetään tehtaalla muttereilla tai hitsaamalla teräslevyyn, ja pilari kiinnitetään betonin ankkuriteräksiin esimerkiksi muttereilla. Kohdan c liitosratkaisu muistuttaaakin eniten nykyään käytettävää liitostapaa, jossa pilari kiinnitetään liimaruuveilla teräskenkiin tai teräslevyihin, ja teräsosa kiinnitetään perustukseen peruspulteilla. [5, s. 139–142.]



Kuva 8. Esimerkkejä liimatangoiin toteutetuista liimapuu-mastopilarin kiinnityksestä vuodelta 1984 [5, s. 140].

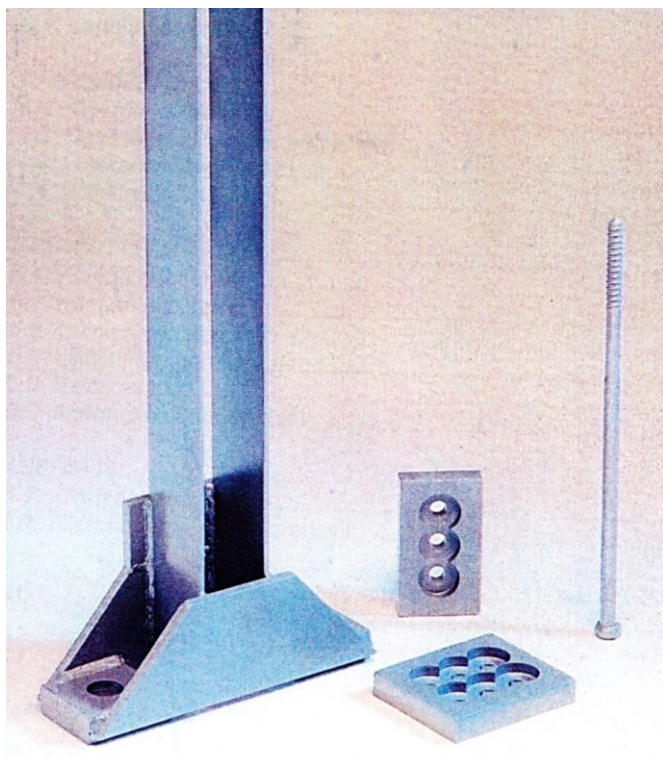
Liimapuu-mastopilarin liitoksessa on ollut saatavilla myös eri teräsvalmistajien valmiita liitoskomponentteja. Esimerkiksi Anstar Oy on valmistanut liimapuupilarin momenttijäykkään kantaliitokseen soveltuvia APL-T-vinotanko-liitososia (kuva 9). Liitoksessa liimapuuhun vinosti syysuuntaa vastaan liimatut vinotankoparit ottavat vastaan liitokseen kohdistuvat rasitukset, ja ankkuroivat liimapuun perustukseen kiinni. APL-T-teräkset kiinnitetään Anstarin omiin AK-pilarikenkiin kiinni, jotka valetaan betoniperustukseen kiinni etukäteen. Liitoksen puristusvoimat otetaan vastaan liimapuun ja sen alla olevien korokepalojen välityksellä. Korokepalojen tarkoitus on irrottaa liimapuun pää lattiatasosta kosteusteknisten syiden vuoksi. [11.]



Kuva 9. Anstar Oy:n vinoliimatangoon toteutettu liimapuupilarin momenttijäykkä kantaliitos [11, s. 2].

Myös Teräspeikko Oy:llä (nykyään Peikko Group Oy) on ollut omia valmiita teräsosia, joilla on liitetty liimapuupilareita jäykästi perustuksiin. Valikoimassa on ollut kaksi eri puupilarikenkä-vaihtoehtoa (kuva 10), joista toinen on ollut liimaruuvein liimapuuhun kiinnitettävä teräskappale RPK-ruuvipilarikenkä, joka on kiinnitetty hitsaamalla perustuksessa olevaan kiinnityslevyyn. Toisena liitosvaihtoehtona on ollut LPK-puupilarikenkä, jonka alaosa muistuttaa pitkälti nykyään

käytettäviä liimaruuveilla kiinnitettäviä pilarikenkiä. Tämä tosin ei ole liimatanko- tai -ruuviliitos, vaan puun liittäminen teräsosaan tapahtuu puun sisään vietävän teräslevyn ja siihen liitettävien tappivaarujen avulla. LPK-puupilarikengä liitetään perustukseen esimerkiksi valmistajan omilla PPM-peruspulteilla tai HPM-harjateräspulteilla. [12.]



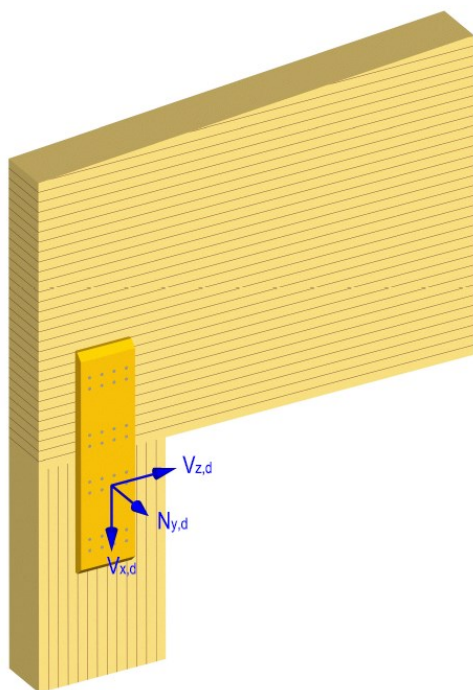
Kuva 10. Teräspeikko Oy:n puupilarikengät, joista vasemmalla oleva on tappivaaruin liimapuuhun liitettävä LPK-puupilarikengä, ja oikealla oleva on liimaruuvein liimapuuhun kiinnitettävä RPK-ruuvipilarikengä [12 s. 1].

2.3 Palkin tukipinnan vahvistaminen

Tämän insinööriyön toinen pääaihe on liimapuupalkin tukipinnan vahvistaminen liimatangoilla ja teräslevyllä. Kyseessä on yksi liimapuun vahvistustapa, jolla lisätään liimapuupalkin tukiliitoksessa liimapuun puristuskestävyyttä kohtisuoraan syitä vastaan. Puristusrasitus kohtisuoraan puun syitä vastaan ei aiheuta puun murtumista, vaan se aiheuttaa plastisia puristumamuodonmuutoksia tukipinnan alueella. Puun tukipainekestävyys mitoitetaan kuitenkin puristusjännityksen mukaan murtorajatilassa, jossa puristusjännitys jaetaan tasaisesti tukipinta-alalle.

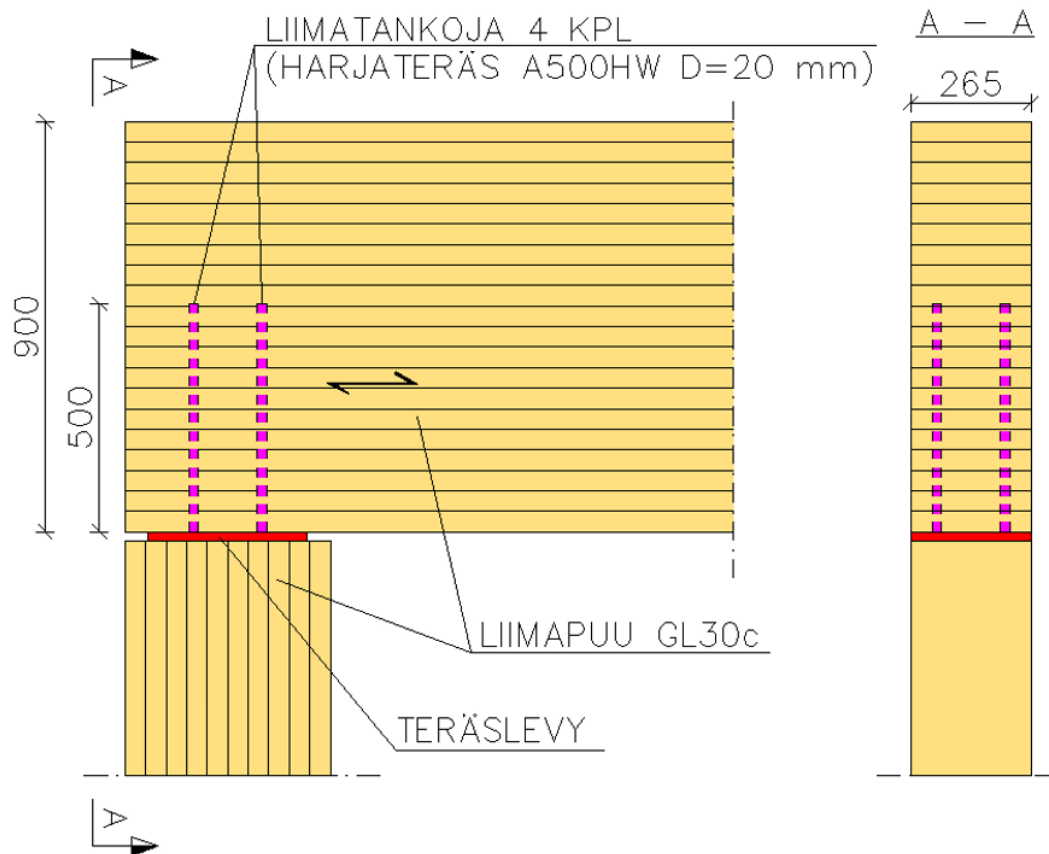
Jotta puristusjännityksen mitoitusehto täyttyy tukialueella, niin tukipinta-alan on oltava tarpeeksi suuri. Jos tukipinta-ala ei ole tarpeeksi suuri, puun tukipintaa joudutaan vahvistamaan esimerkiksi liimatangoilla. [1, s. 71–72; 5, s. 126–128.]

Mastopilarikehän pilari-palkki-liitokset toteutetaan usein hankolautaliitoksella, joka ottaa vastaan liitokseen kohdistuvat voimat, kuten vaakasuuntaiset voimat sekä palkkia kaatavan momentin (kuva 11). Hankolautaliitos ei kuitenkaan ota vastaan palkin pystysuuntaista tukireaktiota, vaan palkki tukeutuu tukialueelle kosketuspinnan kautta. Jos palkin tukipinta-ala ei ole riittävä palkin syitä kohti-suoran puristuslujuuden kannalta, eikä tukipinta-alaa voida tai haluta kasvattaa, niin palkin tukipainekestävyyttä voidaan kasvattaa liimatankovahvistuksella. Liimatangoilla vahvistaminen välittää ainoastaan pystysuuntaisia voimia, eikä se pysty vastaanottamaan esimerkiksi palkin pään kaatumismomenttia, sillä liimatankoja ja teräslevyä ei ole tarkoitus ankkuroida tukialueelle kaatavasta momentista aiheutuvaa vetoa vastaan. Liimatankovahvistus toimiikin siis yhdessä hankolautaliitoksen kanssa vastaanottamassa pilari-palkkiliitokseen kohdistuvat voimat. [6, s. 17–21.]



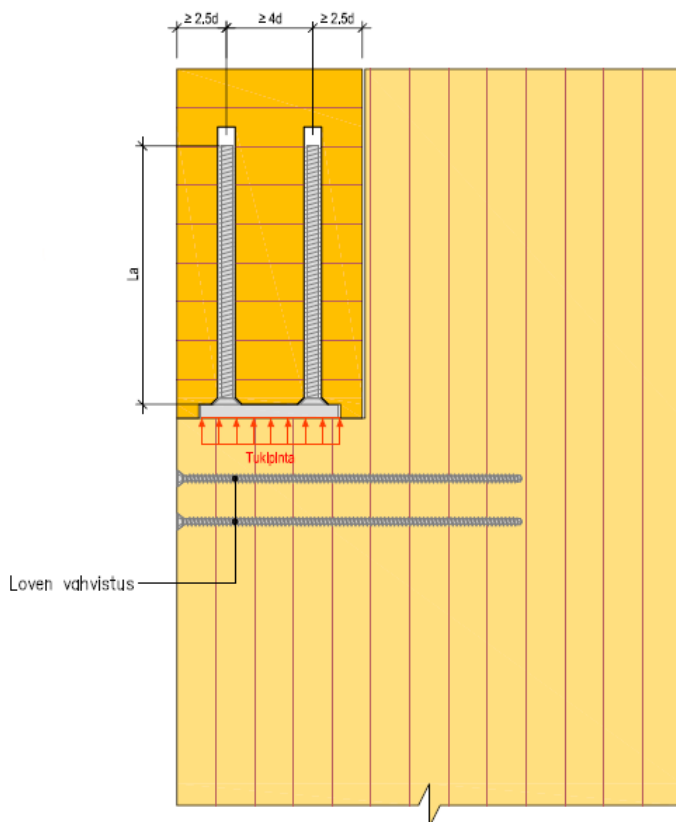
Kuva 11. Mastopilarikehän liimapuupilarin ja -palkin liitos toteutettuna hankolautaliitoksena [6, s. 19].

Tukipinnan liimatankovahvistuksessa liimapuupalkin tukireaktio otetaan vastaan kokonaan terästankojen puristuskestävyydellä. Tukireaktio johdetaan tankojen kautta teräslevylle, joka jakaa tukivoiman liimapuupilarin päähän tasaiseksi puristusjännitykseksi. Kuvassa 12 on esimerkki liimapuu-pääkannattajan tukipinnan liimatankovahvistuksesta. [13, s. 3.]



Kuva 12. Esimerkki mastopilarikehän liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisesta liimatangoilla ja teräslevyllä [13, s. 3].

Liimatankovahvistusta voidaan käyttää myös liimapuuhallirakennusten päätykehien palkkien tukipintojen vahvistamisessa (kuva 13). Päätykehillä liimapuupalkki voi usein olla suorakaiteen muotoinen kalteva palkki, joka mukaillee katon kaltevuutta, ja palkit tuetaan usein päätyjen lovettuihin tuulipilareihin. Lovetuissa pilareissa tukipinta-ala jää usein pieneksi, sillä tukipinnan pituus muodostuu pilarin poikkileikkauksen leveydestä, eikä sen leveyttä voida määrättömästi kasvattaa. Tällöin tukipinta voi herkästi jäädä liian pieneksi, jolloin sitä joudutaan vahvistamaan. [6, s. 11–16.]



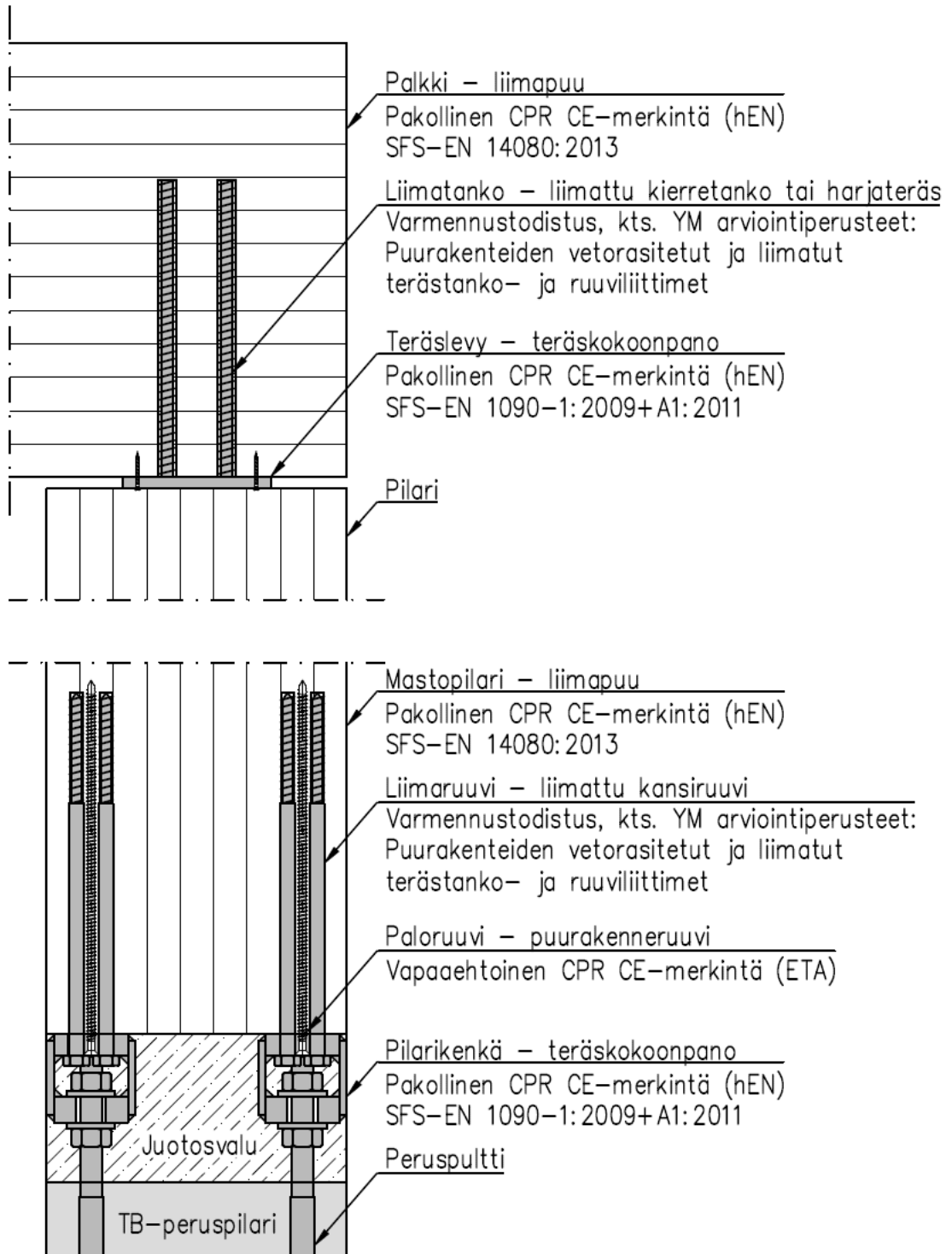
Kuva 13. Esimerkki päätykehän liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisesta liimatangoilla ja teräslevyllä [6, s. 13].

2.4 Liitoskomponenttien tuotehyväksynät

Rakennustuotteiden kelpoisuus tulee osoittaa joillain tuotehyväksynnällä, jossa osoitetaan tuotteen täyttävän niitä koskevat vaatimukset. Rakennustuotteen kelpoisuus osoitetaan ensisijaisesti tuoteryhmäkohtaisella eurooppalaisella harmonisoidulla tuotestandardilla (hEN), joka määrittää tuotteilta esitettävät ominaisuudet, laadunvalvonnalliset seikat, sekä CE-merkinnässä vaadittavat tiedot. Jos rakennustuote ei kuulu harmonisoitujen tuotestandardien piiriin, voidaan tuotteelle hakea vapaaehtoinen eurooppalainen tekninen arviointi ETA. Molemmat edellä mainitut tuotehyväksynät johtavat tuotteen CE-merkintään. CE-merkintä on pakollinen, jos tuote kuuluu harmonisoitujen tuotestandardien piiriin. [14, s. 26–38.]

Suomessa on mahdollista osoittaa tuotteen kelpoisuus myös kansallisilla tuotehyväksyntämenettelyillä, jos tuoteryhmälle ei ole saatavilla harmonisoitua tuotestandardia. Kansallisia tuotehyväksyntöjä ovat ensisijaisesti käytettävä varmennustodistus, harvinaisempi valmistuksen laadunvalvonta, jo käytöstä poistuva tyyppihyväksyntä sekä viimekädessä rakennuspaikkakohtainen selvitys. [14, s. 26–30, 39–42.]

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksessa sekä liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisessa käytettävät liitoskomponenttien tuotehyväksynät on esitetty kuvassa 14. Pilareiden ja palkkien liimapuu kuuluu harmonisoitujen tuotestandardien piiriin, jolloin siltä vaaditaan pakollinen CE-merkintä [15]. Liimattujen teräskoko- ja ruuviliittimien kelpoisuus osoitetaan kansallisella varmennustodistuksella, jonka arviointiperusteet on julkaistu vuonna 2014 ympäristöministeriön verkkosivuilla [15; 16, s. 3–4]. Liitoksissa käytettävät teräskokoonpanot eli pilari-kengät ja tukipainetta välittäväteräslevy kuuluvat teräskokoonpanojen harmonisoidun tuotestandardin piiriin [15; 17]. Mastopilariliitoksen paloruuvit eli itsepo-rautuvat täyskierteiset puurakenneruuvit on tuotehyväksytty yleensä vapaaehtoisella CE-merkinnällä [15].



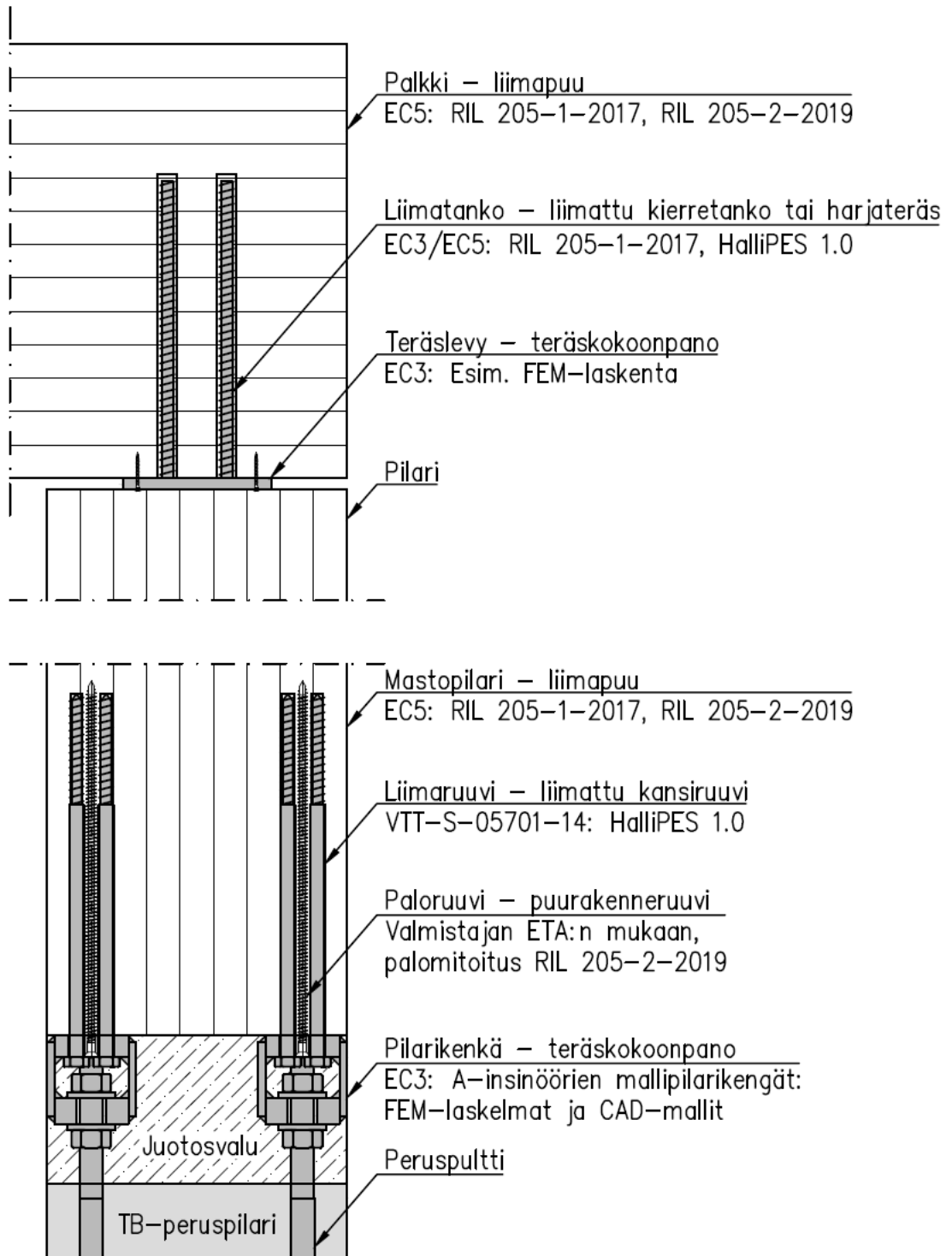
Kuva 14. Limapuupalkin tukipinnan vahvistamisessa sekä liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksessa käytettävien liitoskomponenttien tuotehyväksynät. Peruspultit, juotosvalu ja teräsbetoninen peruspilari eivät sisälly tähän insinööriyöhön.

2.5 Suunnittelun ohjeistukset ja laskentatavat

Suomessa rakenteet suunnitellaan ja mitoitetaan ensisijaisesti eurokoodien mukaan. Eurokoodit ovat rakennesuunnittelua ohjaavia Eurooppa-tason suunnittelustandardikokoelmia, joiden ohjeiden mukaan rakenteet suunnitellaan. Suomessa rakentamista ohjaava ylin taho on kuitenkin Maankäyttö- ja rakennuslaki, jossa edellytetään rakenteiden täyttävän lujuuden ja vakauden vaatimukset sekä muut olennaiset tekniset vaatimukset. Rakennesuunnittelua voidaan tehdä suoraan eurokoodien ohjeiden mukaan, tai suunnittelun tukena voidaan käyttää myös eurokoodeihin pohjautuvia suunnitteluohjeita. [3, s. 21–25.]

Puurakenteet suunnitellaan Eurokoodin 5 mukaan, joka koostuu kolmesta eri suunnittelustandardista. Myös puurakenteiden liitokset mitoitetaan Eurokoodin 5 mukaan, mutta liitoksissa käytettävät teräsosat mitoitetaan Eurokoodin 3 mukaan. Liitoksiin liittyvät betonirakenteet, esimerkiksi peruspilarit ja juotosvalut mitoitetaan Eurokoodin 2 mukaan. [6, s. 4, 20; 14, s. 12–14.]

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksessa sekä liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisessa käytettävät mitoitusohjeet on esitetty kuvassa 15. Liimapuuosat suunnitellaan ja mitoitetaan Eurokoodin 5 mukaisilla mitoitusohjeilla, esimerkiksi RIL 205 -sarjan ohjeiden mukaan [3; 18]. Mastopilarin pilarikenkien mitoituksessa voidaan hyödyntää A-insinöörien mallipilarikenkien valmiita FEM-laskelmia ja DWG-piirustuksia [10; 19]. Liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisessa käytettävä teräslevy voidaan mitoittaa esimerkiksi FEM-laskennalla. Liimatanko-liitokset mitoitetaan suunnitteluohjeen RIL 205-1-2017 mukaan, mutta liimaruuviliitosta ei voida tämän ohjeen mukaan suunnitella, vaan se suunnitellaan VTT-S-05701-14 -lausunnon mukaan. Liimatankojen ja -ruuvien mitoitusohjeet on esitetty avoimessa puuhallistandardissa HalliPES 1.0:ssa. [3, s. 136–138; 6, s. 4, 20.]



Kuva 15. Liimapuupalkin tukipinnan vahvistamisessa ja liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksessa käytettävät suunnitteluohjeet. Peruspultit, juotosvalu ja teräsbetoninen peruspilari eivät sisälly tähän insinööriyöhön.

3 Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

3.1 Liitoksen mitoittavat kuormat

Mastopilarin liitos perustukseen on jäykästi toteutettu liitos liimapuupilarin poikkileikkauksen vahvaan suuntaan. Liitokseen kohdistuu pystysuuntaisia kuormia esimerkiksi omapainoista ja lumikuormasta, mutta myös leikkausvoimaa ja momenttia esimerkiksi tuulikuormasta sekä lisävaakavoimista. Mitoittava momentti aiheuttaa pilarin alapään molempiin reunoihin voimaparin, joista toinen on puristusta ja toinen vetoa. Näihin voimapareihin summataan vielä pystysuuntaisesta kuormasta aiheutuvat tukivoimat. Mastopilarin liitos perustukseen ei ole jäykkä pilarin poikkileikkauksen heikommassa suunnassa, joten liimaruuviryhmiin, pilarikenkiin ja peruspulttiryhmiin kohdistuu vain keskeisiä ja tasaisesti jakautuneita normaalivoimia. [6, s. 4; 10, s. 4–5.]

Liimaruuviliitokseen kohdistuvat voimat on esitetty kuvassa 16 sinisellä värillä. Liimaruuviryhmään ja pilarikenkien välille kohdistuu pystykuormasta sekä momentista johtuvia normaalivoimia. Samat voimat kohdistuvat myös teräsbetonisen peruspilariin liittyviin peruspulttiryhmiin. Leikkausvoima V_d otetaan vastaan puristetun puolen liimaruuveilla. Leikkausvoima johdetaan peruspilarille juotosvalun ja peruspulttien kautta. Liitoksen mitoittavat tukivoimaparit A_d ja B_d laskeaan kaavan 1 mukaan. [6, s. 4; 20, s. 3–5; 10, s. 3–5.]

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

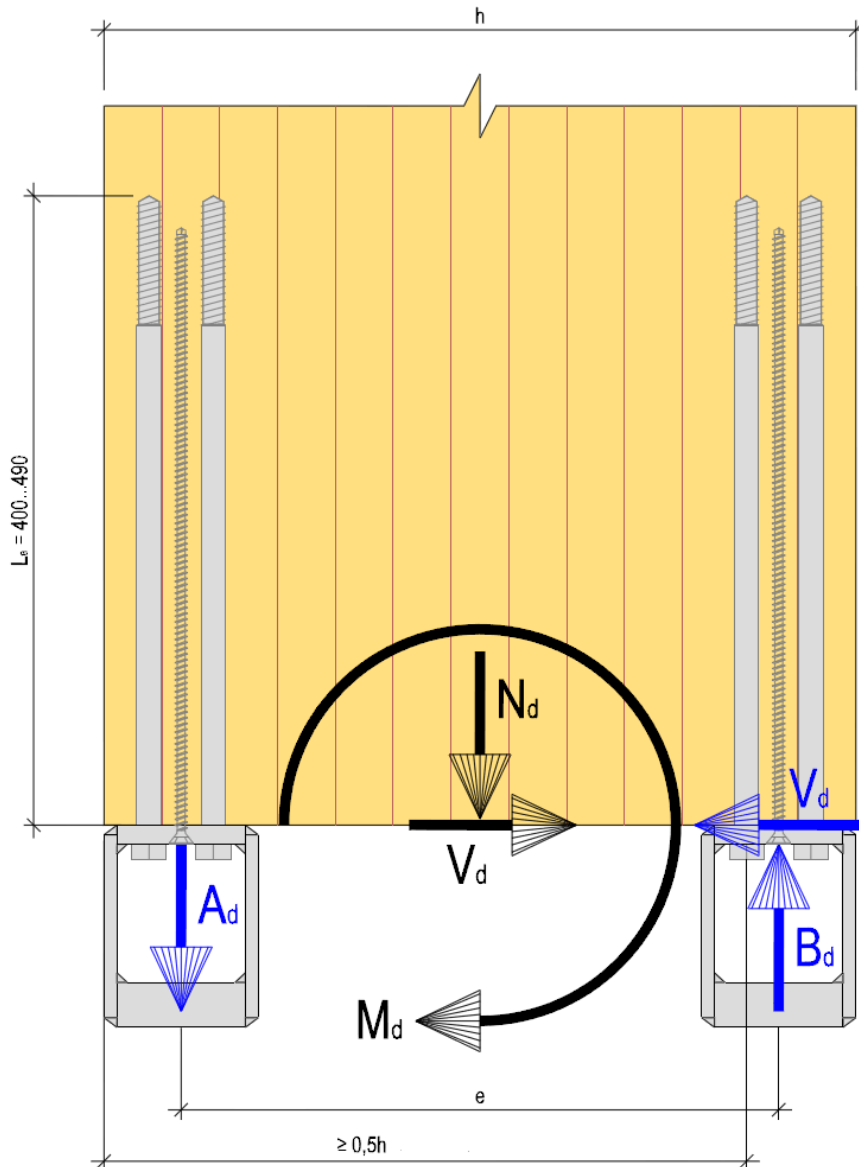
$$\text{Puristettu reuna:} \quad B_d = \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2}$$

joissa

M_d = liitoksen mitoittava momentti

N_d = liitoksen mitoittava normaalivoima

e = tukivoimien A_d ja B_d välinen etäisyys



Kuva 16. Mastopilarin liimaruuviliitokseen kohdistuvat voimat [6, s. 4].

3.2 Peruspultit

Mastopilarin liitoksessa peruspilariin käytettävät peruspulttiryhmät mitoitetaan liitokseen kohdistuville normaalivoimille, eli tukivoimille A_d ja B_d [6, s. 2–4]. A-insinöörien mallipilarikenkää käytettäessä peruspulttiryhmässä on kaksi peruspulttia yhtä pilarikenkää kohden. Pilarikenkiä on yksi molemmissa reunoissa pilarin poikkileikkausta, joten peruspultteja on yhteensä neljä [10, s. 3]. Normaalivoimille eli puristus- tai vetorasitukselle mitoittaessa tukivoimat jaetaan

kahdella, jolloin saadaan yhden peruspultin mitoittava normaalivoima. Peruspultit mitoitetaan myös liitokseen kohdistuvalle leikkausvoimalle V_d . Peruspultin mitoitustarkastelu tulee tehdä yhdistetylle leikkaus- ja vetorasitukselle. [21, s. 12–16.]

Peruspultin normaali- ja leikkausvoimakestävyys vaikuttaa pultin koon lisäksi oleellisesti myös mm. pultin tartuntapituus ja reunaetäisyys peruspilarissa, peruspilarin betonin lujuus ja raudoitus, sekä juotosvalun sauman paksuus ja betonin lujuus. Leikkauskestävyyteen vaikuttaa myös liimapuupilarin, juotosvalun ja peruspilarin välinen kitkavoima, jota voi hyödyntää liitoksen leikkausvoiman välittämisessä peruspilarille. [21, s. 12–15, 29.]

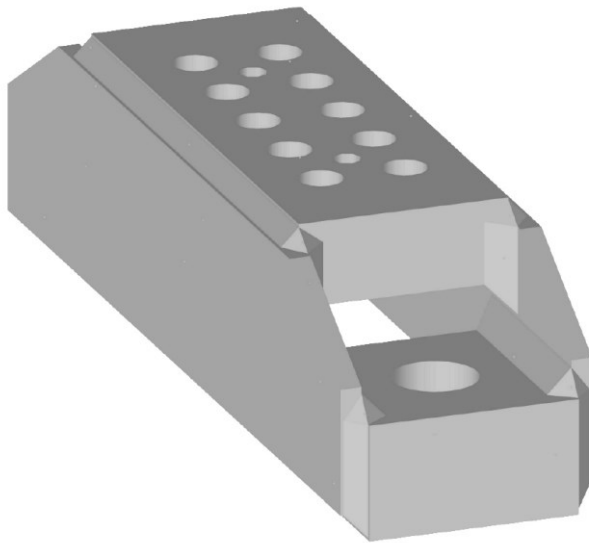
Peruspultit ovat mastopilarin liimaruuviliitoksen ja peruspilarin välisen rajapinnan välinen liitoskomponentti yhdessä juotosvalun kanssa. Niiden mitoittaminen edellyttääkin tarkempaa ja kokonaisvaltaisempaa suunnittelua, sillä liimaruuviliitos ole yksin mitoittava tekijä peruspulteille. Peruspultit tulee aina mitoittaa valmistajan ohjeiden mukaan. Valmistajakohtaisia ohjelmia ja ohjeita onkin runsaasti saatavilla, eikä näiden mitoittamista ole tarvetta käsitellä tässä insinöörityössä tarkemmin.

3.3 Pilarikengän mitoitus

Mastopilariliitoksen liimapuupilarikengä voidaan suunnitella ja mitoittaa käyttämällä hyväksi A-insinöörien suunnittelemia valmiita liimapuupilarikengkiä (kuva 17). Tätä mitoitus tapaa esitetään käytettäväksi myös Puuinfon Vaapu-koulutusaineistossa. Pilarikengkiä on yhteensä 14 kpl, jotka ovat keskenään erilaisia riippuen pilarin leveydestä ja liimaruuvien määrästä. [10, s. 2–6; 20, s. 13–18.]

Pilarikengät soveltuvat liimapuupilareille, joiden leveys on 115, 140, 165, 190, 215, 240 tai 265 mm. Kengän ylälaipan leveys on aina 100 mm, pituus on sama kuin liimapuun poikkileikkauksen leveys. Ylälaipan paksuus vaihtelee välillä 30–45 mm riippuen kengän pituudesta. Kengät kiinnitetään ylälaipasta

liimaruuveilla liimapuuhun, ja niiden lukumäärä kenkää kohden voi olla 4, 6, 8 tai 10 kpl riippuen kengän koosta. [10, s. 2–22; 20, s. 13–18.]



Kuva 17. Esimerkki A-insinöörien suunnittelemasta mallipilarikengästä [10, s. 1].

Peruspultit kiinnitetään kengän alalaippoihin, joiden pituus ja leveys on aina 100 mm, ja paksuus vaihtelee välillä 35–55 mm. Pilarikengällä voidaan käyttää peruspultteja, joiden koko on M16, M20, M24 tai M30. Pilarikengän peruspultille alalaippaan varatun reiän halkaisija valitaan peruspultin mukaan, jolloin edellä mainittujen peruspulttien kokoja vastaavat reiät pilarikengässä ovat 28, 31, 35 tai 40 mm. Reiän halkaisija muodostuu betonirakenteiden liitostoleranssien mukaan, ja reikien koot ovat vastaavia kuin betonirakenteiden pilarikengissäkin. Peruspultteille käytetään niiden mukaisia aluslevyjä. [10, s. 2–22; 20, s. 13–18.]

Pilarikengän korkeus on aina 120 mm. Kengän sivuilla on uumalevyt, joiden pituus riippuu liimapuun leveydestä. Uumalevyjen paksuus on kuitenkin aina 10 mm ja korkeus 100 mm. [10, s. 2–22; 20, s. 13–18.]

A-insinöörit ovat koonneet liimapuupilarikengistä teknisen käyttöohjeen, johon on taulukoitu kunkin kengän normaalivoimakestävyydet asennus- ja lopputilanteelle. Kapasiteettitaulukot koskevat vain pilarikengän kestävyyttä, eivätkä siis ota kantaa koko liitoksen kestävyuteen, vaan esimerkiksi peruspultit ja

juotosvalut on suunniteltava erikseen. Pilarikenkien teknisen käyttöohjeen mukaisten pilarikenkien asennus- ja lopputilanteen kapasiteetit normaalivoimille on esitetty myös tämän raportin liitteenä olevassa Excel-laskentapohjalla tehdyssä mitoitus-esimerkin laskentaraportissa (liite 4, s. 31). [10, s. 2–4.]

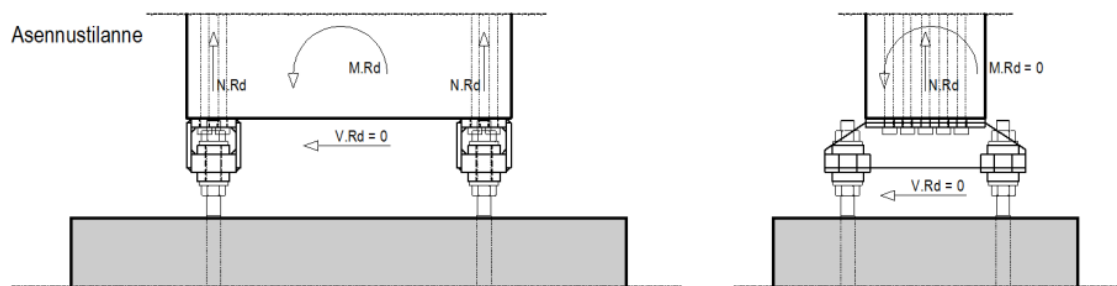
Pilarikengän teknisen käyttöohjeen liitteenä on myös mallikuvat jokaisesta erikengän kokoonpanosta. Ohjeen mukaan näitä mallikokoonpanojen mittoja ja muita parametreja on noudatettava, jotta laskelmat pitävät paikkansa, eli esimerkiksi kengän peruspulttien tai liimaruuvien reikiä ei saa suurentaa. Peruspulttien reikien pienentäminen on kuiteinkin sallittua, sillä laskelmissa ja mallikuvissa on käytetty vain maksimikokoista M30 peruspulteille tarkoitettua 40 mm reikää. [10, s. 2–22.] Tämän raportin liitteenä on esimerkki eräästä liimapuupilarikengän mallikuvasta (liite 5).

Pilarikengät on mallinnettu FEM-ohjelmalla, jonka tulokset ilmenevät A-insinöörin laskelmaselostuksesta. Kengät on mitoitettu kestäämään vähintään samat kuormat, kuin mitä liimaruuviryhmän kapasiteetti on. Teknisessä käyttöohjeessa käytetäänkin laskelmaselosteesta saatuja arvoja alaspäin pyöristettyinä tavoitekapasiteettiarvoja. Liimaruuviryhmän kapasiteetit on laskettu VTT:n lausunnon nro VTT–S–05701–14 ehtojen ja mitoitusohjeiden mukaan. Ruuviryhmien kapasiteettien laskentaan on käytetty suurimman mahdollisen vetokapasiteetin tuotavia valintoja, mutta on otettu samalla huomioon kengän ylälaipan lyhentävä vaikutus ruuvien tartuntapituuteen. Kenkäkohtaiset liimaruuviryhmien maksimiveitoluudet, toteutuvat tartuntapituudet ja mitoitusperusteet, on esitetty myös tämän raportin liitteessä 4. [19, s. 3–11.]

Asennustilanne

Asennustilanteessa pilarikengille ajatellaan kohdistuvan vain pystysuuntaisia voimia, eikä kengälle ilmoiteta leikkausvoimakestävyyttä (kuva 18). Pilari on tuettava vaakasuuntaan asennustilanteessa, ja pilarin pään kiertymä on estettävä juotosvalua tehdessä. Pystysuuntaiset voimat muodostuvat pilarin pystykuorman tukireaktioista sekä momentin aiheuttamasta voimaparista.

Liimaruuviryhmän kautta pilarikengälle ja sitä kautta peruspulteille tulevien kuormien oletetaan olevan keskeisiä ja tasaisesti jakautuvia pilarin poikkileikkaukseen nähden. Vetotilanteessa kuormat välittyvät pilarikengälle peruspulttien ja niiden aluslevyjen sekä liimaruuvien kautta. Puristustilanteessa voimat välittyvät liimapuupilarin ja kengän välisen pinnan kautta kengälle, ja kenkien ja aluslevyjen kautta peruspulteille. Peruspultit ovat asennustilanteessa sivusiirtyviä, ja niiden suurin sallittu vinous pystysuunnassa on 1/100. [10, s. 3–7.]



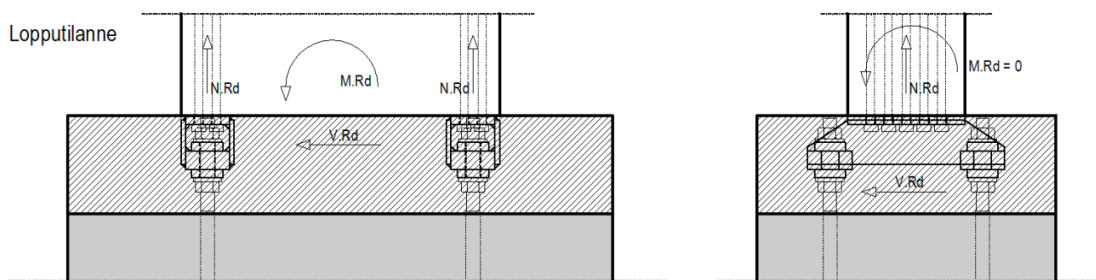
Kuva 18. Liitoksen rakenteellinen toiminta asennustilanteessa [19, s. 3].

Asennustilanteessa voi todellisuudessa pilarin vaakasuuntaisesta tuennasta riippumatta syntyä hyvin pieniä leikkausrasituksia pilarikengälle johtuen pilarin projektiopinta-alaan kohdistuvasta tuulesta. Voimat voidaan olettaa lähes nol-laksi, jolloin ne voidaan jättää huomioimatta. Asennusturvallisuuden kannalta on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, että väliaikaiset tuennat säilytetään juotosvalun kovettumiseen ja lopullisten jäykistysrakenteiden valmistumiseen asti, ja että juotosvalut tehdään mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta liitos voi alkaa toimimaan lopputilanteen vaatimalla tavalla.

Lopputilanne

Lopputilanteessa pilarikengälle kohdistuu edelleen vain pystykuormasta ja momentin voimaparista muodostuvia pystysuuntaisia normaalivoimia (kuva 19). Vetotilanteessa voimat kulkeutuvat samaan tapaan liimaruuvien ja peruspulttien välityksellä pilarikengän kautta kuin asennustilanteessakin. Puristuskapasiteettia lopputilanteessa ei pilarikengälle ilmoiteta, sillä puristusvoimien ajatellaan

kulkevan suoraan kengän ylälaipan läpi sekä pilarin ja juotosvalun välisen pinnan kautta juotosvalulle. Juotosvalun tulee olla lujuusluokaltaan vähintään C40/50, ja se tulee toteuttaa painelaatikkovaluna, jotta pilarin ja pilarikengän alle ei jäisi rakoja. Juotosmassan tulee olla myös helposti tiivistyvää sekä kutistumatonta, ja sen suurin sallittu raekoko on 3 mm. Juotosvalun huolellinen toteuttaminen on tärkeää sen vuoksi, että pilarilta tuleva puristusvoima johtuu varmasti tasaisen tukipinnan kautta juotosvaluun, eikä tällöin rasia pilarikengää. [10, s. 3–7.]



Kuva 19. Liitoksen rakenteellinen toiminta lopputilanteessa [19, s. 3].

Momenttia pilarin heikompaan suuntaan ja sitä kautta pilarikengälle ei liitoksessa ole, sillä pilarin liitos perustukseen on nivelellinen pilarin heikommassa suunnassa. Lopputilanteessa liitokseen kohdistuva vaakasuuntainen leikkausvoima ei kulkeudu pilarikengän kautta, vaan leikkausvoima siirtyy juotosvalun kautta peruspulteille ja sitä kautta perustukselle. [10, s.3–6.]

Liimapuupilarikengää ei ole suunniteltu paloa vastaa, vaan suunnitteluoletuksena on se, että pilarikengät jäävät juotosvalun sisään. Lopputilanteessa tulee kengää palolta suojaavan juotosvalun olla valmis. Pilarikengien ylälaipassa on 1–2 kpl 13 mm reikiä ajatellen liimaruuviliitoksen palomitoitusta. Nämä reiät ovat liimapuuhun ruuvattavia itseporautuvia ruuveja varten, joiden tarkoitus on ottaa vastaan palotilanteen kuormat liimaruuvien sijasta. [10, s. 4.]

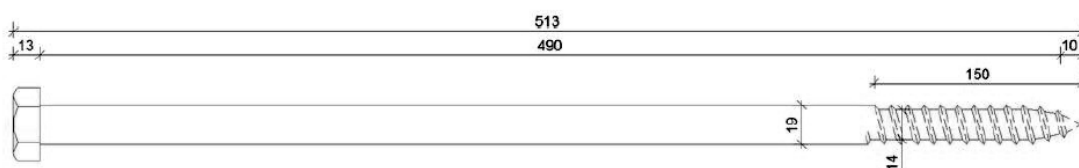
3.4 Liimaruuviryhmän mitoitus

Liimaruuviryhmä mitoitetaan noudattaen liitostyyppi- ja valmistajakohtaisia suunnitteluohjeita, jotka esitetään liitosvalmistajan varmennustodistuksessa tai ETA:ssa. Liimaruuviliitosta ei voi siis mitoittaa esimerkiksi RIL-205-1-2017-kirjan mitoitusohjetta käyttäen, sillä tämä ohje koskee vain liimatankoliitoksia, joiden tangot ovat koko matkalta profiloituja. [3, s. 136.]

Puuhallien avoimessa standardissa HalliPES 1.0:ssa esitetään liimaruuviryhmän mitoitusohje, joka perustuu VTT:n lausuntoon nro VTT-S-05701-14 [6, s. 4]. Samaa mitoitusohjetta esitetään käytettäväksi myös Puuinfon Vaapu-koulutusaineistossa [19, s. 5; 20, s. 3].

Mitoitusehdot

VTT:n lausuntoon ”Liimaruuviliitosten suunnitteluohje 5.12.2014” perustuva mitoitusohje koskee liimapuuhun syiden suuntaan liimattavia kansiruuveja, joiden tartuntapituus L_a on puussa 400–490 mm (kuva 20). Ruuvien kärkiosan tulee olla kierteistetty 100–150 mm matkalta, ja sileän osan halkaisija tulee olla 19 mm. Kansiruuvien tulee kuulua lujuusluokkaan S235JRG2 (EN 10025) tai 5.8 (ISO EN 892-1). Ruuvit liimataan epoksi- tai polyuretaaniliimalla, mutta käytettäessä lujuusluokan 5.8 ruuveja, tulee liimaliitoksessa käyttää epoksiliimaa. [6, s. 4; 20, s. 3–4.]



Kuva 20. Esimerkki liimaruuviliitoksessa käytettävästä kansiruuvista [19, s. 5].

Liitoksessa hyväksytty liimapuun on oltava mäntyä tai kuusta, ja sen on kuuluttava vähintään lujuusluokkaan GL30c. Liitoksessa käytettävän liimapuu voi kuulua ainoastaan käyttöluokkaan 1 tai 2. Liimapuun päähän porataan liimattavia

ruuveja varten reiät, joiden halkaisija on 20 mm ruuvien sileän osan matkalla ja 16 mm ruuvien kierteisen osan kohdalla. Reiät muodostuvat siis leveämmästä ja kapeammasta osuudesta, joiden yhteenlaskettu syvyys vastaa ruuvien tartuntapi- tuutta. [6, s. 4; 20, s. 3–4.]

Liimaruuviliitoksen suunnitteluun liittyy myös tilanteita, jota em. suunnitteluohje ei koske. Ohje ei koske sellaisia tilanteita, joissa vaikuttaa dynaamisesti vaihto- rasitettu kuormitus, tai joissa vaikuttaa pitkäaikainen yli 50 °C lämpötila. Suun- nitteluohje ei myöskään koske liitoksen palonkestävyyden mitoittamista. [6, s. 4; 20, s. 4.]

Liimaruuvien normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo

Liimaruuvien normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 2 mu- kaan. Mitoittava arvo saadaan joko ruuvien myötökestävyyden tai ruuvien tartunta- kestävyys mukaan, riippuen siitä kumpi kestävyyksistä on pienempi. [6, s. 4; 20, s. 6.]

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{y,d} \\ R_{a,d} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}} \\ k_{mod} * \frac{R_{a,k}}{\gamma_M} \end{array} \right. \quad (2)$$

jossa

$R_{y,k}$ = ruuvien myötökestävyyden ominaisarvo

$$R_{y,k} = \begin{cases} 62 \text{ kN, kun ruuvien lujuusluokka S235JRG2} \\ 101 \text{ kN, kun ruuvien lujuusluokka 5.8} \end{cases}$$

$\gamma_{M,y}$ = ruuvien myötöämisen osavarmuusluku, Suomessa $\gamma_{M,y} = 1,1$

k_{mod} = liimapuun muunnoskerroin

γ_M = liimapuun osavarmuusluku, Suomessa 1,25

$R_{a,k}$ = ruuvien tartuntakestävyyden mitoitusarvo

$$R_{a,k} = \begin{cases} (L_a/490) * 72 \text{ kN, kun ruuvien lujuusluokka S235JRG2, käyttöluokka 1} \\ (L_a/490) * 84 \text{ kN, kun ruuvien lujuusluokka 5.8, käyttöluokka 1} \end{cases}$$

Käyttöluokassa 2 $R_{a,k}$ kerrotaan luvulla 0,8

Vetorasitetulle liimaruuviryhmälle on myös tarkistettava kaavan 3 mukainen ehto [6, s. 4; 20, s. 7].

$$F_{t,d} \leq n_t^{0,9} * R_{a,d} \quad (3)$$

jossa

$F_{t,d} = A_d =$ vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma

$n_t =$ vedettyjen liimaruuvien lukumäärä

$R_{a,d} =$ ruuvien tartuntakestävyysmitoitussarvo

Pohdintaa liimaruuviryhmän vetokestävyydestä

Suunnitteluohje RIL-205-1-2017 ohjeistaa suunnittelemaan vedetyt liimatankoliitokset niin, että terästangot eli tässä tapauksessa ruuvit myötäävät. Myötäämisen ehtona olisi se, että ruuvien tartuntapituudet valitaan niin pitkiksi, jotta tartuntakestävyysmitoitussarvon aiheuttama ruuvien vetojännitys $\sigma_{s,t,d}$ täyttää kaavassa 4 esitetyn ehdon. [3, s. 137.] Kaavaa 4 ei voida sellaisenaan liimaruuviliitoksessa käyttää, sillä ruuvien tartunta- ja myötöominaisuudet ilmoitetaan kestävyysinä (kN) eikä jännityksinä tai lujuuksina (N/mm²). Kaava voidaan kuitenkin muuttaa kestävyysien muotoon kertomalla yhtälö ruuvien poikkileikkauksen pinta-alalla.

$$\sigma_{s,t,d} = \frac{R_{a,d}}{\frac{1}{4} * \pi * d^2} \geq f_y \Leftrightarrow R_{a,d} \geq R_{y,k} \quad (4)$$

jossa

$R_{a,d} =$ liimaruuvien tartuntakestävyysmitoitussarvo

$d =$ liimaruuvien halkaisija

$f_y =$ tangon tai ruuvien myötölujuus tai 0,2- rajan minimiarvo

Liimaruuvien myötäämiseen lausuntoon VTT-S-05701-14 perustuvat suunnitteluohjeet ei ota mitään kantaa. Vaarana on siis, että ruuvien murtotapa voi olla hauras, ellei ruuvien testauksessa ole todettu ruuvien myötäävän. Vertaamalla lujuusluokan S235 ruuvien suurinta mahdollista tartuntakestävyyttä ja sen myötökestävyyttä, ja kun käytetään A-insinöörien mallipilarikenkää, jossa on pienin mahdollinen ylälaipan paksuus, huomataan ettei laskennallisesti liimaruuvia saada koskaan myötääväksi, vaan murtotapa on aina tartunnan hauras murto (kaava 5). Ylälaippa on vähintään 30 mm paksu, jolloin 490 mm pitkä

liimaruuvien tartuntapituus on 460 mm [19, s. 5]. Lujuusluokan 5.8 ruuvit tuottavat suuremman eron kestävyyksien välillä.

$$R_{a,d} = 1,1 * \frac{(460/490)*72 \text{ kN}}{1,25} = 59,5 \text{ kN} \geq R_{y,k} = 62 \text{ kN}, \text{ epätosi} \quad (5)$$

Mahdollisen hauraan murtotavan vuoksi liimaruuvien vetokestävyyden varmuutta korotetaan ylimääräisellä varmuuskertoimella 1,2, joka otetaan huomioon kaavalla 6. Kaavan ehdon täyttäessään vedetty liitos voidaan olettaa sitkeäksi. [22, s. 152–153.]

$$R_d \geq 1,2 * F_{t,d} \quad (6)$$

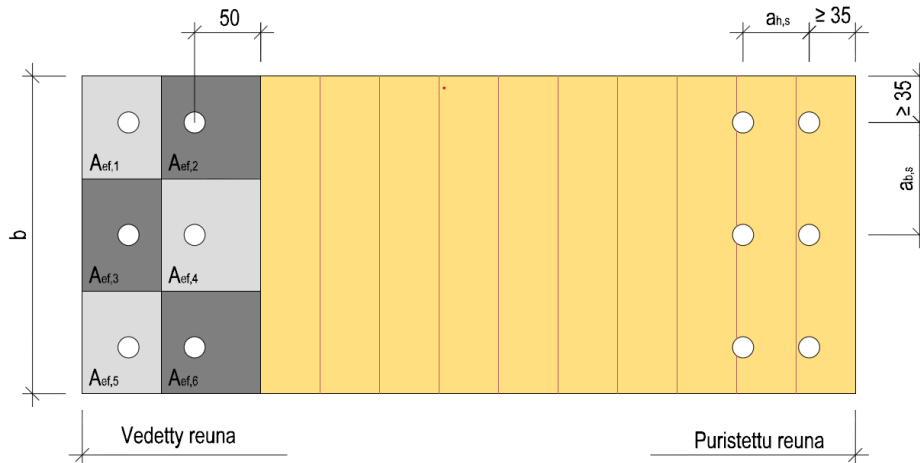
jossa

R_d = ruuviryhmän vetokestävyyden mitoitusarvo

$F_{t,d} = A_d$ = vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma

Liimaruuviryhmän leikkauskestävyys

Liitokseen kohdistuva leikkausvoima V_d voidaan ottaa vastaan vain puristetun reunan liimaruuviryhmälle, sillä vedetyillä liimaruuveilla ei oleteta olevan leikkauskestävyyttä. Puristetun liimaruuviryhmän yksittäisen ruuvien etäisyys liimaruupilarin poikkileikkauksen vedetystä reunasta on oltava vähintään $0,5h$, kun h on pilarin poikkileikkauksen korkeus (kuva 21). Toisin sanoen puristetun liimaruuviryhmä tulee sijaita kokonaisuudessaan pilarin poikkileikkauksen neutraaliakselin toisella puolella. [6, s. 4; 20, s. 8.]



Kuva 21. Vedetyn liimaruuviryhmän tehollinen pinta-ala liimapuun (vasen) sekä liimaruuvien reuna- ja keskiöetäisyydet liimapuussa (oikea) [6, s. 4].

Liimaruuviryhmän leikkauskestävyys lasketaan kaavan 7 mukaan. Yksittäisen liimaruuvin leikkauskestävyydet ja sen ehdot on esitetty taulukossa 1. [6, s. 4.]

$$R_{v,d,tot} = n * R_{v,d} \quad (7)$$

jossa

$R_{v,d}$ = liimaruuvin leikkauskestävyys, arvot kts taulukko X

n = puristettujen liimaruuvien lukumäärä

Taulukko 1. Puristetun liimaruuvin leikkauskestävyys [6, s. 4].

Liimaruuvin leikkauskestävyys $R_{v,d}$ [kN], kun			
- ruuvien etäisyys liimapuun poikkileikkauksen leikkauskuormitetusta reuna- nasta on $\geq 0,5 \cdot h$.			
- ruuvien keskiöetäisyydet $a_h \geq a_{h,s}$, mutta jos $a_h < a_{h,s}$, pienennetään taulukon arvot kertoimella $a_h / a_{h,s}$.			
Ruuvi	Aikaluokka		
	Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
S235JRG2	5,2	6,0	7,0
Lujuusluokka 5.8	6,1	7,1	8,3

Liimaruuvien reuna- ja keskiöetäisyydet

Liimaruuvien pienimmät sallitut reuna- ja keskiöetäisyydet (kuva 21) on esitetty taulukossa 2. Ruuvien minimi reunaetäisyys pilarin reunan pinnasta on aina vähintään 35 mm. Yleisesti liimaruuvien keskiöetäisyydet pilarin poikkileikkauksen leveyssuuntaan $a_{b,s}$ tulee olla vähintään 60 mm ja poikkileikkauksen korkeussuunnassa $a_{h,s}$ 75 mm. Jos kuitenkin käytetään lujuusluokan S235JRG2 ruuveja ja mitoittava kuormitusyhdistelmä kuuluu hetkelliseen aikaluokkaan, niin minimietäisyyksinä voidaan käyttää poikkileikkauksen leveyssuuntaan 50 mm ja korkeussuuntaan 65 mm. Liimaruuvien minimikeskiöetäisyyksiä voidaan kuitenkin redusoida 40 mm asti, jos taulukossa 2 esitetty liimapuun vetokestävyyden ehto täyttyy. [6, s. 4; 20, s. 10–11.]

Taulukko 2. Liimaruuvien reuna- ja keskiöetäisyydet liimapuussa [6, s. 4; 20, s. 11].

Liimaruuvien pienimmät sallitut reuna- ja keskiöetäisyydet [mm]			
Keskiöetäisyys	Muut tapaukset	S235JRG2 ja hetkellinen aikaluokka	Liimapuun vetokestävyys $N_{td} \geq F_{td}$ (kaava X)
$a_{b,s} \geq$	60	50	40
$a_{h,s} \geq$	75	65	40
Reunaetäisyys			
$a_r \geq$	35	35	35

Edellä mainittujen keskiö- ja reunaetäisyyksien lisäksi, liimaruuvien reikien pitää täyttää tietyt asennustarkkuuden kriteerit. Porattavan reiän vinous saa olla enintään $L/100$, joka vastaa 1 mm 100 mm matkalla, ja reiän kohdistus saa poiketa enintään 2 mm. Jos nämä asennustoleranssit eivät täyty, niin ei myöskään liimaruuviryhmän mitoitus pidä paikkansa. [6, s. 4; 20, s. 11.]

3.5 Liimapuun mitoitus liitokselle

Liimapuun vetokestävyys

Liimapuun vetokestävyys ruuviryhmälle lasketaan lausuntoon VTT-S-05701-14 perustuvien suunnitteluohjeiden mukaan. Vetokestävyys ehto liimaruuviryhmälle tarkistetaan kaavan 8 mukaan. Jos tämä ehto toteutuu, niin liimaruuvien keskiöetäisyyksiä voidaan redusoida 40 mm asti (taulukko 2). [6, s. 4; 20, s. 9–10.]

$$N_{t,d} = f_{t,d} * \sum_{i=1}^{n_i} A_{ef,i} \geq F_{t,d} \quad (8)$$

jossa

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

$A_{ef,i}$ = liimapuun tehollinen vetovyöhykkeen pinta-ala ruuvia i kohden

n_i = vedettyjen liimaruuvien lukumäärä

$F_{t,d}$ = vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma

Yhden liimaruuvien tehollinen pinta-ala on $A_{ef,i}$. Tehollinen pinta-ala on suorakaitteen muotoinen ala, joka ulottuu enintään 50 mm etäisyydelle ruuvien keskipisteestä. Pinta-alasta on vähennetty 200 mm², joka vastaa ruuvien 16 mm porareikää. Liimaruuviryhmän tehollinen kokonaispinta-ala muodostuu yksittäisten liimaruuvien tehollisten pinta-alojen summasta (kuva 21). Vierekkäisten ruuvien teholliset pinta-alat eivät kuitenkaan voi olla päällekkäin. Tehollisen kokonaispinta-alan voi laskea kaavalla 9, kunhan ruuvien reunaetäisyydet ovat enintään 50 mm ja keskiöetäisyydet enintään 100 mm. [6, s. 4; 20, s. 9–10.]

$$\sum_{i=1}^{n_i} A_{ef,i} = b * (l_h + 50 \text{ mm}) - n * 200 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

jossa

b = liimapuun poikkileikkauksen leveys

l_h = kauimmaisen ruuvien etäisyys liimapuun vedetystä reunasta

n = liimaruuvien lukumäärä

Liimapuun puristuskestävyys

Puufon Vaapu-aineiston esimerkkilaskelmassa ehdotetaan, että liimapuupilarin puristetun reunan puristusvoima otetaan vastaan liimapuun ja pilarikengän välisellä pinta-alalla. Tämä ajattelutapa pätee ainakin pilarin asennustilanteessa, mutta samaa puristus pintaa voidaan käyttää myös lopputilanteessa, jolloin mitoitus on varmalla puolella. Lopputilanteessa puristuksen ajatellaan siirtyvän pilarikengän ylälaipan kautta juotosvalulle. Tarvittaessa pilarin puristus pinnalle voidaan lopputilanteessa hyödyntää lisäksi juotosvalun ja pilarin välistä pinta-alaa. [7, s. 5; 8.]

Liimapuupilarin syysuuntainen puristuskestävyys tukipinnalla lasketaan kaavan 10 mukaan, jossa voidaan käyttää vain pilarikengän pinta-alaa tai momenttitasapainon mukaista pinta-alaa. [3, s. 72; 4, s. 152–153.]

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{B_d}{A} \leq f_{c,0,d} \quad (10)$$

jossa

$\sigma_{c,0,d}$ = syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

B_d = liimapuun puristetun reunan mitoittava tukivoima

$f_{c,0cd}$ = liimapuun syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

A = puristuspinta-ala

$A = b * 100 \text{ mm}$, kun käytetään A - insinöörien pilarikengän pinta- alaa

Pilariin kohdistuva puristustukireaktio voidaan ottaa vastaan Wood Focus Oy:n ja Suomen Liimapuuyhdistys ry:n vuonna 2003 julkaiseman ”Liimapuu: käsi-kirja” -mukaan pintapuristuksen kautta perustukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että lopputilanteessa puristus voidaan ottaa vastaan myös juotosvalun osalta, jolloin puristus pinnan leveys on pilarin leveys, ja puristus pinnan pituus määräytyy momenttitasapainon mukaan. [4, s. 152–153.] Tällöin pilari tukeutuu koko puristus pinnaltaan juotosvaluun, jossa pilarikengän ylälaipan osuus on vain kuormaa juotosvalulle välittävänä osana [10, s. 4]. Kaavalla 11 lasketaan puristus pinnan pituus y momenttitasapainon sekä pilarin pääty pinnan suhteen [4, s. 153].

$$y = l * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_d + N_d * (2 * l - h)}{f_{c,0,d} * b * l^2}} \right) \quad (11)$$

jossa

l = vedetyn liimaruuviryhmän etäisyys puristetusta reunasta

M_d = liitoksen mitoittava momentti

N_d = liitoksen mitoittava normaalivoima

h = liimapuun poikkileikkauksen korkeus

b = liimapuun poikkileikkauksen leveys

$f_{c,0,d}$ = liimapuun syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

Edellä mainittu kaava antaa tulokseksi liimapuun puristuskestävyyden vaatiman tukipinnan pituuden. Täytyy kuitenkin huomata, että jos puristuspinnan pituus y ylittää pilarikengän leveyden, niin tällöin puristuspinnan keskeinen tukivoima B_d alkaa kasvamaan tukivoimien A_d ja B_d keskinäisen etäisyyden e lyhentyessä, jotta liitoksessa pysyy momenttitasapaino. Tukivoiman B_d kasvaessa myös vetopuolen tukivoima A_d kasvaa. Tukivoimat voidaan tällöin laskea kaavalla 12. [4, s. 152.]

$$\begin{aligned} \text{Puristettu reuna:} \quad & B_d = f_{c,0,d} * b * y \\ \text{Vedetty reuna:} \quad & A_d = B_d - N_d \end{aligned} \quad (12)$$

Kaavojen 11 ja 12 käyttämisen edellytyksenä on, että liitokseen pystykuormasta aiheutuva normaalivoima on suhteellisen pieni verrattuna taivutuksen aiheuttamaan tukivoimapariin. Kaavojen johtamisessa on edellytetty, että pintapuristus keskittyy puristettuun reunaan. [4, s. 153.]

Puristukselle mitoittaessa tulee myös tarkistaa, ettei momentin ja normaalivoiman muodostaman aiheuttaman jännitys jakauman huippujännitys pilarin puristetussa reunassa ylitä liimapuun lujuuden arvoa. Tämä voidaan tarkastaa kaavalla 13. Kaavan käytön edellytyksenä on, että normaalivoima ja momentti ovat keskeisiä pilarin poikkileikkaukseen nähden [23, s. 652].

$$\sigma_{r,c,0,d} = \sigma_c + \sigma_m = \frac{N_d}{b \cdot h} + \frac{M_d}{(b \cdot h^2)/6} \leq f_{c,0,d} \quad (13)$$

jossa

N_d = liitoksen mitoittava normaalivoima

M_d = liitoksen mitoittava momentti

b = liimapuun poikkileikkauksen leveys

h = liimapuun poikkileikkauksen korkeus

$f_{c,0,d}$ = liimapuun syysuuntainen puristuslujuus

Pohdintaa liitoksen puristuskestävyydestä

Puufon Vaapu-aineistossa tai HalliPES 1.0:ssa esitelty mastopilarin liimaruuvi-liitoksen mitoitus tapa, joka perustuu VTT:n lausuntoon ”Liimaruuviliitosten suunnitteluohje”, ei ota kantaa liimaruuviliitoksen puristuskestävyyden laskentaan. Mitoitusohjeessa annetaan kuitenkin yksittäiselle ruuville sen normaalivoimakestävyyden mitoitusarvon kaava (kaava 2).

Vaapu-aineiston esimerkkilaskelmassa on pilarin puristustukireaktio otettu vastaan pilarikengän ja liimapuun välisellä kontaktipinnalla [7, s. 5]. Liimaruuvien puristuskestävyyttä ei siis ole hyödynnetty tai tarkasteltu ollenkaan, vaikka liimaruuveilla onkin normaalivoimakestävyyttä, joka pätee sekä vedolle että puristukselle. Liitokseen kohdistuvan momentin ja normaalivoiman yhteisvaikutuksesta johtuva puristuksen tukivoima on aina suurempi kuin vetopuolen tukivoima. Tukivoima otetaan pääasiassa vastaan kontaktipinnan kautta, jossa varman puolen olettamuksena voidaan käyttää vain pilarin ja pilarikengän ylälaipan välistä pinta-alaa, jossa ylälaippa toimii vain kuormaa juotosvalulle välittävänä osana.

Tukivoimasta johtuvan puristusrasituksen välittymistä liimaruuville ei voida kuitenkaan estää. Tästä herää epäily, että jos vedetyn puolen ruuviryhmä kestää liitokseen kohdistuvan vetovoiman, niin kestääkö puristuspuolen vastaava ruuviryhmä siihen johtuvaa puristusvoimaa. Jos liimaruuviryhmälle johtuva puristusvoima ylittää sen kestävyyden, niin taivutusrasituksen suunnan vaihtuessa entisen puristuspuolen ruuviryhmä ei enää pystykään ottamaan vastaan siihen kohdistuvaa vetovoimaa, kun ruuvien tartunta on pettänyt.

Asiaa voidaan tarkastella siltä kannalta, että jos pilarin puristustukireaktio otetaan laskennallisesti vastaan pääasiassa pilarin kontaktipinnan kautta, niin on tarkistettava, ettei puristetulle ruuviryhmälle pääse syntymään ruuvien kantojen kautta johtuvaa suurempaa puristusrasitusta, kuin mitä ruuviryhmän normaali-voiman tartuntakestävyys on. Tästä voidaan muodostaa sellainen ehto, että liimaruuvien puristuskapasiteetin on aina oltava suurempi, kuin liimapuuhun muodostuva puristusjännityksen arvo on. Kun puristusvoima otetaan laskennallisesti vastaan vain liimapuun puristuspinnan kautta, niin tällöin liimaruuvit ei osallistu koko kapasiteetillaan puristuksen vastaanottamiseen, vaan se on mukana vain ylimääräistä varmuutta tuomassa. Tämä ehto voidaan esittää kaavalla 14.

$$\sigma_{c,0,d} < \sigma_{c,ruuvi,d} = \frac{R_{ax,d}}{A_{ruuvi}} \quad (14)$$

jossa

n = puristettujen liimaruuvien lukumäärä

$R_{ax,d}$ = yksittäisen liimaruuvien normaalivoimakapasiteetti

A_{ruuvi} = liimaruuvien halkaisijan pinta-ala

Liimaruuviryhmässä käytettävän liimapuun suurin mahdollinen puristusjännitys on liimapuun suurin mahdollinen puristuslujuus, eli lujuusluokan GL32h liimapuulla puristuslujuuden suunnitteluarvo on 28,16 N/mm², kun käytetään suurinta mahdollista k_{mod} -kerrointa (kaava 15).

$$\begin{aligned} f_{c,0,d,max} &= k_{mod} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} \\ &= 1,1 * \frac{32 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 28,16 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (15)$$

Toisaalta taas liimaruuviliitoksessa heikoin sallittu yksittäisen liimaruuvien normaalivoimakapasiteetti saadaan laskettua, kun käytetään pienintä mahdollista ruuvien tartuntapituutta ja lujuutta sekä pienintä mahdollista liimapuun k_{mod} -kerrointa käyttöluokassa 2 (kaava 16).

$$R_{ax,d} = \min \left\{ R_{y,d} = \min \left\{ \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}} \right. \right. \quad (16)$$

$$\left. \left. k_{mod} * \frac{R_{a,k}}{\gamma_M} \right. \right.$$

$$= \min \left\{ \frac{62 \text{ kN}}{1,1} \right.$$

$$\left. 0,6 * \frac{0,8 * (400/490) * 72 \text{ kN}}{1,25} = \min \left\{ \begin{array}{l} 56,36 \text{ kN} \\ 22,57 \text{ kN} \end{array} \right. = 22,57 \text{ kN} \right.$$

Tästä saadaan yhden liimaruuvien minimi puristusjännityskestävyys kaavalla 17, joka on $79,60 \text{ N/mm}^2$.

$$f_{c,ruuvi,d,min} = \frac{R_{ax,d}}{A_{ruuvi}} = \frac{22\,570 \text{ N}}{\frac{\pi * (19 \text{ mm})^2}{4}} = 79,60 \text{ N/mm}^2 \quad (17)$$

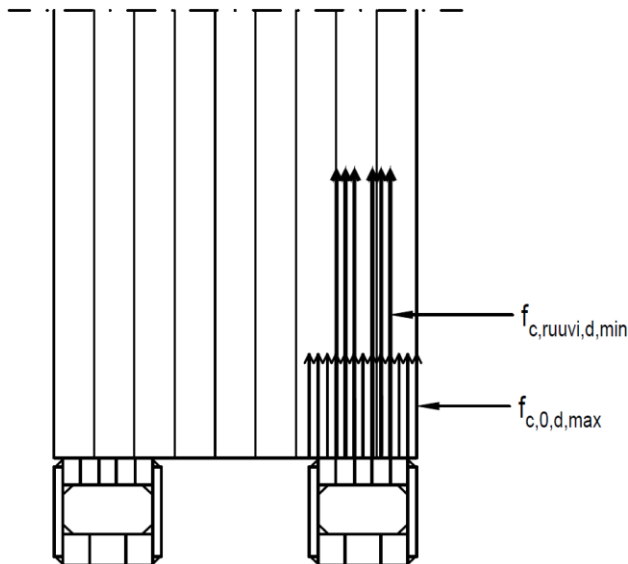
Tästä huomataan, että liimaruuvilla on puristuslujuutta aina enemmän kuin mitä liimapuun puristusjännitystä voi olla, ja kun otetaan kaikki puristusvoima vastaan liimapuun tukipaineella, niin liimaruuviryhmän puristuskestävyys voidaan jättää huomioimatta kokonaan. Kaavasta 18 nähdään, että liimaruuvien tartunta-puristuslujuus on aina suurempi kuin liimapuun puristuslujuus.

$$f_{c,0,d,max} = 28,16 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,ruuvi,d,min} = n * 79,60 \text{ N/mm}^2 \quad (18)$$

Edellä käytyjen tarkastelujen perusteella voidaan olettaa, että pilarin puristus-pinta tuottaa pilarin päässä laskennallisesti tasaisen puristusjännityksen, jossa myös liimaruuviryhmä on osallisena. Liimapuun puristus-pinta-alasta ei tarvitse vähentää ruuvien poikkileikkausten pinta-alan arvoa, vaan liimaruuveihin sallitaan muodostua yhtä suuri jännitys kuin liimapuullekin. Tällöin ääritilanteessa puristusjännityksen maksimiarvo sekä liimapuussa, että liimaruuvissa voi olla enintään liimapuun lujuuden verran.

Kun liimaruuviryhmän tartuntalujuus on aina enemmän kuin liimapuun lujuus, niin liimaruuviryhmän jännitys ei voi olla koskaan suurempi kuin sen lujuus. Tällöin liimaruuvit eivät pääse napsahtamaan liimauksistaan irti puristusjännityksen vuoksi, ja liimaruuvien jäljelle jäävä lujuus tuo liitokselle ylimääräistä varmuutta. Tätä voidaan havainnollistaa kuvalla 22. Vaikka tarkastelun perusteella

liimaruuvien tartunta on aina vähintään 2,8-kertainen liimapuun lujuuteen verrattuna, niin on suositeltavaa, ettei liimaruuvien tartunnan lujuutta yritetä lähteä jollain keinoin hyödyntämään kokonaisuudessaan.



Kuva 22. Puristusjännitys taivutetun ja puristetun liimapuupilarin päässä, jossa liimaruuvien puristuslujuus on aina suurempi kuin liimapuun puristuslujuus. Kun puristava voima otetaan vastaan vain liimapuun puristuslujuudella, jää liimaruuvien puristuslujuutta käyttämättä, jolloin mitoitus on varmalla puolella.

Liimapuu-mastopilarin nurjahduspituus liimaruuviliitoksella

Liimapuu-mastopilarin nurjahduspituuden voi määrittää HalliPES 1.0 osassa kolme esitetyllä tavalla, kun käytetään liimaruuveja pilarin jäykästi perustukseen kiinnittämiseen. Esitetty laskentaohje perustuu VTT:n tutkimusraporttiin VTT-S-05259-14 sekä lausuntoon VTT-S-052260-14. Yleisesti puu-mastopilariden nurjahduspituutena L_c käytetään $2,5L$, kun L on pilarin pituus, mutta liimaruuveja jäykässä liitoksessa käytettäessä nurjahduspituutta voidaan lyhentää. Liimaruuviliitoksella toteutettavan mastopilarin nurjahduspituuden tarkka arvo voidaan laskea kaavalla 19. [3, s. 80; 24, s. 14.]

$$L_c = \beta * L \quad (19)$$

jossa

L = pilarin pituus

β = nurjahduspituuskerroin, kts. kaava 20

$$\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 * E_{0,05} * I}{L * K_{r,u}}} \quad (20)$$

jossa

$E_{0,05}$ = liimapuun kimmomoduulin ominaisarvo puun syysuunnassa

I = pilarin jäyhyysmomentti tarkistettavassa suunnassa

$K_{r,u}$ = liimaruuviliitoksen kiertymäjäykkyys murtorajatilassa, kts kaava 21

$$K_{r,u} = \frac{2}{3} * K_{ser} * \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (21)$$

jossa

K_{ser} = liimaruuvien siirtymäkerroin aksiaalisessa kuormituksessa

$$K_{ser} = \begin{cases} 180\,000 \text{ N/mm}, & \text{kun liimaruuvien lujuusluokka on S235JRG2} \\ 285\,000 \text{ N/mm}, & \text{kun liimaruuvien lujuusluokka on 5.8} \end{cases}$$

n = liimaruuvien lukumäärä koko liitoksessa

r_i = liimaruuvien i etäisyys pilarin neutraaliakselista

Nurjahduspituuskerroin β voidaan myös yksinkertaistaa arvoon 2,2 sillä edellytyksellä, että normaalia nurjahduspituutta $2,5L$ vastaava pilarin hoikkuus λ täyttää kaavassa 22 esitetyt ehdot [3, s. 80; 24, s. 14].

$$\lambda \geq \begin{cases} 120, & \text{kun liimaruuvien lujuusluokka on S235JRG2} \\ 100, & \text{kun liimaruuvien lujuusluokka on 5.8} \end{cases} \quad (22)$$

Suorakaidepoikkileikkauksisen pilarin hoikkuusluku lasketaan kaavan 23 mukaan. Pysyvissä rakenteissa puristetun pilarin hoikkuusluku saa olla enintään 200. [3, s. 79–80.]

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \quad (23)$$

jossa

$L_{c,z}$ = nurjahduspituus z- akselin suuntaisessa nurjahduksessa

i_y = poikkileikkauksen jäykyyssäde y- akselin suhteen

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

$i_y = h/\sqrt{12}$, kun poikkileikkaus on suorakaiteen muotoinen

3.6 Liitoksen mitoitus palotilanteelle

Liimapuumastopilarin VTT:n lausuntoon pohjautuva liimaruuviliitoksen mitoitusohje ei ota kantaa liitoksen palonkestävyyteen. Puuinfon Vaapu-koulutusmateriaali sekä puurakenteisten hallien avoin standardi HalliPES 1.0 ohjeistavat mitoittamaan liitoksen paloa vastaan itseporautuvilla ruuveilla, jotka asennetaan liimapuun syysuuntaan. Vaihtoehtoisesti liimaruuvit suunnitellaan niin, etteivät ne altistu palolle. Liitoksen teräsosat, eli pilarikengät, suojataan tarvittaessa palosuojamaalilla teräsrakentamisen standardien mukaan. [6, s. 4; 20, s. 12.] Myös liitoksen juotosvalu voi toimia teräskenkien suojaavana kerroksena paloa vastaan [10, s. 4].

Ympäristöministeriön varmennustodistuksien arviointiperusteet-asiakirjassa ”Puurakenteiden liimatut terästanko- ja ruuviliitokset” ohjeistetaan liimaruuviliitos mitoittamaan paloa vastaan niin, että liitokselle tehdään tyyppitestaus määrittämällä sen palonkestävyys joko kokeellisesti standardin EN 13501-1 mukaan, tai laskennallisesti standardin EN 1995-1-2 mukaan. Laskennallisesti liitoksen palonkestävyysluokan määrittäminen vaatii kuitenkin täydellistä palosuojasta liitokselle, joka ottaa myös huomioon teräsliittimien lämmönjohtavuuden sekä liiman lämmönkestävyyden. [16, s. 7.]

Itseporautuvien ruuvien käyttö paloruuveina

A-insinöörien mallipilarikengissä on varaukset palotilanteen itseporautuville ruuveille. Reikien halkaisija on 13 mm, jolloin voidaan olettaa, että kenkien kanssa

voidaan käyttää maksimissaan sellaisia itseporautuvia ruuveja, joiden halkaisija on maksimissaan 12 mm. Mikäli paloruuvit ovat uppokantaisia, tulee pilarikengän reikien olla myös senkattuja ruuvien kannan muodon mukaan. [10, s. 4.]

Itseporautuvia ruuveja käytettäessä liitoksen palotilannetta varten tulee huomata, ettei ruuvien tartunnan ulosvetokestävyyttä voida laskea esimerkiksi suunnitteluohjeen RIL-205-1-2017 mukaan. Ruuvit on esitetty asennettavaksi liimaruuvien väleihin samaan tapaan liimapuun syysuuntaan kuin itse liimaruuvitkin. Tämä johtaa siihen, että ruuvien ja puun syysuunnan välinen kulma α on nolla astetta. RIL-205-1-2017-suunnitteluohje esittää ulosvetokestävyyden kaavassa käytettäväksi vähintään 30 asteen arvoa, jolloin tämä suunnitteluohje ei päde tällaiseen ruuviliitokseen. [3, s. 129–132; 6, s. 2–4.]

RIL-205-1-2017-suunnitteluohje kuitenkin neuvoo käytettäväksi ensisijaisesti ruuvivalmistajien omia varmennettuja suunnitteluohjeita, joiden mitoitus perustuu ruuville testattuun tartuntalujuuteen. Ruuvien suunnitteluohjeet ja -perusteet ilmoitetaan valmistajan suoritusosoitukseensa, varmennustodistuksessa tai VTT:n lausunnossa. [3, s. 129–132; 6, s. 4.]

Itseporautuvien ruuvien kestävyys mitoitetaan esimerkiksi ruuvivalmistajan ETA:ssa esitettyjen suunnitteluohjeiden mukaan. Myös palomitoitus tehdään ruuvivalmistajan ohjeiden mukaan, mutta jos valmistajan ohjeessa ei ole ohjetta palomitoitukselle, niin sovelletaan RIL-205-2-2019-suunnitteluohjeen mukaista palomitoitusta aksiaalisesti kuormitetuille ruuveille. Tällöin ruuviryhmän tartuntakestävyys mitoitetaan ensin ruuvivalmistajan ETA:n mukaan normaalilämpötilassa käyttäen lujuuksien ominaisarvoja suunnitteluarvojen sijasta sekä huomioiden kosteuden ja kuorman keston vaikutuksen, jolloin kertoimen k_{mod} arvo on yksi. [18, s. 16–17, 63–64.]

Palotilanteessa itseporautuvan ruuvien tai ruuviryhmän mekaaninen tartuntakestävyyden mitoitusarvo $R_{d,t,fi}$ lasketaan RIL-205-2-201-suunnitteluohjeen mukaan kaavalla 24 [18, s. 16].

$$R_{ax,d,t,fi} = \eta * \frac{R_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (24)$$

jossa

η = muuntokerroin

R_{20} = mekaanisen kestävyuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa

$\gamma_{M,fi}$ = puun osavarmuusluku palotilanteessa, Suomessa 1,0

Mekaanisen kestävyuden 20 % fraktiili R_{20} lasketaan kaavan 25 mukaan [18, s. 17].

$$R_{20} = k_{fi} * R_{ax,k} \quad (25)$$

jossa

k_{fi} = 1,15 liimapuulla

$R_{ax,k}$ = liitoksen mekaanisen tartuntakestävyuden ominaisarvo normaalilämpötilassa, kun kuorman keston ja kosteuden vaikutusta ei oteta huomioon eli $k_{mod} = 1$

Muuntokertoimen η arvo voidaan laskea aksiaalisesti kuormitetulle ruuviryhmälle kaavalla 26, kun kuvan 23 mukaiset reunaetäisyydet täyttävät kaavassa 27 esitetyt ehdot. Jos reunaetäisyydet eivät täytä kaavan 27 ehtoja, mutta täyttävät kaavan 28 ehdot, lasketaan muuntokertoimen η arvo kaavalla 26, jossa vaaditun palonkestoajan tilalle tulee $1,25t_{d,fi}$. [18, s. 64.]

$$\eta = \begin{cases} 0, & \text{kun } a_1 \leq 0,6 * t_{d,fi} \\ \frac{0,44*a_1 - 0,264*t_{d,fi}}{0,2*t_{d,fi} + 5}, & \text{kun } 0,6 * t_{d,fi} \leq a_1 \leq 0,8 * t_{d,fi} + 5 \\ \frac{0,56*a_1 - 0,36*t_{d,fi} + 7,32}{0,2*t_{d,fi} + 23}, & \text{kun } 0,8 * t_{d,fi} + 5 \leq a_1 \leq t_{d,fi} + 28 \\ 1,0, & \text{kun } a_1 \geq t_{d,fi} + 28 \end{cases} \quad (26)$$

jossa

a_1 = kuvan 23 mukainen reunaetäisyys [mm]

$t_{d,fi}$ = vaadittu palonkesto aika [min]

$$\eta = \text{kaava X, kun } a_2 \geq a_1 + 40 \text{ mm ja } a_3 \geq a_1 + 20 \text{ mm} \quad (27)$$

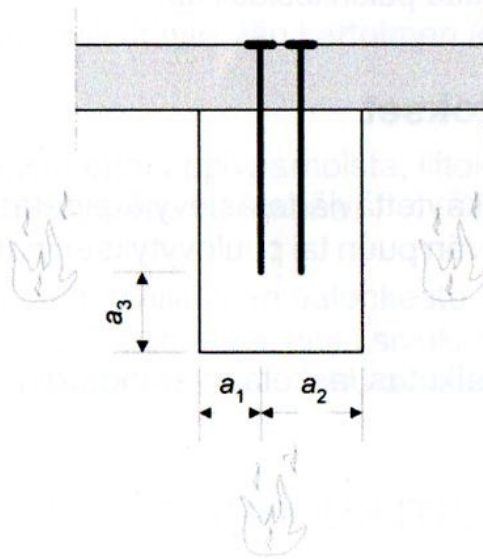
jossa

a_1, a_2 ja a_3 ovat kuvan 23 mukaiset reunaetäisyydet

$$\eta = \text{kaava X, jossa } t_{d,fi} = 1,25 * t_{d,fi}, \text{ kun } a_2 = a_1 \text{ ja } a_3 \geq a_1 + 20 \text{ mm} \quad (28)$$

jossa

a_1, a_2 ja a_3 ovat kuvan 23 mukaiset reunaetäisyydet



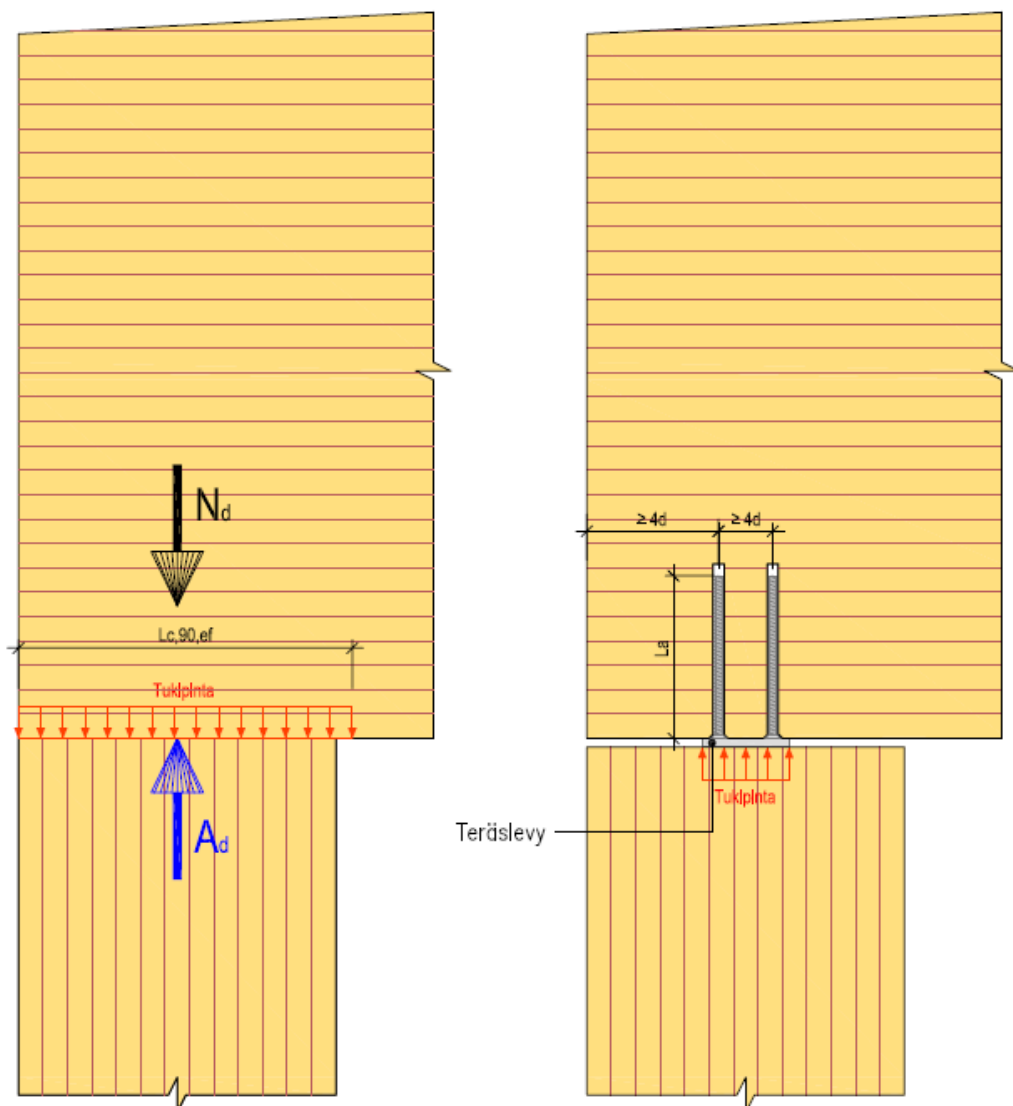
Kuva 23. Suoralta palorasitukselta suojattujen aksiaalisesti kuormitettujen ruuvien reunaetäisyydet puupoikkileikkauksessa [18, s. 64.]

Kuva 23 esittää ruuvien reunaetäisyydet yleisellä tasolla, mutta sitä voidaan soveltaa myös liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksen palotilanteen itseporautuville ruuveille. Tällöin reunaetäisyyden mitta a_3 on aina hyvin suuri, jolloin se ei ole rajoittava tekijä kaavojen 27 ja 28 tapauksissa.

4 Liimapuupalkin tukipinnan vahvistaminen liimatangoilla

4.1 Liitoksen mitoittavat kuormat ja tukipainekestävyys

Liimapalkin ja -pilarin välille kohdistuva tukireaktion liitosvoima A_d (kuva 24) lasketaan kaavalla 29. Vaakasuoralla tukipinnalla liitosvoima A_d on yhtä suuri kuin liimapuupalkin tukireaktiosta johtuva normaalivoima N_d . Vaakasuorasta poikkeavalla tukipinnalla liitosvoima A_d lasketaan kertomalla normaalivoima N_d vaakasuorasta poikkeavan tukipinnan kulman α kosinilla. [6, s. 12, 15, 20.]



Kuva 24. Liimapuun tukipaineen mitoittavat voimat. Vasemmalla on esitetty vahvistamaton tuki ja sen tukipituus, ja oikealla on esitetty liimatangoilla ja teräslevyllä vahvistettu tuki. [6, s. 20.]

$$A_d = \cos \alpha * N_d \quad (29)$$

jossa

α = tukipinnan kulma vaakatasoon nähden

N_d = liitoksen mitoittava normaalivoima

Liimapuupalkin tukipainekestävyys

Liimapuupalkin tukipainekestävyys tarkistetaan kaavalla 30, jossa tarkistetaan, että liimapuupilarin ja -palkin liitosvoiman ja kontaktipinnan suhteen laskettu liimapuupalkin puristusjännitys ei ylitä liimapuun syysuuntaa kohtisuoran lujuuden arvoa. Liimapuun lujuuden arvoa voidaan tässä tapauksessa korottaa tukipainekertoimella $k_{c,\perp}$, joka ottaa huomioon tehollisen tukipituuden sekä liitoksen kuormitusolosuhteet. [3, s. 72.]

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{A_{ef}} \leq k_{c,\perp} * f_{c,90,d} \quad (30)$$

jossa

$\sigma_{c,90,d}$ = liimapuupalkin tukipinnan puristusjännityksen mitoitusarvo

A_d = liimapuupalkin mitoittava tukivoima

A_{ef} = tehollinen tukipinta-ala

$k_{c,\perp}$ = tukipainekerroin

$f_{c,90,d}$ = liimapuun syysuuntaan kohtisuoran puristuslujuuden mitoitusarvo

Voiman A_d tehollinen tukipinta-ala A_{ef} lasketaan kaavan 31 mukaan [6, s. 20].

$$A_{ef} = b * l_{c,90,ef} \quad (31)$$

jossa

b = tukipinnan leveys

$l_{c,90,ef}$ = liimapuupalkin tehollinen tukipinnan pituus

Tukipainekerroin $k_{c,\perp}$ lasketaan kaavalla 32, joka ottaa huomioon liimapuupalkin tehollisen tukipituuden $l_{c,90,ef}$ ja tuen pituuden l suhteen, jota voidaan vielä korottaa kertoimella $k_{c,90}$. [3, s. 72.]

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} * k_{c,90} \quad (32)$$

jossa

$l_{c,90,ef}$ = liimapuupalkin tehollinen tukipinnan pituus

l = liimapuupalkin tukipinnan pituus

$k_{c,90}$ = kerroin, joka ottaa huomioon kuorman sijainnin, puun halkeamisriskin sekä puun puristuman suuruuden

Tehollinen tukipinnan pituus $l_{c,90,ef}$ liimapuupalkin tuella saadaan laskettua kaavan 33 mukaan, jossa tukipinnan pituuteen l voidaan lisätä pituutta puristuspinnan molemmin puolin palkin alapintaa (kuva 25). Tukipituutta voidaan lisätä enintään 30 mm, jos palkki jatkuu tukipinnan ohi. Tehollinen tukipinta ei voi kuitenkaan ylittää palkin päätä tai ulottua yli kahden puristuspinnan puolen välin. [1, s. 73; 3, s. 72–73.]

$$l_{c,90,ef} = l + l'_{vasen} + l'_{oikea} \quad (33)$$

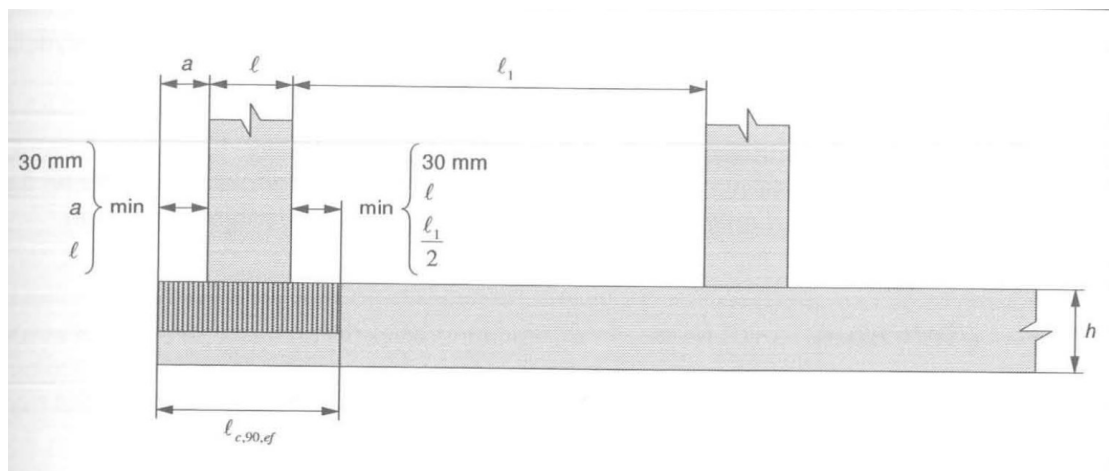
jossa

l = liimapuupalkin tukipinnan pituus

$$l'_i = \min \begin{cases} 30 \text{ mm} \\ a \\ l \\ l_1/2 \end{cases}$$

a = liimapuupalkin pään reunaetäisyys pilarin reunasta

l_1 = tukipuristuspintojen välinen etäisyys



Kuva 25. Tehollinen kosketuspinnan pituus [3, s. 73].

Kertoimelle $k_{c,90}$ käytetään oletusarvoisesti arvoa 1,0, mutta kaavassa 34 mainittujen ehtojen toteutuessa sitä voidaan liimapuun osalta korottaa arvoon 1,5 tai 1,75. [3, s. 72–73.]

$$k_{c,90} = 1,0 \quad (34)$$

mutta havupuisella liimapuulla voi käyttää

$$k_{c,90} = 1,5, \text{ jos } l_1 \geq 2 * h$$

$$k_{c,90} = 1,75, \text{ jos kuormituksen etäisyys tuen reunasta } \geq 2 * h \text{ ja } l \leq 400 \text{ mm}$$

Liimapuupilarin ja -palkin välisessä liitoksessa tukipainekestävyyden mitoittaa aina palkin syysuuntaan kohtisuora puristuslujuus, sillä pilarin syysuuntainen puristuslujuus on moninkertainen tähän verrattuna [3, s. 53]. Tästä syystä pilarin poikkileikkauksen kokoa täytyy yleensä kasvattaa palkin tukipainekestävyyden vuoksi, jolloin pilarin käyttöaste jää usein alhaiseksi. Jos pilarin poikkileikkauksen kokoa ei haluta kasvattaa, niin palkin tukipainekestävyyttä pitää vahvistaa. [6, s. 11–20.]

Liimapuupalkin tukipainekestävyyttä voidaan vahvistaa liimatangoilla, jotka tukeutuvat palkin ja pilarin väliin asennettavaan teräslevyyn. Liimatankoryhmä ottaa vastaan palkin tukireaktion, ja tukireaktio siirtyy liimatankojen kautta teräslevylle ja sitä kautta pilarin päähän. Teräslevyn pinta-ala mitoittaa pilarin pään tukipainekestävyyden, joten teräslevyn koko valitaan pilarin syysuuntaisen tukipainekestävyyden mukaan. [6, s. 11–20.]

4.2 Liimatankoryhmän mitoitus

Liimatankoryhmä mitoitetaan eurokoodin 5 mukaan. Mitoituksessa voidaan käyttää julkaisujen RIL-205-2-2017 ja HalliPES 1.0 suunnitteluohjeita. Liimatankoliitoksen mitoituksessa voidaan käyttää myös näiden ohjeiden sijasta tai näitä ohjeita täydentäviä liitos- ja valmistajakohtaisesti hyväksytyjä suunnitteluohjeita. Tässä työssä esitetään kuitenkin käytettäväksi eurokoodin, ja siihen pohjautuvia suunnitteluohjeita. [3, s. 136–137; 6, s. 12–20.]

Mitoitusehdot ja tartuntalujuus

Liimatankoliitos voidaan mitoittaa vain puun käyttöluokassa 1 tai 2. Liimatankojen tulee olla pyöreitä profiloituja terästankoja, esimerkiksi harjaterästä tai kierretankoa. Tangot voivat olla joko seostamatonta terästä tai austeniittista ruostumatonta terästä. Vedettyjen liimatankojen mitoituksessa käytetään teräksen vetolujuutta, joka saa enintään olla 800 N/mm^2 . Vedetyt tangot tulee lisäksi mitoittaa niin, että tangot myötäävät liitoksessa. Puristettujen tankojen mitoituksessa käytetään teräksen myötölujuutta. Palkin tukipaineen vahvistamisessa liimatangot mitoitetaan vain puristukselle, joten vedettyjen terästankojen myötäämisehtoa ei tarvitse tarkistaa. [3, s. 136–137.]

Terästangot liimataan liimapuuhun epoksiliimalla. Liimaus on luvanvaraista toimintaa, ja se edellyttää hyväksytyjä liimoja, valmistusmenetelmiä ja laadunvarmennusta. Liimattavia terästankoja varten liimapuuhun porataan tankojen tartuntapituutta vastaavat reiät, joiden halkaisijat saavat olla enintään 1,25-kertaisia liimatankojen halkaisijaan nähden. Liimasauman tartuntalujuus voidaan laskea kaavalla 35, kun tangon kulma α puun syysuuntaan nähden on vähintään 15 astetta. Syysuuntaisten liimatankojen tartuntalujuus kerrotaan luvulla 0,75, ja käyttöluokassa 2 kerrotaan syysuuntaisen tartuntalujuuden arvo vielä luvulla 0,8. [3, s. 136–137.] Liimapuupalkin tukipainekestävyyttä vahvistaessa liimatangoilla liimatangot ovat kohtisuorassa syitä vastaan, jolloin edellä mainittuja lujuuden kertoimilla alentamista ei tarvitse tehdä [6, s. 12–20].

$$f_{a,k} = 6,5 \text{ N/mm}^2 * \left(1 - \frac{L_a}{100*d}\right) \quad (35)$$

jossa

L_a = liimatangon tartuntapituus liimapuupalkissa

d = liimatangon halkaisija

Liimatankojen tartuntapituus ja tangon paksuus valitaan liitoksen rasituksen perusteella niin, että liimatankoryhmä kestää liitokseen kohdistuvat voimat. Liimaruuvien tartuntapituus ei saa kuitenkaan ylittää 500 mm liimapuun kosteuselämissen vuoksi, sillä liimatanko estää palkin kuivumiskutistumista ja näin tuottaa

liimapuussa poikittaista vetojännitystä. Liian pitkä liimatanko tuottaa sisäisiä pakkovoimia, jotka voivat aiheuttaa puun kutistuessa halkeamia. [4, s. 63, 66, 159.] Liimatangon halkaisija valitaan väliltä 6–30 mm [16, s. 6].

Liimatangon normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo

Yksittäisen liimatangon puristuskestävyys kohtisuoraan puun syitä vastaan lasketaan kaavan 36 mukaan, jossa kestävyys määrittää joko terästangon puristuskestävyys, tai liimasauman tartuntakestävyys, riippuen siitä, kumpi arvoista on pienempi. [6, s. 12–20.]

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{y,d} = \frac{f_y * A_s}{\gamma_{M,s}} \\ R_{a,d} = k_{mod} * \frac{\pi * d_{ef} * L_a * f_{a,k}}{\gamma_M} \end{array} \right. \quad (36)$$

jossa

f_y = terästangon myötölujuus

A_s = terästangon poikkileikkauksen pinta-ala

$\gamma_{M,s}$ = terästangon myötäämisen osavarmuusluku, Suomessa 1,1

k_{mod} = liimapuun muunnoskerroin

d_{ef} = liimatangolle poratun reiän halkaisija, enintään $1,25 * d$

$f_{a,k}$ = liimatangon tartuntalujuuden ominaisarvo

L_a = liimatangon tartuntapituus liimapuupalkissa

γ_M = liimapuun osavarmuusluku, Suomessa 1,25

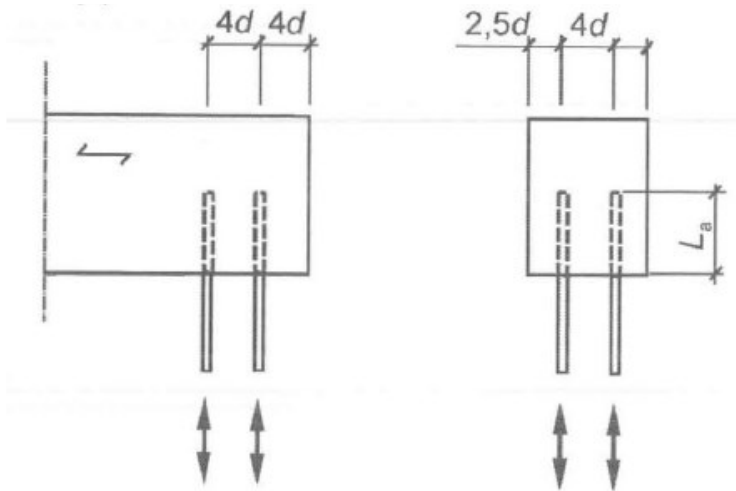
Liimatankoryhmän puristuskestävyys lasketaan kertomalla yksittäisen liimaruuvien puristuskestävyys käytettävien liimaruuvien lukumäärällä [6, s. 12–20]. Palkin pituussuunnassa suositellaan käytettäväksi enintään kahta tankoriviä, jotta ruuviryhmään kohdistuva kuorma jakautuisi mahdollisimman tasaisesti. Samasta syystä voidaan suositella, että tankorivit sijoitetaan mahdollisimman lähelle toisiaan. [4, s. 60,159.] Liimatankoryhmä sekä sen alle tuleva teräslevy sijoitetaan keskeisesti pilarin neutraaliakselin nähden, jotta pilariin ei kohdistuisi lisämomenttia epäkeskeisen kuormituksen vuoksi.

Liimatankoja voi liimatankoryhmässä olla liimapuupalkin poikkileikkauksen leveyssuunnassa käytännössä kaksi, sillä teräslevyn taipumisen vuoksi useamman liimatangon rivissä keskimmäiset liimatangot eivät osallistuisi puristusrasituksen vastaanottamiseen yhtä paljon kuin reunimmaisiet tangot. Käytännössä myös kahdella paksulla liimatangolla päästään parempaan kestävyuteen, kuin useampia tankoja käyttäessä, sillä tankojen keskiö- ja reunaetäisyydet eivät salli yhtä paksuja tankoja liimapuupalkin leveyssuunnassa.

Liimapuupalkin tukipainekestävyys otetaan laskennallisesti vastaan kokonaan liimatankoryhmän puristuskestävyydellä. Liimapuupalkin ja liitoksessa käytettävän teräslevyn välistä kontaktipintaa ei hyödynnetä tukipainekestävyyden mitoituksessa, vaan sen voi ajatella tuovan liitokselle ylimääräistä varmuutta, jolloin todellisessa tilanteessa liimatankoryhmä käyttöaste jää laskennallista käyttöastetta alhaisemmaksi. [6, s. 12–20.]

Liimatankojen reuna-, pääty- ja keskiöetäisyydet

Liimatankojen reuna-, pääty- ja keskiöetäisyydet kohtisuoran puun syitä vastaan määräytyvät liimatangon paksuuden mukaan (kuva 26). Liimatankoryhmän reunimmaisten ruuvien etäisyys palkin päästä on vähintään neljä kertaa tangon halkaisija, ja poikkileikkauksen poikittaissuunnassa etäisyys palkin reunaan on vähintään 2,5-kertainen tangon halkaisijaan nähden. Liimatankojen keskiöetäisyys on neljä kertaa tangon halkaisija. [18, s. 137.] Tankojen keskiöetäisyyksiä palkin pituussuunnassa ei kuitenkaan kannata merkittävästi suurentaa, jotta liitokseen kohdistuva voima jakautuu tankoryhmän tankojen kesken mahdollisimman tasaisesti.



Kuva 26. Liimatankojen minimi pääty-, reuna- ja keskiöetäisyydet liimapuupalkissa [3, s. 137].

4.3 Teräslevyn mitoitus

Teräslevyn tehtävä on siirtää liimapuupalkin liimatankojen kautta tulevat piste-kuormat liimapuupilarin päähän tasaisesti jakautuneeksi tukipaineeksi. Teräslevyn on oltava riittävän paksu ja jäykkä, jotta se voi jakaa tukivoiman tasaisesti pilarin päähän aiheuttamatta epätasaista puristusjännitysjakaumaa liimapuupilarin kontaktipinnassa. Teräslevyn koko valitaan niin, että sen kosketuspinta-ala on riittävän suuri, jotta liimapuupilarin syysuuntainen puristusjännitys ei ylitä syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvoa. Levyn leveys valitaan lähtökohteisesti pilarin poikkileikkauksen leveyden mukaan, ja pituus valitaan niin, että liimapuupilari kestää siihen syntyvän puristusjännityksen. [6, s. 14, 16, 20.] Kaavalla 37 tarkistetaan, että puristusjännitys ei ylitä puristuslujuutta [3, s. 72].

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{A_d}{A_s} \leq f_{c,0,d} \quad (37)$$

jossa

$\sigma_{c,0,d}$ = syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

A_d = liimapuupalkin mitoittava tukivoima

A_s = teräslevyn kosketuspinta-ala

$f_{c,0,d}$ = liimapuun syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

Teräslevyn pinta-ala voidaan valita myös liimatankoryhmän normaalivoimakapasiteetin mukaan, jolloin teräslevyn ja liimapuupilarin väliseen tukipainekestävyyden käyttöaste saadaan samansuuruiseksi kuin liimatankoryhmänkin käyttöaste. Tästä voi olla hyötyä ajatellen liitoksen kokonaiskäyttöasteen myöhemmin hyödyntämistä esimerkiksi lisä- tai korjausrakentamisen yhteydessä. Tällöin teräslevyn pinta-ala A_s voidaan laskea kaavalla 38.

$$A_{s,min} = \frac{R_{ax,d,tot}}{f_{c,0,d}} \quad (38)$$

jossa

$R_{ax,d,tot}$ = liimatankoryhmän normaalivoimakestävyys

$f_{c,0cd}$ = liimapuun syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

Teräslevyn paksuus voidaan mitoittaa sen taivutuskestävyyden mukaan. Teräslevyyn syntyy taivutusjännitystä, kun pilarin päähän syntyvä tasainen puristusjännitys taivuttaa teräslevyä. Teräslevy tukeutuu tässä tilanteessa vain liimatankoriveihin, jolloin palkin kosketuspinta teräslevyn kanssa jätetään huomioimatta. Teräslevyn taivutuskestävyys tarkastetaan syntyvän taivutusjännityksen ja teräksen taivutuslujuuden mitoitusehtona (kaava 39). [25, s. 35.]

$$\sigma_{s,m,d} = \frac{M_{s,d}}{W_s} \leq f_d = \frac{f_k}{\gamma_{M,s}} \quad (39)$$

jossa

$M_{s,d}$ = teräslevyn taivutusmomentti

W_s = teräslevyn taivutusvastus

f_k = teräslevyn taivutuslujuuden ominaisarvo

$\gamma_{M,s}$ = teräksen osavarmuusluku, Suomessa 1,1

Teräslevyn taivutusvastus mitoittavassa suunnassa lasketaan kaavalla 40 [25, s. 35].

$$W_s = \frac{\min(l;b)*t^2}{6} \quad (40)$$

jossa

l = teräslevyn leveys palkin pituussuunnassa

b = teräslevyn tai palkin leveys, joista valitaan pienempi arvo

t = teräslevyn paksuus

Kun tukipinnan vahvistusliitoksessa käytetään neljää symmetrisesti sijoitettua liimatankoa (kuva 27), voidaan teräslevyyn syntyvä taivutusmomentti laskea teräslevyn pidemmän leveyden mukaan kaavalla 41 [25, s. 35].

$$M_{s,d} = \frac{\min(l;b)*\sigma_{c,0,d}*e_1^2}{2} \quad (41)$$

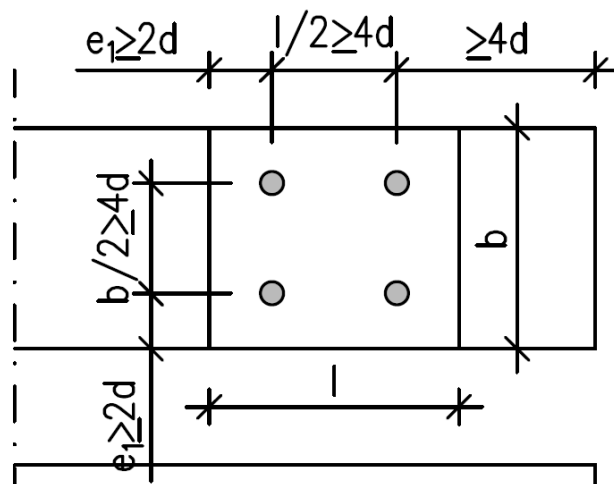
jossa

$\sigma_{c,0,d}$ = pilarin syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

l = teräslevyn leveys palkin pituussuunnassa

b = teräslevyn tai palkin leveys, joista valitaan pienempi arvo

e_1 = liimatankorivin etäisyys lähimmästä teräslevyn reunasta



Kuva 27. Liimatangot sijoitetaan keskeisesti teräslevyn päälle kuvassa esitettyjen mittojen mukaan, jolloin teräslevyn taivutusmomentti jakautuu tasaisesti.

Tässä tapauksessa liimatangot tulee sijoittaa keskeisesti kahteen kahden tangon riviin teräslevyn päälle niin, että tankoparien keskiöetäisyydet mitoittavassa

suunnassa on puolet teräslevyn leveydestä. Tällöin teräslevyyn syntyvä taivutusmomentti on kaikissa mitoittavissa pisteissä sama, ja mitoittava momentti voidaan tarkistaa vain kaavalla 41. Teräslevyn kokoa valittaessa täytyy kuitenkin huolehtia siitä, että liimatankojen reuna ja keskiöetäisyydet täyttyvät.

5 Taulukkomitoitusohjelmat

5.1 Taulukkolaskentapohjien luominen ja testaaminen

Opinnäytetyön tilaajan päätavoite opinnäytetyöltä oli taulukkolaskentapohjien luonti käsiteltävien liitosten osalta. Laskentapohjilta haluttiin, että niistä saa mitoituksen tulokset määräävän kuormitusyhdistelmän mukaisesti. Tilaajan toive oli myös, että liitoskomponenteista kerätään ja kootaan niiden kapasiteettitiedot. Nämä tiedot on sisällytetty dokumenttimuotoisena taulukkolaskentapohjiin.

Tilaajan tarve mitoituskentapohjille on syntynyt sen seurauksena, ettei valmiita mitoitushjelmia ole ollut saatavilla, joilla pystyisi mitoittamaan tässä insinööriyössä käsiteltyjä liitoksia, vaan laskentaa on jouduttu tekemään käsin. Palkin tukipinnan vahvistamiseen voisi liimatankojen sijasta käyttää puurakennervejuja, joiden mitoittamiseen onkin saatavilla runsaasti eri valmistajien omia mitoitushjelmistoja. Tukipinnan liimatankovahvistuksella päästään kuitenkin paljon järeämpiin vahvistuksiin verrattuna puurakennervejuvahvistuksiin, sillä tankojen paksuudet voivat olla merkittävästi suurempia puurakennervejujen paksuuksiin verrattuna, jolloin tällaiselle mitoitushjelmalle on tarvetta. Myöskään liimapuupilarin liimaruuvein ja pilarikengin toteutettavassa liitoksessa ei ole ollut saatavilla liimaruuviliitosta mitoittavaa ohjelmaa. Saatavilla on kuitenkin liitokseen liittyviä peruspulttien mitoitushjelmia, ja A-insinöörien luomat liimapuupilarikengien mallipiirustukset ja -laskelmat, joita voidaan hyödyntää yhdessä laskentapohjan kanssa koko liitosta mitoittaessa.

Tämän insinööriyön mitoitusteorian perusteella tuotettiin siis kaksi Microsoft Office Excel -ohjelmistossa toimivaa taulukkolaskentapohjaa: Liimapuupilarin liimaruuviliitos 1.0 (kuva 28) ja Liimapuupalkin tukipinnan liimatankovahvistus 1.0 (kuva 29). Liimaruuviliitosta mitoittava laskentapohja perustuu tämän raportin luvussa 3 esitettyihin mitoituskäyttöihin ja -ehtoihin ja liimatankovahvistusta mitoittava laskentapohja luvussa 4 esitettyihin mitoituskäyttöihin ja -ehtoihin.

Laskentapohjien luominen aloitettiin liimaruuviliitoksen laskentapohjasta teke-
mällä ensin ulkoasu ja välilehtien rakenne valmiiksi. Tämän jälkeen taulukoiden
laskentaa varten varattuihin soluihin lisättiin kaavoja, eli ns. tyhjään laskenta-
pohjaan lisättiin älykkyys. Kun liimaruuvimitoituksen laskentapohjan laskenta-
pohja oli saatu jollain tavalla toimimaan, aloitettiin myös tukipinnan liimatanko-
vahvistuksen laskentapohjan luominen samalla tavalla. Tämän jälkeen lasken-
tapohjia rakennettiin ja kehitettiin yhtä matkaa loppuun asti.

Laskentapohjia testattiin jatkuvasti niiden rakentamisen aikana. Laskennasta
saatuja vastauksia verrattiin myös saatavilla oleviin mitoitusesimerkkeihin, jol-
loin tiedettiin, että ohjelma tekee laskennan oikein. Ohjelman toimintaa testattiin
myös monilla eri skenaarioilla, jotka monet paljastivat laskennassa tapahtuvia
virheitä ja solmuja. Kun laskentapohjien toiminnan ja ulkoasun todettiin olevan
mieleiset tilaajan näkökulmasta, voitiin todeta niiden olevan valmiit. Tämän jäl-
keen laskentapohjien versiotunnuksiksi annettiin arvot 1.0.

5.2 Taulukkolaskentapohjien rakenne ja käyttäminen

Taulukkolaskentapohjat mitoittavat liitoksien kestävyyttä murtorajatilassa. Mitoit-
taminen perustuu iteroimiseen, eli laskentapohjat eivät osaa itse valita tarvitta-
via liitoskomponentteja, vaan niiden valitseminen tehdään kokeilemalla. Lasken-
tapohjat laskevat kestävyiksi automaattisesti, eli käyttöasteet muuttuvat sitä
mukaan kuin lähtötietoja valitaan.

Laskentataulukot on rakennettu niin, että taulukon käyttäjä voi vaihtaa ja muo-
kata vain syöttösolujen arvoja. Näin vältetään laskentapohjan rakenteen tahatto-
malta muokkaamiselta ja varmistetaan laskennan oikea toiminta. Syöttösolut on
laskentapohjissa merkattu persikan värisiksi. Laskentasolut ovat harmaalla poh-
jalla olevia kaavoja sisältäviä soluja, joissa itse laskenta tapahtuu. Solujen kaa-
voja ja arvoja ei voi muokata ilman taulukon suojauksen purkamista. Tarkistus-
solut ovat kaksoiskehystettyjä laskentasoluja, joita käytetään käyttöasteiden
esittämiseen. Näiden ja eräiden muiden solujen väri voi muuttua punaiseksi,
keltaiseksi tai vihreäksi korostaakseen solun arvon kelpoisuutta. Punainen väri

tarkoittaa aina virhettä, keltainen on huomautuksen väri, ja vihreä tarkoittaa hyväksyttävää arvoa.

Välilehdet

Laskentapohjat koostuvat välilehdistä, joista ensimmäinen on Mitoitus-välilehti. Välilehti toimii koko laskentareportin etusivuna, johon syötetään liitoksen mitoituksen esitiedot, komponenttien ja dimensioiden lähtötiedot, sekä kuormitus. Etusivulla on myös liitosta havainnollistava selitekuva, jossa esitetään kaaviomaisesti liitokseen liittyviä merkintöjä. Välilehti näyttää myös määräävät kuormitusyhdistelmät ja niiden käyttöasteet, ja lopussa on koottu kaikkien pääkäyttöasteiden tulokset kuormitusyhdistelmittäin taulukkoon. Ajatuksena on se, että liitoksen voi mitoittaa tällä välilehdellä etsimällä sopivat liitoskomponentit lähtötietojen ja kuormitusten perusteella.

Liitosmitoituksen laskenta tapahtuu Laskenta-välilehdillä, joissa laskenta on esitetty osa-alueittain ja vaiheittain. Laskennan vieressä kulkee sarake, jossa näytetään kunkin kohdan kaava, minkä mukaan laskentasolut näyttävät laskent arvonsa. Tämän taustalla on se, että laskentareportti olisi mahdollisimman tarkastuskelpoinen. Yksi laskentavälilehti laskee liitoksen kestävyyttä jossain kuormitusyhdistelmässä, ja välilehdistä on koottu näkyviin ne laskentalehdet, joiden mukaan liitoksen määräävät käyttöasteet saadaan. Piilotetut laskentavälilehdet mitoittavat liitosta jokaisessa kuormitusyhdistelmässä, joista mitoitusvälilehti kerrää liitoksen pääkäyttöasteet kuormitusyhdistelmittäin ja valitsee niiden mukaan mitoittavimman kuormitusyhdistelmän. Näkyvissä olevat laskentalehdet poimivat määräävän käyttöasteen mitoitusvälilehdeltä ja näyttävän laskennan sen mukaan. Laskentapohjissa on myös yksi ylimääräinen laskentavälilehti, jossa on mahdollista tarkastella liitoksen mitoitusta missä tahansa kuormitusyhdistelmässä.

Muita välilehtiä laskentapohjissa ovat kuormitusyhdistelmien välilehti ja tietovälilehdet liitoksen komponenteille. Tietovälilehdet sisältävät liitoskomponenttien materiaaliarvoja, kapasiteettitietoja ja muuta olennaista tietoa, jota käytetään

laskennassa. Näillä välilehdillä ei siis tapahdu laskentaa, vaan esimerkiksi laskentavälilehdet poimivat tarvittavia tietoja näiltä välilehdiltä. Tietovälilehtiä laskentapohjissa ovat Liimapuupilarikenkä-, Liimaruuvit-, Teräslevy-, Liimatangot- ja Liimapuu-välilehdet.

Kuormat laskentapohjissa

Kuormat syötetään laskentapohjaan alkeisarvoina, eli jokaisen rasiustyyppin mukaan jaettuna kuormatyyppien ominaisarvoihin, joiden perusteella kuormitusyhdistelmävälilehti laskee eri rasitusten mitoitusarvot kuormitusyhdistelmittäin. Liitoksen rasiustyyppinä voi olla liitoksen kohdistuva pystykuorma eli normaallivoima N_d , vaakakuorma eli leikkausvoima V_d ja liitokseen kohdistuva momentti M_d . Kuormatyypeillä tarkoitetaan omapainoa, hyötykuormaa, lumikuormaa ja tuulikuormaa. Ajatuksena kuormien syöttämisessä alkeisarvoina on se, että koska laskentapohja ei itse osaa laskea liitokseen kohdistuvaa kuormitusta, niin ne tuodaan jostain toisesta laskentaohjelmasta tai rakenneosan laskentareportista ominaisarvoina eriteltynä kuormatyypeittäin, jotta taulukkolaskentapohja osaa laskea liitoksen määräävät kuormitusyhdistelmät.

Kuormat syötetään siis rasiustyypeittäin ja kuormatyypeittäin ominaisarvoina, joille kullekin on varattu yksi syöttösolu. Omapainojen rasitukset syötetään kaikkien omapainojen summana, samoin lumikuormat ja tuulikuormat. Hyötykuormalle on varattu rasiustyypeittäin myös yksi syöttösolu, mutta hyötykuorman luokkaa ei ole määritetty laskentapohjassa. Tämä määrittely voidaan kuitenkin tehdä laskentapohjassa niin, että valitaan hyötykuorman aikaluokka ja yhdistelykerroin.

Kuormitusyhdistelmän määräävä aikaluokka määräytyy kuormitusyhdistelmässä esiintyvien kuormien lyhytkestoimmalla aikaluokalla [26, s. 16]. Kuormitusyhdistelmät on järjestetty niiden välilehdelle aikaluokittain, jotka etenevät pitkäaikaisimmasta lyhytaikaisimpaan. Järjestys on tämä siksi, koska jos laskenta tuottaa samoja määrääviä käyttöasteita eri kuormitusyhdistelmille, niin laskentapohja osaa poimia vain ensimmäisen vastaantulevan käyttöasteen

maksimiarvon. Tämä on tärkeää siksi, jotta laskenta ei anna vastaukseksi liian lyhytaikaista aikaluokkaa sisältävän kuormitusyhdistelmän käyttöastetta. Tämä tilanne voisi tulla vastaan esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa liitokseen ei kohdistu lainkaan tuulikuormaa, eli tuulikuorman arvo on nolla, mutta laskenta voisi silti antaa määrääväksi aikaluokaksi lyhytaikaisen, jos kuormitusyhdistelmät eivät olisi aikaluokkien mukaisessa järjestyksessä.

Aikaluokkia laskentapohjissa on käytössä kolme kaikkien viiden sijaan: pitkäaikainen, keskipitkä ja lyhytaikainen. Tämä sen vuoksi, koska mm. liimaruuvien leikkauskestävyydet on määritelty vain näiden aikaluokkien mukaan. Puuttuvat aikaluokat yhdistetään Puuinfon Lyhennetyin suunnitteluohjeen [26, s. 14–15] mukaan pitkäaikaisemmän aikaluokan kanssa, eli lyhytaikainen aikaluokka keskipitkän aikaluokan kanssa ja pitkäaikainen aikaluokka pysyvän aikaluokan kanssa. Hyötykuorman aikaluokka voi kuulua laskentapohjassa siis keskipitkään tai pysyvään aikaluokkaan, sillä hetkellistä hyötykuormaa ei ole olemassa. Hyötykuorman kaksi ensimmäistä kuormitusyhdistelmää, joissa hyötykuorman aikaluokka voi olla määräävä, onkin sijoitettu kuormitusyhdistelmätaulukoissa pysyvien ja keskipitkien kuormitusyhdistelmien väliin.

Laskentaraportin tulostaminen

Laskentapohjien välilehdet on rakennettu niin, että laskennasta saa tehtyä laskentaraportin tulostamalla halutut välilehdet esimerkiksi PDF-muotoon. Välilehtien taulukkojen solut on aseteltu A4-kokoisiin papereihin, jolloin laskentaraportin saa mahdollisimman luettavaan muotoon. Mitoitusten laskentaraporteista on esimerkit mitoitusesimerkin muodossa tämän raportin liitteissä 2 ja 4.

5.3 Mitoitusesimerkki

Taulukkolaskentapohjilla tuotettiin mitoitusesimerkki tätä insinööriöraporttia varten havainnollistamaan luotujen Excel-laskentapohjien rakennetta ja käyttämistä. Mitoitusesimerkissä mitoitetaan erään fiktiivisen liimapuuhallin mastopilarikehän palkki ja pilari Finnwood 2.4 -ohjelmalla. Finnwood-mitoituksesta

saatujen rakenneosien dimensioiden ja kuormitusten perusteella mitoitetaan laskentapohjia käyttäen palkin tukipinnan liimatankovahvistus sekä liimaruuvein ja pilarikengin toteutettava pilarin juuriliitos. Mitoitusesimerkki on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 1–5.

Mastopilarikehän mitoitusesimerkissä kehien väli on 7 m, jolloin liimapuupalkin ja -pilarin kuormitusleveydet pintakuormille ovat myös 7 m. Liimapuupalkki on suorakaidepoikkileikkauksinen palkki, jonka jänneväli on 20 m. Palkkia koko matkaltaan kuormittavia pintakuormia ovat yläpohjan omapaino ($1,0 \text{ kN/m}^2$), lumikuorma ($2,2 \text{ kN/m}^2$), sekä yläpohjaan kohdistuva tuulikuorma ($0,6 \text{ kN/m}^2$), jonka suunta voi olla ylös tai alas. Liimapuupilari on myös suorakaidepoikkileikkauksinen, jonka jänneväli on 5 m. Liimapuupilaria kuormittavat palkilta tulevat tukireaktiot ja niiden aiheuttamat lisävaakavoimat ($N/150$), sekä ulkovaippaan kohdistuva tuulikuorma ($0,6 \text{ kN/m}^2$). Ulkovaippa ulottuu pilarin pituuden matkalta lisäksi pilarin yläpäästä ylöspäin vielä 2 m, jolloin ulkovaipan korkeus on 7 m. Pilaria rasittaa myös sen jännevälin keskellä välipohjalta tulevat omapaino ($1,0 \text{ kN/m}^2$) ja hyötykuorma ($2,0 \text{ kN/m}^2$), sekä niiden aiheuttamat lisävaakavoimat. Välipohjan kuormitusleveydet pilarille ovat kehien välillä 3,5 m ja kehän suuntaisesti 2,5 m. Rakenneosien mitoitus tehdään seuraamusluokassa CC2.

Mastokehäpalkin poikkileikkauksen dimensioiksi Finnwood-mitointiohjelma antaa 240x1710 (liite 1, s. 1). Laskentareportissa ilmoitetaan (liite 1, s. 4), että mitoituksen kokonaiskäyttöaste on 110,8 %, joka johtuu tukipainekestävyyden ylittymisestä, kun tukipituus on pilarin poikkileikkauksen korkeus 495 mm. Ilman tukipaineen tarkastelua kokonaiskäyttöaste olisi 87,0 % taipuman ollessa määräävä.

Tukipaineen käyttöasteen ylittyminen johtaa siihen, että palkin tukipintaa joudutaan vahvistamaan. Vahvistaminen tehdään liimatangoilla ja teräslevyllä, joiden mitoitus laskentapohjalla on esitetty liitteessä 2. Vahvistus on mitoitettu liimapuupalkin laskentareportissa esitetyille tukireaktion ominaisarvoille tuulikuorman vaikuttaessa alaspäin (liite 1, s. 5). Mitoituksessa (liite 2, s. 1–2) on valittu liimatangoiksi 4 kpl lujuusluokan B500B harjatankoa, joiden halkaisija on 20 mm ja

tartuntapituus liimapuussa on 500 mm. Teräslevyksi on valittu lujuusluokan S355 levy, jonka leveys on sama kuin palkin leveys 240 mm, pituus on 190 mm, ja paksuus on 20 mm. Vahvistuksen kokonaiskäyttöasteeksi muodostuu 68,4 % liimatankojen (Mitoitus 1) ja teräslevyn (Mitoitus 2) pääkäyttöasteiden ollessa molempien määräävänä.

Mastokehäpilarin poikkileikkauksen dimensioiksi Finnwood-mitoitusohjelma antaa 240x495 (liite 3, s. 1). Laskentareportissa ilmoitetaan (liite 3, s. 4), että mitoituksen kokonaiskäyttöaste on 85,8 % yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen, eli pilarin poikkileikkauksen heikomman suunnan nurjahduksen ollessa määräävä.

Pilarin liimaruuviliitoksen mitoitus laskentapohjalla on esitetty tämän raportin liitteessä 4. Liitos on mitoitettu pilarin laskentareportissa pilarin tukireaktioiden ominaisarvoille (liite 3, s. 5), jossa tuulikuorman normaalivoiman osuus voi vaikuttaa sekä ylös tai alaspäin. Mitoituksessa (liite 4, s. 1), on valittu liimapuupilarikengiksi 240 mm leveä kenkä, joissa on 10 kpl reikiä liimaruuveja varten. Liimaruuveja on myös 10 kpl kenkää kohden, ja kenkiä on liitoksessa yhteensä kaksi. Kengän mallipiirustus on esitetty liitteessä 5. Liimaruuvit ovat lujuusluokan 5.8 ja pituudeltaan 490 mm pitkiä kansiruuveja, joiden tartuntapituudeksi kengän kanssa tulee 450 mm, ja ruuvit liimataan epoksiliimalla.

Liitoksen kokonaiskäyttöasteeksi muodostuu 86,8 % pääkäyttöasteen puristuksen (Mitoitus 1) ollessa määräävänä, ja tuulikuorman vaikuttaessa alaspäin. Liimapuun puristuskestävyys ei tässä tilanteessa riitä pelkälle kengän pinta-alalle, vaan puristuspinnan laskennallista pituutta on levitettävä hieman juotosvalun osalle. Tästä syystä juotosvalun toteutuksessa tulee olla erityisen tarkkana, jotta pilarin ja juotosvalun väliin ei jää pientäkään rakoja. Vedon pääkäyttöasteeksi (Mitoitus 2) tulee 84,1 %, jossa on huomioitu liimaruuvien murtotavan sitkeysvaatimus. Leikkauksen pääkäyttöasteeksi (Mitoitus 3) tulee 56,0 %. Mitoitus 3 -osiota ei esitetä laskentareportissa, sillä Mitoitus 1 -osiossa esitetään sama laskenta määräävien kuormitusyhdistelmien ollessa samat.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin liimapuupalkin liimatankovahvistuksen ja liimapuumastopilarin liimaruuviliitoksen komponenttien tuotehyväksynät sekä liitosten mitoituksen laskentaohjeet mitoituskaavoineen ja -ehtoineen. Selvityksen pohjalta luotiin tilaajan käyttöön tulevat taulukkolaskentapohjat liitosten mitoittamiseen murtorajatilassa.

Selvitystyön tarpeen tilaajalle aiheutti liitoksen tuotekomponenttien tuotehyväksyntöjen ja laskentaohjeiden puutteet ja ristiriitaisuudet. Insinööriyötä tehdessä tämä asia tulikin vastaan, sillä esimerkiksi tuotehyväksyntöjen osalta saattoi komponentteittain olla tulkinnan varaa siitä, että mitä tuotehyväksyntää tulee käyttää. Tuotehyväksyntäasioissa onkin meneillään muutoksia, kun eri hyväksyntöjä ja niiden piiriin kuuluvia rakennustuotteita lisätään jatkuvasti, kun toisaalta moni tuote saattaa kuulua edelleen jo poistuvien tuotehyväksyntöjen piiriin. Myös erityisesti laskentaohjeissa huomattiin samoja ongelmia, kun liitoksen mitoitukseen liittyvät vanhat laskentaohjeet saattoivat olla ristiriitaisia nykyajattelun mukaan, kun toisaalta uutta tutkimusaineistoa oli hyvin rajallisesti saatavilla. Lähdeaineistot ja esimerkkilaskelmat olivat usein myös puutteellisia, eikä liitoksen mitoitusteoriaa käyty kokonaisvaltaisesti läpi missään saatavilla olevassa aineistossa.

Aineiston puutteellisuus johtikin siihen, että tietoa raportin teoriaosuuteen piti kerätä monista eri lähteistä yhdistellen ja valiten niistä vähiten ristiriitaisin tieto. Aineistosta saatiin koottua kuitenkin järkevä kokonaisuus, jolla liitoksien mitoitusta voidaan tarkastella tarvittavalla tasolla.

Opinnäytetyön tilaajalla oli myös tarve liitoksia mitoittaville taulukkolaskentapohjille johtuen siitä, ettei liitoksia mitoittavia ohjelmia ole ollut saatavilla. Taulukkolaskentapohjista tuli käsinlaskennan kaavoihin perustuvia ohjelmia, joiden mitoituksen laskenta on esitetty kaavoilla perustellen. Tämän ajatellaan lisäävän laskentareportin tarkistuskelpoisuutta. Laskentapohjat ovat käyttökelpoisia

sellaisenaan käytännön työelämässä, joskin kehityskohteita ohjelmista voi vielä löytyä, sillä ohjelmia ei ole vielä keretty testaamaan käytännön töissä.

Yhtenä laskentapohjien tulevaisuuden kehityskohteena voisi olla laskentareporttien tiivistäminen sivumäärällisesti niin, että kunkin rakenneosan mitoitus määrävissä kuormitusyhdistelmässä esitettäisiin vain kerran. Nykyisellään laskentareporteissa esitetään koko liitoksen mitoitus useampaan kertaan eri määrävissä kuormitusyhdistelyissä, ja sitä kautta laskentareporttien sivumäärät ovat kohtalaisen runsaita. Tämä kehityskohde edellyttäisi kuitenkin laskentapohjien rakenteen merkittävää uudelleenrakentamista, ja aikataulullisten asioiden vuoksi tätä jatkokehitystä ei lähdetty tekemään tätä insinööriyötä varten. Toisena jatkokehityskohteena voisi olla se, että laskentapohjiin voisi lisätä myös käyttö- ja onnettomuusrajatilojen mitoittamista. Kehitystyötä voisi tulevaisuudessa laajentaa esimerkiksi tekemällä vastaavat mitoitusohjelmat myös muille liimatankovahvistusliitoksille.

Insinööriyöprosessi oli hyvin opettavainen kokonaisuus. Työn aikana tuli perehdyttyä ja syvennyttyä liimatankoliitosten toimintaan ja mitoittamiseen, mitä ei koulun kursseilla käyty läpi. Työn tekeminen opetti myös ajattelemaan syvällisemmin puurakenneliitosten toimintaa niin lujuusopillisesti, kuin normien ja säästöstenkin kannalta. Myös taulukkolaskentapohjien luominen oli erittäin opettavaista, sillä niiden luomisen aikana liitosten mitoittaminen tuli sisäistettyä perin pohjin. Myös Excel-osaamista karttui runsaasti ottaen huomioon sen, ettei aikaisempaa kokemusta taulukkolaskennasta ollut juuri lainkaan. Insinööriyön tekeminen opetti myös sietämään yleisesti projekteihin liittyvää epävarmuutta sekä hallitsemaan ja ohjaamaan omaa toimintaa projektin aikana.

Lähteet

- 1 Liimapuukäsikirja, Osa 2. 2015. Verkkoaineisto. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-2.pdf>. Päivitetty 17.7.2020. Luettu 5.7.2022.
- 2 Step 1, Puurakenteet: suunnitteluperusteet, materiaaliominaisuudet, rakenneosat, liitokset. 1996. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Rakennustieto Oy.
- 3 RIL 205-1-2017, Puurakenteiden suunnitteluohje, Eurokoodi EN 1995-1-1. 2017. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 4 Carling, Olle; Pystynen, Heimo; Gross, Holger. 2003. Liimapuu: käsikirja. Helsinki. Wood Focus Oy, Suomen Liimapuuyhdistys ry.
- 5 Luoto, Göran. 1984. RIL 153, Liimapuurakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.
- 6 HalliPES 1.0, Osa 14: voimaliitokset. 2015. Verkkoaineisto. Finnish Wood Research Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/HalliPES_1-0_Osa_14_Voimaliitokset-2.12..pdf>. Päivitetty 13.7.2020. Luettu 5.7.2022.
- 7 Esimerkkilaskelma, Mastopilarin perusliitos liimaruuveilla. 2018. Vaapukoulutusaineisto. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli_2_Esimerkki_8_Mastopilarin-liimaruuviliitos.pdf>. Päivitetty 29.6.2020. Luettu 6.7.2022.
- 8 Videoluento, Moduuli 2: 16 Momenttijäykkä liimaruuviliitos. 2018. Vaapukoulutusaineisto. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/koulutus/vaativien-puurakenteiden-suunnittelu-taydennyskoulutus-vaapu/vaapu-videoluennot/>. Päivitetty 29.6.2020. Katsottu 6.7.2022.
- 9 Liimapuukäsikirja, Osa 1. 2014. Verkkoaineisto. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>. Päivitetty 17.7.2020. Luettu 5.7.2022.
- 10 Liimapuupilarikenkä, Tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot. 2015. Finnish Wood Research Oy, Metsä Wood ja A-insinöörit Suunnittelu Oy.
- 11 APL-2, Liimapuupilarin kantaliitos, Käyttöohje 3/2001. 2001. Tuoteluettelo. Anstar Oy.

- 12 Puupilarikengät, 5/2000 Väli 2. 2000. Tuoteluettelo. Teräspeikko Oy.
- 13 Esimerkkilaskelma, Tuen vahvistus liimatangoilla. 2021. tPUUr-oppimateriaali. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2022/06/tPUUr_4.9.4-Liimatankoliitos-tuen-vahvistaminen.docx>. Päivitetty 23.6.2022. Luettu 9.8.2022.
- 14 Standardit ja rakennustuotteiden tuotehyväksyntä. 2022. tPUUr-oppimateriaali. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2022/06/tPUUr_9-Standardit-ja-tuotehyvaksynta.pptx>. Päivitetty 23.6.2022. Luettu 18.8.2022.
- 15 Tarkastusasiakirjan liitelomake rakennustuotteet Versio 2.9. 2020. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://tiedostot.rakennustieto.fi/tuotekelpoisuus-liitelomake-rakennustuotteet-2-9.xlsx>>. Päivitetty 14.12.2020. Luettu 2.8.2022.
- 16 Puurakenteiden vetorasitetut ja liimatut terästanko- ja ruuviliittimet. 2014. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <www.ymparisto.fi/download/none-name/%7B0CAA456C-4A1E-4B96-A14F-8048E6B715B5%7D/108693>. Päivitetty 9.4.2015. Luettu 17.7.2022.
- 17 Suomalainen tulkinta rakenteellisten teräs- ja alumiinikokoonpanojen harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 1090-1+A1:2012 soveltamisalasta, revisio 12.4.2021, K135. 2021. Verkkoaineisto. hEN Helpdesk. <www.henhelpdesk.fi/media/mediapankki/en-1090-1-soveltamisala-fi-tulkinta-210412.pdf>. Päivitetty 12.4.2021. Luettu 24.8.2022.
- 18 RIL-205-2-2019, Puurakenteiden palomitoitus, eurokoodi EN 1995-1-2. 2019. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 19 Liimapuupilarikengä, Laskelmaselostus. 2015. Finnish Wood Research Oy, Metsä Wood ja A-insinöörit Suunnittelu Oy.
- 20 Pitkänen, Jani. 2018. Momenttijäykkä liimaruuviliitos. Vaapu-koulutusaineisto. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/16_Momenttij%C3%A4ykk%C3%A4-liimaruuviliitos.pdf>. Päivitetty 29.6.2020. Luettu 6.7.2022.
- 21 HPM-ankkurointipultit, tekninen käyttöohje, FI 10/2019. 2019. Verkkoaineisto. Peikko Group Oy. <https://media.peikko.com/file/dl/i/qsnQaQ/XEJ7_tCEbcT-K2oT2w6j3g/HPM-ankkurointipultitFI002TMAWeb.pdf>. Luettu 6.7.2022.
- 22 RIL 201-4-2017, Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuusrajatilassa. 2017. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

- 23 Beer, Ferdinand; Johnston, Russell. 2006. Mechanics of Materials, Fourth Edition in SI Units. New York. McGraw-Hill.
- 24 HalliPES 1.0, Osa 3: runkotyypit. 2014. Verkkoaineisto. Finnish Wood Research Oy ja Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/HalliPES_1.0_Osa_3_Runkotyypit.pdf>. Päivitetty 13.7.2020. Luettu 27.7.2022.
- 25 AA. EC 5 Sovelluslaskelmat, Hallirakennus, Eurokoodi 5, Toinen painos. 2010. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/julkaisuarkisto/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennustoinen-painos/>. Päivitetty 17.7.2020. Luettu 14.9.2022.
- 26 Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, Eurokoodi 5, Viides painos. 2020. Verkkoaineisto. Puuinfo Oy. <www.puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>. Päivitetty 22.7.2020. Luettu 5.7.2022.

Mastokehäpalkin kuormat ja mitoitus Finnwood 2.4 -ohjelmalla

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri Jouni Sorvoja Oy **MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTÄ** Opinnäytetyö, Liimapuu pääkannattaja
 Samuel Hintsala 26.9.2022

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



PROJEKTITIEDOT:

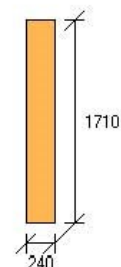
Suunnittelija: Samuel Hintsala
 Yritys: Insinööri Jouni Sorvoja Oy
 Projekti: Opinnäytetyö

Nimi: Liimapuu pääkannattaja

Z:\Samuelin opinnäytetyö\Laskentapohja\Mitoitus esimerkki\Mastokehäpalkin mitoitus\Mitoitus esimerkki-Liimapuupalkki.s01

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Kattopalkki/laatta
 Materiaali: GL30c
 Poikkileikkaus: 240x1710
 (B=240 mm, H=1710 mm, A=410400 mm², I_y=100004220000 mm⁴, W_y=116964000 mm³)
 Käyttöluokka: 1
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Jako/kuormituslev.: 7000 mm (pintakuormille)



Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:
 Jänneväli 1: 20000.0
 Yhteensä: 20000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	495	Liikutuki (Z)
2:	20000	495	Kiinteä niveltuki (X,Z)

f _{m,k} (M _y):	30.00 N/mm ²
f _{m,k} (M _z):	30.00 N/mm ²
f _{c,0,k} :	24.50 N/mm ²
f _{c,90,k} :	2.50 N/mm ²
f _{t,0,k} :	19.50 N/mm ²
f _{t,90,k} :	0.50 N/mm ²
f _{v,k} (V _z):	3.50 N/mm ²
f _{v,k} (V _y):	3.50 N/mm ²
E _{mean} :	13000 N/mm ²
G _{mean} :	650 N/mm ²

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

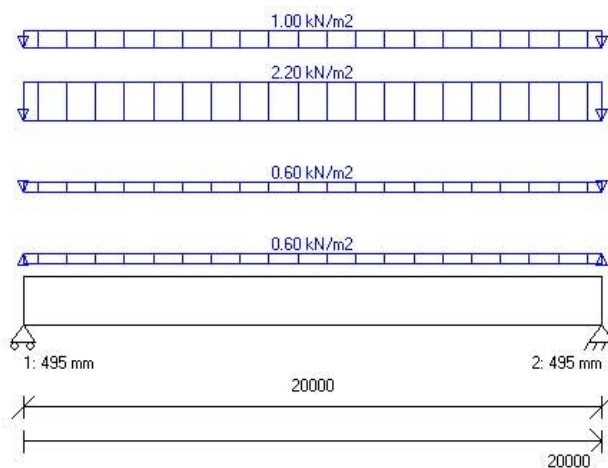
Insinööri-toimisto Jouni Sorvoja Oy MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTÖpinnäytetyö, Liimapuu pääkannattaja
Samuel Hintsala 26.9.2022

E 0.05:	10800 N/mm ²
G 0.05:	540 N/mm ²
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m ³ (omapainon laskentaa varten)
km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00

Osavarmuusluku:	1.25

Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100

kdef:	0.600



KUORMITUSTIEDOT:

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):
Rakenneseosan paino: QZ = 2.052 kN/m x = 0 - 20000 mm
Pintakuorma: 1: QZ = 1.000 kN/m² x = 0 - 20000 mm

Lumikuorma (Lumikuorma Sk>=2.75 kN/m², Keskipitkä):

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTÖPinnäytetyö, Liimapuu pääkannattaja

Samuel Hintsala

26.9.2022

 Pintakuorma: 1: $Q_z = 2.200 \text{ kN/m}^2$ $x = 0 - 20000 \text{ mm}$

 Tuulikuorma (alas) (Tuulikuorma, Hetkellinen):Pintakuorma: 1: $Q_z = 0.600 \text{ kN/m}^2$ $x = 0 - 20000 \text{ mm}$ -----
 Tuulikuorma (ylös) (Tuulikuorma, Hetkellinen):Pintakuorma: 1: $Q_z = -0.600 \text{ kN/m}^2$ $x = 0 - 20000 \text{ mm}$

 KUORMITUSYHDISTELMÄT:

 Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00*1.35*Omapaino

 Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Lumikuorma

 Yhdistelmä 3 (MRT, Hetkellinen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Lumikuorma + 1.00*1.50*0.60*Tuulikuorma (alas)

 Yhdistelmä 4 (MRT, Hetkellinen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma + 1.00*1.50*Tuulikuorma (alas)

 Yhdistelmä 5 (MRT, Hetkellinen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Lumikuorma + 1.00*1.50*0.60*Tuulikuorma (ylös)

 Yhdistelmä 6 (MRT, Hetkellinen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma + 1.00*1.50*Tuulikuorma (ylös)

 Yhdistelmä 7 (MRT, Hetkellinen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Tuulikuorma (alas)

 Yhdistelmä 8 (MRT, Hetkellinen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Tuulikuorma (ylös)

 Yhdistelmä 9 (MRT, Hetkellinen)

0.90*Omapaino + 1.00*1.50*Tuulikuorma (ylös)

 Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)

1.00*1.15*Omapaino

 Yhdistelmä 11 (MRT, Pysyvä)

0.90*Omapaino

 Yhdistelmä 12 (KRT)

1.00*Omapaino

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTÖPinnäytetyö, Liimapuu pääkannattaja

Samuel Hintsala

26.9.2022

Yhdistelmä 13 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuorma

Yhdistelmä 14 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Tuulikuorma (alas)

Yhdistelmä 15 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuorma + 1.00*Tuulikuorma (alas)

Yhdistelmä 16 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Tuulikuorma (ylös)

Yhdistelmä 17 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuorma + 1.00*Tuulikuorma (ylös)

MITOITUS:

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017

Kokonaiskäyttöaste:

110.8 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskerronin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerronin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus taivutuksesta My (y-askelin suhteen):

Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella: Lk1 = 2400.00 mm

Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: Lk2 = Päätukien välimatka

Lef1 = Lk1+2xH ja Lef2 = Lk2 (Esim. kuormitus rakenteen yläpinnassa)

HUOM! Lk1:ta käytetään, kun My>0 ja Lk2:ta, kun My<0

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	335.10 kN	612.86 kN	54.7 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus (My):	1675.49 kNm	2108.66 kNm	79.5 %	10000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	1675.49 kNm	2245.71 kNm	74.6 %	10000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	335.10 kN	302.40 kN	110.8 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.59					
Tukipaine, tuki 2:	335.10 kN	302.40 kN	110.8 %	20000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.59					
jänneväli 1, Wz,fin:	58.0 mm	-- mm	-- %	10000 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, Wz,net,fin:	58.0 mm	66.7 mm	87.0 %	10000 mm	Yhdistelmä 13/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Lumikuorma

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy **MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTÖ** pinnäytetyö, Liimapuu pääkannattaja

Samuel Hintsala

26.9.2022

Yhdistelmä 13/1 :

1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuorma

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	372.90 kN	0 mm
My,max	1864.49 kNm	10000 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	372.90 kN	18.47 kN	244.52 kN	48.52 kN
2:	372.90 kN	18.47 kN	244.52 kN	48.52 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	90.52
2:	90.52

Kuormitustapaus:	Lumikuorma
Tuki:	FZ [kN]:
1:	154.00
2:	154.00

Kuormitustapaus:	Tuulikuorma (alas)
Tuki:	FZ [kN]:
1:	42.00
2:	42.00

Kuormitustapaus:	Tuulikuorma (ylös)
Tuki:	FZ [kN]:
1:	-42.00
2:	-42.00

HUOMIOT:

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
- *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy **MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTÄ** Opinnäytetyö, Liimapuu pääkannattaja
Samuel Hintsala 26.9.2022

- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
 - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
 - Rakennesosan koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
 - Kuormitustiedoissa esitetään lumikuorman ominaisarvo katolla.
Tämä on saatu kertomalla maassa oleva ominaislumikuorma katon muotokertoimella
-

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakennesosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Liimatankovahvistuksen mitoitus Excel-laskentapohjalla



MITOITUS
Versio: 1.0

Liimapuupalkin tukipinnan
liimatankovahvistus

Liimapuupalkin tukipinnan vahvistus liimatangoilla

Liimatankoryhmän mitoitus perustuu Eurokoodiin 5 pohjautuvaan RIL 206-1-2017 -suunnitteluohjeeseen, liimapuun mitoitus Eurokoodiin 5, ja teräsosien mitoitus Eurokoodiin 3.

Projekti

Kohde:	1706492 Opinnäytetyö - Mitoitus esimerkki
Tunnus:	Mastokehäpalkin tukipinnan vahvistus
Mitoittaja:	Samuel Hintsala

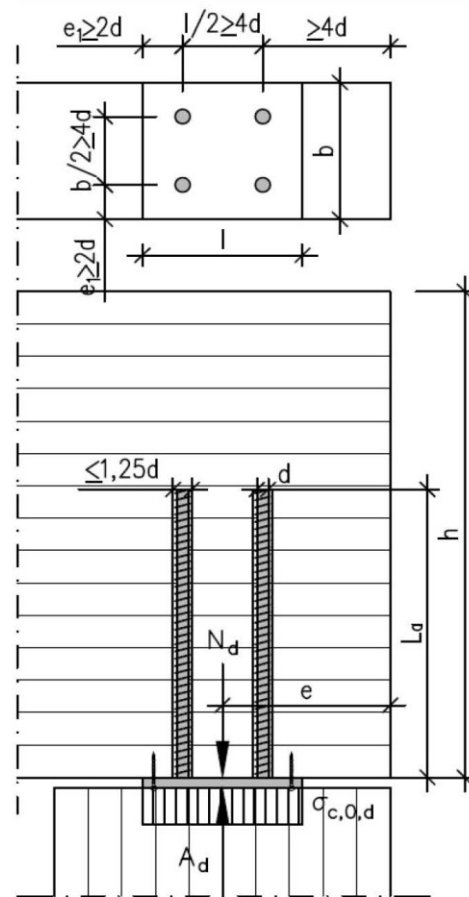
Ohje

Syöttösolu:	Kirjoita
	Valikko
Laskentasolu:	Arvo
Tarkistus solu, väri:	VIRHE!
	Huom!
	OK!

Lähtötiedot

<u>Kosteusolosuhteet</u>	
Käyttöluokka:	1
<u>Liimapuupalkin poikkileikkaus</u>	
Leveys:	b = 240 mm
Korkeus:	h > 500 mm
<u>Liimapuupilarin poikkileikkaus (tuki)</u>	
Lujuusluokka:	GL30c
<u>Liimatangot, liimaus epoksi-liimalla</u>	
Lujuusluokka:	B500(B/C1)
Koko:	20 mm
Halkaisija:	d = 20,0 mm
Pituus:	L = (L _a) = 500 mm
Määrä leveyssuunnassa:	2 kpl
Määrä pituussuunnassa:	2 kpl
Määrä yhteensä:	n = 4 kpl
Ryhmän sijainti:	e = 247,5 mm

Selitekuva





MITOITUS
Versio: 1.0

Liimapuupalkin tukipinnan
liimatankovahvistus

Teräslevy

Lujuusluokka:	S355
Leveys:	b = 240 mm
Pituus:	l = 190 mm
Paksuus:	t = 20 mm

Kuormat

Seuraamusluokka: **CC2**

Hyötykuorma Q_k

Aikaluokka: **Keskipitkä**
Yhdistelykerroin: $\psi_0 = 0,7$

Normaalivoiman N_k alkeisarvot

Omapainot:	$N_{G,k} = 90,52$ kN
Hyötykuorma:	$N_{Q_i,k} = 0$ kN
Lumi:	$N_{Q_s,k} = 154$ kN
Tuuli:	$N_{Q_w,k} = 42$ kN

Tulokset

Mitoitus 1 - Liimatankojen käyttöaste määräävä

Käyttöaste liimatangoille:	68,4 % OK!
Käyttöaste teräslevylle:	61,5 % OK!
Kokonaiskäyttöaste	68,4 % OK!

Määräävä kuormitusyhdistelmä liimatangoille:	KY7
Lumi määräävä	
Määräävä aikaluokka:	Keskipitkä

Mitoitus 2 - Teräslevyn käyttöaste määräävä

Käyttöaste liimatangoille:	65,3 % OK!
Käyttöaste teräslevylle:	68,4 % OK!
Kokonaiskäyttöaste	68,4 % OK!

Määräävä kuormitusyhdistelmä teräslevylle:	KY19
Lumi määräävä + Tuuli	
Määräävä aikaluokka:	Hetkellinen

Käyttöasteiden laskentatulokset

Kuormitusyhdistelmä	Aikaluokka	Käyttöaste liimatangoille	Käyttöaste teräslevylle
KY1 Omap. epäedullinen	Pysyvä	33,2 %	28,6 %
KY2 Omap. edullinen	Pysyvä	22,2 %	19,1 %
KY3 Hyötyk. määräävä	K. tai P	21,2 %	19,1 %
KY4 -:-, Omap. edullinen		16,6 %	14,9 %
KY5 -:- + Lumi	Keskipitkä	54,2 %	48,8 %
KY6 -:- + -:-, Omap. edul.		49,6 %	44,6 %
KY7 Lumi määräävä		68,4 %	61,5 %
KY8 -:-, Omap. edullinen		63,8 %	57,3 %
KY9 -:- + Hyötyk.		68,4 %	61,5 %
KY10 -:- + -:-, Omap. edul.		63,8 %	57,3 %
KY11 Tuuli määräävä		29,3 %	30,7 %
KY12 -:-, Omap. edullinen		25,3 %	26,5 %
KY13 -:- + Hyötyk.		29,3 %	30,7 %
KY14 -:- + -:-, Omap. edul.		25,3 %	26,5 %
KY15 Hyötyk. määr. + Tuuli	Hetkellinen	24,8 %	26,0 %
KY16 -:- + -:-, Omap. edul.		20,9 %	21,9 %
KY17 -:- + Lumi + Tuuli		53,2 %	55,7 %
KY18 -:- + -:- + -:-, Omap. edul.		49,2 %	51,5 %
KY19 Lumi määräävä + Tuuli		65,3 %	68,4 %
KY20 -:- + -:-, Omap. edul.		61,3 %	64,3 %
KY21 -:- + Hyötyk. + Tuuli		65,3 %	68,4 %
KY22 -:- + -:- + -:-, Omap. edul.		61,3 %	64,3 %
KY23 Tuuli määräävä + Lumi		57,6 %	60,3 %
KY24 -:- + -:-, Omap. edul.		53,6 %	56,2 %
KY25 -:- + Hyöty + Lumi		57,6 %	60,3 %
KY26 -:- + -:- + -:-, Omap. edul.		53,6 %	56,2 %



Laskenta - Mitoitus 1

Mitoituskuormat

Määrävän käyttöasteen kuormitusyhdistelmä:		
Määrävä	käyttöaste liimatangoille:	KY7
Mmitoitettava kuormitusyhdistelmä:		
KY7	Lumi määräävä	
Määrävä	aikaluokka:	Keskipitkä

Mitoittava rasitus

Normaalivoima: $N_d = 335,1$ kN

Mitoittava liitosvoima

Tukireaktio: $A_d = N_d = 335,1$ kN

Laskenta- ja materiaaliarvot

Liimapu

Muunnoskerroin: $k_{mod} = 0,8$
Osavarmuusluku: $\gamma_M = 1,25$

Liimatanko

Osavarmuusluku: $\gamma_{M,s} = 1,1$

Liimatankojen keskiö-, reuna- ja päätyetäisyydet

Etäisyydet ja niiden ehdot leveysuunnassa

Keskiöetäisyys: $4d \leq b/2 = 120,0$ mm
Reunaetäisyys: $2d \leq b/4 = 60,0$ mm

Etäisyydet ja niiden ehdot pituus suunnassa

Keskiöetäisyys: $4d \leq l/2 = 95,0$ mm
Päätyetäisyys: $4d \leq e - l/4 = 152,5$ mm

Puristetun liimatankoryhmän normaalivoimakestävyys

Liimasauman tartuntalujuus

Tartuntapituus: $L_a = 500$ mm
Ominaisarvo: $f_{a,k} = 4,9$ N/mm²
 $L_a = L \leq \min(h; 500 \text{ mm})$
 $f_{a,k} = 6,5 \text{ N/mm}^2 * \left(1 - \frac{L_a}{100*d}\right)$

Liimatangon myötökestävyys

Lujuuden k-arvo: $f_{y,k} = 500,0$ N/mm²
PL pinta-ala: $A_y = 314,2$ mm²
Mitoitusarvo: $R_{y,d} = 142,8$ kN
 $A_y = \frac{1}{4} * \pi * d^2$
 $R_{y,d} = \frac{f_{y,k} * A_y}{\gamma_{M,s}}$

Liimatangon tartuntakestävyys

Reiän halkaisija: $d_{ef} = 25$ mm
Mitoitusarvo: $R_{a,d} = 122,5$ kN
 $d_{ef} \leq 1,25 * d$
 $R_{a,d} = k_{mod} *$

Liimatangon normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d} = 122,5$ kN
 $R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{matrix} R_{y,d} \\ R_{a,d} \end{matrix} \right.$



Liimatankoryhmän normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d,tot} = 490,1$ kN $R_{ax,d,tot} = n * R_{ax,d}$
Mitoitusehto: KA = 68,4 % OK! $A_d \leq R_{ax,d,tot}$

Teräslevyn kosketuspinta-ala

Pilarin syynsuuntainen puristuslujuus

Ominaisarvo: $f_{c,0,k} = 19,5$ N/mm²
Mitoitusarvo: $f_{c,0,d} = 12,5$ N/mm² $f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$

Teräslevyn kosketuspinta-ala liimatankoryhmän normaalivoimakestävyyden ja pilarin puristuslujuuden mukaan

Kosketuspinta-ala: $A_{s,min} = 39269,9$ mm² $A_{s,min} = \frac{R_{ax,d,tot}}{f_{c,0,d}}$ (suositus)

Kosketuspinta-ala valittujen mittojen mukaan

Kosketuspinta-ala: $A_s = 45600,0$ mm² $A_s = b * l \geq A_{s,min}$ (suositus)
Puristusjännitys: $\sigma_{c,0,d} = 7,3$ N/mm² $\sigma_{c,0,d} = \frac{A_d}{A_s}$
Mitoitusehto: KA = 58,9 % OK! $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Teräslevyn taivutuskestävyys

Teräslevyn taivutuslujuus

Ominaisarvo: $f_k = 355$ N/mm²
Mitoitusarvo: $f_d = 322,7$ N/mm² $f_d = \frac{f_k}{\gamma_{M,S}}$

Teräslevyn taivutusjännitys

Taivutusmomentti: $M_{s,d} = 2513235,0$ Nmm $M_{s,d} = \frac{\min(l;b) * \sigma_{c,0,d} * e_1^2}{\min((l;b) * l^2)}$, $e_1 = \max(l; b) / 4$
Taivutusvastus: $W_s = 12666,7$ mm³ $W_s = \frac{\min((l;b) * l^2)}{6}$
Taivutusjännitys: $\sigma_{s,m,d} = 198,4$ N/mm² $\sigma_{s,m,d} = \frac{M_{s,d}}{W_s}$
Mitoitusehto: KA = 61,5 % OK! $\sigma_{s,m,d} \leq f_d$

Liimatankoliitoksen käyttöaste

Käyttöaste liimatangoille:	68,4 %	OK!
Käyttöaste teräslevylle:	61,5 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	68,4 %	OK!



Laskenta - Mitoitus 2

Mitoituskuormat

Määrävän käyttöasteen kuormitusyhdistelmä:		
Määrävä	käyttöaste teräslevylle:	KY19
Mitoittava kuormitusyhdistelmä:		
KY19	Lumi määrävä + Tuuli	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen	

Mitoittava rasitus

Normaalivoima: $N_d = 372,9$ kN

Mitoittava liitosvoima

Tukireaktio: $A_d = N_d = 372,9$ kN

Laskenta- ja materiaaliarvot

Liimapu

Muunnoskerroin: $k_{mod} = 1,1$
Osavarmuusluku: $\gamma_M = 1,25$

Liimatanko

Osavarmuusluku: $\gamma_{M,s} = 1,1$

Liimatankojen keskiö-, reuna- ja päätyetäisyydet

Etäisyydet ja niiden ehdot leveysuunnassa

Keskiöetäisyys: $4d \leq b/2 = 120,0$ mm
Reunaetäisyys: $2d \leq b/4 = 60,0$ mm

Etäisyydet ja niiden ehdot pituus suunnassa

Keskiöetäisyys: $4d \leq l/2 = 95,0$ mm
Päätyetäisyys: $4d \leq e - l/4 = 152,5$ mm

Puristetun liimatankoryhmän normaalivoimakestävyys

Liimasauman tartuntalujuus

Tartuntapituus: $L_a = 500$ mm
Ominaisarvo: $f_{a,k} = 4,9$ N/mm²

$$L_a = L \leq \min(h; 500 \text{ mm})$$

$$f_{a,k} = 6,5 \text{ N/mm}^2 * \left(1 - \frac{L_a}{100*d}\right)$$

Liimatangon myötökestävyys

Lujuuden k-arvo: $f_{y,k} = 500,0$ N/mm²
PL pinta-ala: $A_y = 314,2$ mm²
Mitoitusarvo: $R_{y,d} = 142,8$ kN

$$A_y = \frac{1}{4} * \pi * d^2$$

$$R_{y,d} = \frac{f_{y,k} * A_y}{\gamma_{M,s}}$$

Liimatangon tartuntakestävyys

Reiän halkaisija: $d_{ef} = 25$ mm
Mitoitusarvo: $R_{a,d} = 168,5$ kN

$$d_{ef} \leq 1,25 * d$$

$$R_{a,d} = k_{mod} *$$

Liimatangon normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d} = 142,8$ kN

$$R_{ax,d} = \min \begin{cases} R_{y,d} \\ R_{a,d} \end{cases}$$



Liimatankoryhmän normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d,tot} = 571,2$ kN $R_{ax,d,tot} = n * R_{ax,d}$
Mitoitusehto: KA = 65,3 % OK! $A_d \leq R_{ax,d,tot}$

Teräslevyn kosketuspinta-ala

Pilarin syynsuuntainen puristuslujuus

Ominaisarvo: $f_{c,0,k} = 19,5$ N/mm²
Mitoitusarvo: $f_{c,0,d} = 17,2$ N/mm² $f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$

Teräslevyn kosketuspinta-ala liimatankoryhmän normaalivoimakestävyyden ja pilarin puristuslujuuden mukaan

Kosketuspinta-ala: $A_{s,min} = 33286,6$ mm² $A_{s,min} = \frac{R_{ax,d,tot}}{f_{c,0,d}}$ (suositus)

Kosketuspinta-ala valittujen mittojen mukaan

Kosketuspinta-ala: $A_s = 45600,0$ mm² $A_s = b * l \geq A_{s,min}$ (suositus)
Puristusjännitys: $\sigma_{c,0,d} = 8,2$ N/mm² $\sigma_{c,0,d} = \frac{A_d}{A_s}$
Mitoitusehto: KA = 47,7 % OK! $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Teräslevyn taivutuskestävyys

Teräslevyn taivutuslujuus

Ominaisarvo: $f_k = 355$ N/mm²
Mitoitusarvo: $f_d = 322,7$ N/mm² $f_d = \frac{f_k}{\gamma_{M,S}}$

Teräslevyn taivutusjännitys

Taivutusmomentti: $M_{s,d} = 2796735,0$ Nmm $M_{s,d} = \frac{\min(l;b) * \sigma_{c,0,d} * e_1^2}{\min((l;b) * l^2)}$, $e_1 = \max(l; b) / 4$
Taivutusvastus: $W_s = 12666,7$ mm³ $W_s = \frac{\min((l;b) * l^2)}{6}$
Taivutusjännitys: $\sigma_{s,m,d} = 220,8$ N/mm² $\sigma_{s,m,d} = \frac{M_{s,d}}{W_s}$
Mitoitusehto: KA = 68,4 % OK! $\sigma_{s,m,d} \leq f_d$

Liimatankoliitoksen käyttöaste

Käyttöaste liimatangoille:	65,3 %	OK!
Käyttöaste teräslevylle:	68,4 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	68,4 %	OK!

Liitosvoiman N_k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa															
Kuormitusyhdistelmä		Ompaino			Hyötykuorma			Lumi			Tuuli			Mitoitusarvo	
Nimi	Nimike	Määrä	N_{Gk} [Nm]	V_G	K_{FI}	N_{Gk} [Nm]	V_Q	K_{FI}	ψ_0	$N_{Qj,k}$ [Nm]	V_Q	K_{FI}	ψ_0	$N_{Q,w,k}$ [Nm]	N_d [kNm]
KY1	Omap. ep	Pysyvä	90,52	1,35	1	90,52									122,2
KY2	Omap. ed	Pysyvä	90,52	0,9		90,52									81,5
KY3	Hyötyk. n	Keskipitkä	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1	0						104,1
KY4	Hyötyk. n	Keskipitkä	90,52	0,9		90,52	1,5	1	0						81,5
KY5	Hyötyk. n	Keskipitkä	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1	0	1,5	1	0,7	154		265,8
KY6	Hyötyk. n	Keskipitkä	90,52	0,9		90,52	1,5	1	0	1,5	1	0,7	154		243,2
KY7	Lumi mää	Keskipitkä	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1		1,5	1		154		335,1
KY8	Lumi mää	Keskipitkä	90,52	0,9		90,52	1,5	1		1,5	1		154		312,5
KY9	Lumi mää	Keskipitkä	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1	0,7	1,5	1	0,7	154		335,1
KY10	Lumi mää	Keskipitkä	90,52	0,9		90,52	1,5	1	0,7	1,5	1	0,7	154		312,5
KY11	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1			1,5	1		42	167,1
KY12	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1			1,5	1		42	144,5
KY13	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1	0,7		1,5	1		42	167,1
KY14	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1	0,7		1,5	1		42	144,5
KY15	Hyötyk. n	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1			1,5	1		42	141,9
KY16	Hyötyk. n	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1			1,5	1	0,6	42	119,3
KY17	Hyötyk. n	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1		1,5	1	0,7	154	42	303,6
KY18	Hyötyk. n	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1		1,5	1	0,7	154	42	281,0
KY19	Lumi mää	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1		1,5	1		154	42	372,9
KY20	Lumi mää	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1		1,5	1		154	42	350,3
KY21	Lumi mää	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1	0,7	1,5	1	0,7	154	42	372,9
KY22	Lumi mää	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1	0,7	1,5	1	0,7	154	42	350,3
KY23	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1		1,5	1		154	42	328,8
KY24	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1		1,5	1		154	42	306,2
KY25	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	1,15	1	90,52	1,5	1	0,7	1,5	1	0,7	154	42	328,8
KY26	Tuuli mää	Hetkellinen	90,52	0,9		90,52	1,5	1	0,7	1,5	1	0,7	154	42	306,2



Teräslevy
Versio: 1.0

Liimapuupalkin tukipinnan
liimatankovahvistus

Teräslevy

Teräslevyn mitat

Pituus l =		Leveys b =		Paksuus t =	
	115		115		6
	140		140		8
	165		165		10
	190		190		12
	215		215		15
	240		240		16
	265		265		18
	290				20
	315				25
	340				30
	365				35
	390				40



Liimatangot
Versio: 1.0

Liimapuupalkin tukipinnan
liimatankovahvistus

Liimatangot

Lujuus

Myötölujuuden ominaisarvo tai 0,2-rajan minimiarvo [N/mm ²]	
Lujuusluokka	f_y tai $f_{0,2}$
Harjatangot:	
B500(B/C1)	500
B600X(A/B/C)	600
B700A	700
Kierretangot:	
4.6	240
4.8	320
5.6	300
5.8	400
8.8	640
10.9	900
12.9	1080

Mitat

Liimatangon sisähalkaisija [mm]	
Koko	d
Harjatangot:	
6 mm	6
8 mm	8
10 mm	10
12 mm	12
16 mm	16
20 mm	20
25 mm	25
Kierretangot:	
M8	6,466
M10	8,16
M12	9,856
M14	11,546
M16	13,546
M18	14,933
M20	16,933
M22	18,933
M24	20,319
M27	23,319
M30	25,706
M33	28,706

Liimatangon osavarmuusluku:

$\gamma_M = 1,1$

Suomessa



Liimapuu
Versio: 1.0

Liimapuupalkin tukipinnan
liimatankovahvistus

Liimapuu

Lähteet: RIL 205-1-2017, Liimapuukäsikirja osa 2

Liimapuun materiaaliarvot

Liimapuun k_{mod} -kerroin				
Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka			
	Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen	
1	0,6	0,8	1,1	
2	0,6	0,8	1,1	
3	0,5	0,65	0,9	

Kuormakertoimet

Seuraamusluokat	
	K_{FI}
CC1	0,9
CC2	1,0
CC3	1,1

Liimapuun ominaislujuus [N/mm ²]					
Ominaisuus	Merkintä	Lujuusluokka			
		GL30c	GL30h	GL32c	GL32h
Taivutus	$f_{m,k}$	30	30	32	32
Veto	$f_{t,0,k}$	19,5	24	19,5	25,6
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	24,5	30	24,5	32
	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,5	2,5
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,5	3,5	3,5	3,5
	$f_{r,k}$	1,2	1,2	1,2	1,2

Liimapuun osavarmuusluku:

$\gamma_M = 1,25$

Suomessa

Liimapuun poikkileikkaus

Korkeus h =	270	1035	1800	Leveys b =	115
	315	1080	1845		140
	360	1125	1890		165
	405	1170	1935		190
	450	1215	1980		215
	495	1260	2025		240
	540	1305			265
	585	1350			
	630	1395			
	675	1440			
	720	1485			
	765	1530			
	810	1575			
	855	1620			
	900	1665			
	945	1710			
	990	1755			

Mastokehäpilarin kuormat ja mitoitus Finnwood 2.4 ohjelmalla

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy

Liimapuu-mastopilari

Samuel Hintsala

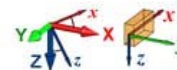
26.9.2022

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

Rakennemittoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



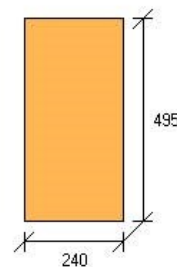
PROJEKTITIEDOT:

Suunnittelija: Samuel Hintsala
 Yritys: Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy
 Nimi: Liimapuu-mastopilari

Z:\...Mitoitus esimerkki-Liimapuu-mastopilari.s01

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Pilari
 Materiaali: GL30c
 Poikkileikkaus: 240x495
 (B=240 mm, H=495 mm, A=118800 mm², I_y=2425747500 mm⁴, W_y=9801000 mm³)
 Käyttöluokka: 1
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Kulma: 90.0 astetta
 Jako/kuormituslev.: 7000 mm (pintakuormille)



Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Pystymitta [mm]:
 Oikea uloke: 5000.0
 Yhteensä: 5000.0

Tuki: Sijainti x [mm]: Tyyppe:
 1: 0 Jäykkä tuki

f_{m,k} (M_y): 30.58 N/mm²
 f_{m,k} (M_z): 30.00 N/mm²
 f_{c,0,k}: 24.50 N/mm²
 f_{c,90,k}: 2.50 N/mm²
 f_{t,0,k}: 19.88 N/mm²
 f_{t,90,k}: 0.50 N/mm²
 f_{v,k} (V_z): 3.50 N/mm²
 f_{v,k} (V_y): 3.50 N/mm²
 E_{mean}: 13000 N/mm²
 G_{mean}: 650 N/mm²
 E_{0.05}: 10800 N/mm²

Finewood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri Jouni Sorvoja Oy

Liimapuu-mastopilari

Samuel Hintsala

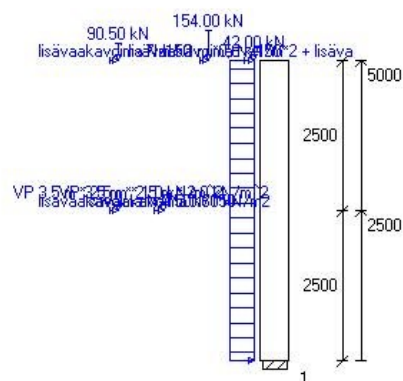
26.9.2022

G 0.05:	540 N/mm ²
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m ³ (omapainon laskentaa varten)
km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00

Osavarmuusluku:	1.25

Aikaluokka:	k _{mod} :
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100

k _{def} :	0.600



KUORMITUSTIEDOT:

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 90.50 kN	x = 5000.0 mm
Pistekuorma: 2:	FX = 0.61 kN	x = 5000.0 mm (lisävaakavoima N/150)
Pistekuorma: 3:	FZ = 8.75 kN	x = 2500.0 mm (VP 3,5 m * 2,5 m * 1,0 kN/m ²)
Pistekuorma: 4:	FX = 0.06 kN	x = 2500.0 mm (lisävaakavoima N/150)
Rakenneseosan paino:	QZ = 0.594 kN/m	x = 0 - 5000 mm

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)
 Insinööri-toimisto Jouni Sorvoja Oy
 Samuel Hintsala

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood
 Liimapuu-mastopilari
 26.9.2022

 Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 17.50 kN x = 2500.0 mm (VP 3,5 m * 2,5 m * 2,0 kN/m²)
 Pistekuorma: 2: FX = 0.12 kN x = 2500.0 mm (lisävaakavoima N/150)

 Lumikuorma (Lumikuorma Sk<2.75 kN/m², Keskipitkä):

Pistekuorma: 1: FZ = 154.00 kN x = 5000.0 mm
 Pistekuorma: 2: FX = 1.03 kN x = 5000.0 mm (lisävaakavoima N/150)

 Tuulikuorma (Tuulikuorma, Hetkellinen):

Pistekuorma: 1: FZ = 42.00 kN x = 5000.0 mm
 Pistekuorma: 2: FX = 8.68 kN x = 5000.0 mm (7 m * 2 m * 0,6 kN/m² + lisävaakavoima N/150)
 Pintakuorma: 1: Qz = 0.600 kN/m² x = 0 - 5000 mm

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

 Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)
 0.90*Omapaino

 Yhdistelmä 2 (MRT, Pysyvä)
 1.00*1.35*Omapaino

 Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)
 1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötykuorma

 Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)
 1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötykuorma + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma

 Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)
 1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Hyötykuorma + 1.00*1.50*Lumikuorma

 Yhdistelmä 6 (MRT, Hetkellinen)
 1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötykuorma + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma + 1.00*1.50*0.60*Tuulikuorma

 Yhdistelmä 7 (MRT, Hetkellinen)
 1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Hyötykuorma + 1.00*1.50*Lumikuorma + 1.00*1.50*0.60*Tuulikuorma

 Yhdistelmä 8 (MRT, Hetkellinen)
 1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Hyötykuorma + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma + 1.00*1.50*Tuulikuorma

 Yhdistelmä 9 (KRT)
 1.00*Omapaino

 Yhdistelmä 10 (KRT)
 1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma + 1.00*0.70*Lumikuorma

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy

Liimapuu-mastopilari

Samuel Hintsala

26.9.2022

Yhdistelmä 11 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Hyötykuorma + 1.00*Lumikuorma

Yhdistelmä 12 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Hyötykuorma + 1.00*0.70*Lumikuorma + 1.00*Tuulikuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017
 Kokonaiskäyttöaste: 85.8 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja $W_{net,fin}$: L/300
 Korotuserroin, vasen uloke: 2.00
 Korotuserroin, oikea uloke: 2.00
 Nurjahdus z-suuntaan: $L_c = 2.50 \cdot L$
 Nurjahdus y-suuntaan: $L_c = 1.00 \cdot L$
 Kiepahdus on estetty

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	46.49 kN	243.94 kN	19.1 %	0 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
Puristus:	366.93 kN	946.75 kN	38.8 %	0 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
Taivutus (My):	153.24 kNm	263.77 kNm	58.1 %	0 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
Taivutus+puristus:	0.86	1.00	85.8 %	0 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
(My=153.24 kNm, Mz=0.00 kNm, Nx=360.63 kN)					
Oikea uloke, $W_z,inst$:	25.3 mm	-- mm	-- %	5000 mm	Yhdistelmä 12/1
Oikea uloke, W_z,net,fin :	26.0 mm	33.3 mm	78.0 %	5000 mm	Yhdistelmä 12/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 8/1 (Hetskellinen):

1.15*Omapaino + 1.05*Hyötykuorma + 1.05*Lumikuorma + 1.50*Tuulikuorma

Yhdistelmä 5/1 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.05*Hyötykuorma + 1.50*Lumikuorma

Yhdistelmä 12/1 :

1.00*Omapaino + 0.70*Hyötykuorma + 0.70*Lumikuorma + 1.00*Tuulikuorma

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
$N_{x,max}$	404.73 kN	0 mm
$V_{z,max}$	46.49 kN	0 mm
$M_{y,max}$	153.24 kNm	0 mm

TUKIREAKTIOT:

FX:

Finwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy

Liimapuu-mastopilari

Samuel Hintsala

26.9.2022

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	-0.60 kN	-46.49 kN	-0.67 kN	-31.15 kN

FZ:				
Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	404.73 kN	92.00 kN	268.47 kN	102.22 kN

MY:				
Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	153.24 kNm	2.88 kNm	102.90 kNm	3.20 kNm

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino			
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:	MY [kNm]:	
1:	-0.67	102.22	3.20	

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma			
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:	MY [kNm]:	
1:	-0.12	17.50	0.29	

Kuormitustapaus:	Lumikuorma			
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:	MY [kNm]:	
1:	-1.03	154.00	5.15	

Kuormitustapaus:	Tuulikuorma			
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:	MY [kNm]:	
1:	-29.68	42.00	95.90	

HUOMIOT:

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
- *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
- Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
- Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajalimitoituksessa
- Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
- Rakenneosan koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
- Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)
Insinööri toimisto Jouni Sorvoja Oy
Samuel Hintsala

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood
Liimapuu-mastopilari
26.9.2022

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on pääarakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Liimaruuviliitoksen mitoitus Excel-laskentapohjalla



MITOITUS
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksen mitoitus

Liimaruuviryhmän mitoitus perustuu lausuntoon VTT-S-05701-14,
liimapuun mitoitus Eurokoodiin 5, ja teräsosien mitoitus Eurokoodiin 3.

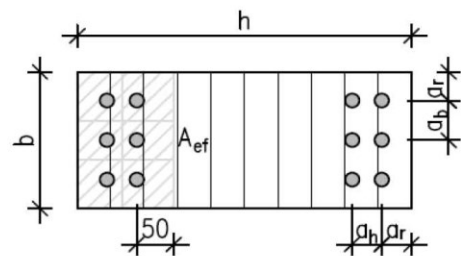
Projekti

Kohde:	1706492 Opinnäytetyö - Mitoitusesimerkki
Pilarin tunnus:	Mastokehäpilarin liimaruuviliitos - tuulikuorma alas
Mitoittaja:	Samuel Hintsala

Ohje

Syöttösolu:	Kirjoita
	Valikko
Lasketasolu:	Arvo
Tarkistusolu, väri:	VIRHE!
	Huom!
	OK!

Selitekuva



Lähtötiedot

Kosteusolosuhteet

Käyttöluokka:	1
---------------	---

Liimapuupilarin poikkileikkaus

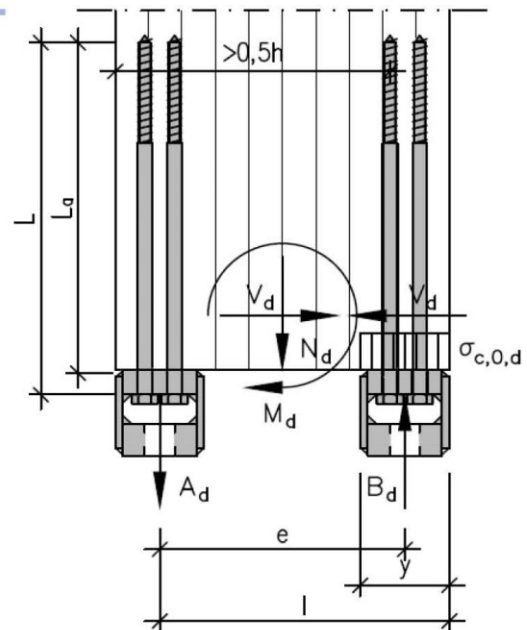
Lujuusluokka:	GL30c
Leveys:	b = 240 mm
Korkeus:	h = 495 mm
Tehollinen korkeus:	$h_{ef} = 495$ mm

Liimapuupilarikenkä (A-insinöörit mallikenkä)

Leveys:	240 mm
Liimaruuvireikien määrä:	10 kpl
Toisen kengän sisentäminen:	0 mm

Liimaruuvit

Lujuusluokka:	5.8
Liima:	Epoksi
Varren pituus:	L = 490 mm
Määrä/kenkä:	$n = (n_s) = 10$ kpl





MITOITUS
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Kuormat

Seuraamusluokka: CC2

Hyötykuorma Q_k

Aikaluokka: Keskipitkä

Yhdistelykerroin: $\psi_0 = 0,7$

Momentin M_k alkeisarvot

Omapainot: $M_{G,k} = 3,65$ kNm

Hyötykuorma: $M_{Q,i,k} = 0,29$ kNm

Lumi: $M_{Q,s,k} = 5,15$ kNm

Tuuli: $M_{Q,w,k} = 95,9$ kNm

Normaalivoiman N_k alkeisarvot

Omapainot: $N_{G,k} = 102,22$ kN

Hyötykuorma: $N_{Q,i,k} = 17,5$ kN

Lumi: $N_{Q,s,k} = 154$ kN

Tuuli: $N_{Q,w,k} = 42$ kN

Leikkausvoiman V_k alkeisarvot

Omapainot: $V_{G,k} = 0,67$ kN

Hyötykuorma: $V_{Q,i,k} = 0,12$ kN

Lumi: $V_{Q,s,k} = 1,03$ kN

Tuuli: $V_{Q,w,k} = 29,68$ kN

Tulokset

Mitoitus 1 - Puristus määrävänä rasituksena

Käyttöaste puristukselle: 86,8 % OK!

Käyttöaste vedolle: 49,9 % OK!

Käyttöaste leikkaukselle: 56,0 % OK!

Kokonaiskäyttöaste: 86,8 % OK!

Huom! Tukipinnan pituus ylittää pilarikengän leveyden.

Määrävä kuormitusyhdistelmä puristukselle:	KY25
Tuuli määrävä + Hyöty + Lumi	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen

Mitoitus 2 - Veto määrävänä rasituksena

Käyttöaste puristukselle: 75,7 % OK!

Käyttöaste vedolle: 70,1 % OK!

Käyttöaste leikkaukselle: 54,4 % OK!

Kokonaiskäyttöaste: 75,7 % OK!

Määrävä kuormitusyhdistelmä vedolle:	KY12
Tuuli määrävä, Omap. edullinen	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen

Mitoitus 3 - Leikkaus määrävänä rasituksena

Käyttöaste puristukselle: 86,8 % OK!

Käyttöaste vedolle: 49,9 % OK!

Käyttöaste leikkaukselle: 56,0 % OK!

Kokonaiskäyttöaste: 86,8 % OK!

Huom! Tukipinnan pituus ylittää pilarikengän leveyden.

Määrävä kuormitusyhdistelmä leikkaukselle:	KY25
Tuuli määrävä + Hyöty + Lumi	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen



MITOITUS
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Käyttöasteiden laskentatulokset kuormitusyhdistelmittäin

Kuormitus- yhdistelmä		Aikaluokka	Käyttöaste puristukselle	Kengän puristuspinnan käyttöaste	Käyttöaste vedolle	Käyttöaste leikkaukselle
KY1	Omap. epäedullinen	Pysyvä	14,2 %	29,1 %	-9,7 %	1,5 %
KY2	Omap. edullinen	Pysyvä	9,4 %	19,4 %	-6,5 %	1,0 %
KY3	Hyötyk. määräävä	K. tai P	10,7 %	22,4 %	-10,4 %	1,3 %
KY4	Hyötyk. määräävä, Omap. edullinen	K. tai P	8,8 %	18,3 %	-8,6 %	1,1 %
KY5	Hyötyk. määräävä + Lumi	Keskipitkä	22,9 %	47,7 %	-21,9 %	2,9 %
KY6	Hyötyk. määräävä + Lumi, Omap. edullinen		21,0 %	43,7 %	-20,1 %	2,6 %
KY7	Lumi määräävä		26,5 %	54,8 %	-24,8 %	3,3 %
KY8	Lumi määräävä, Omap. edullinen		24,5 %	50,7 %	-23,0 %	3,0 %
KY9	Lumi määräävä + Hyötyk.		27,7 %	57,4 %	-26,2 %	3,4 %
KY10	Lumi määräävä + Hyötyk., Omap. edullinen		25,7 %	53,4 %	-24,4 %	3,2 %
KY11	Tuuli määräävä		77,1 %	93,7 %	67,8 %	54,6 %
KY12	Tuuli määräävä, Omap. edullinen		75,7 %	90,8 %	70,1 %	54,4 %
KY13	Tuuli määräävä + Hyötyk.		78,0 %	95,7 %	65,9 %	54,7 %
KY14	Tuuli määräävä + Hyötyk., Omap. edullinen		76,5 %	92,7 %	68,2 %	54,5 %
KY15	Hyötyk. määräävä + Tuuli	Hetkellinen	50,1 %	64,4 %	33,8 %	33,3 %
KY16	Hyötyk. määräävä + Tuuli, Omap. edullinen		48,7 %	61,5 %	36,1 %	33,1 %
KY17	Hyötyk. määräävä + Lumi + Tuuli		59,0 %	82,8 %	19,0 %	34,6 %
KY18	Hyötyk. määräävä + Lumi + Tuuli, Omap. edullinen		57,6 %	79,9 %	21,3 %	34,4 %
KY19	Lumi määräävä + Tuuli		61,6 %	88,0 %	15,3 %	35,0 %
KY20	Lumi määräävä + Tuuli, Omap. edullinen		60,1 %	85,0 %	17,6 %	34,8 %
KY21	Lumi määräävä + Hyötyk. + Tuuli		62,4 %	89,9 %	13,4 %	35,1 %
KY22	Lumi määräävä + Hyötyk. + Tuuli, Omap. edullinen		61,0 %	87,0 %	15,7 %	34,9 %
KY23	Tuuli määräävä + Lumi		86,0 %	110,8 %	51,4 %	55,9 %
KY24	Tuuli määräävä + Lumi, Omap. edullinen		84,6 %	107,4 %	53,2 %	55,7 %
KY25	Tuuli määräävä + Hyötyk. + Lumi		86,8 %	113,0 %	49,9 %	56,0 %
KY26	Tuuli määräävä + Hyötyk. + Lumi, Omap. edullinen		85,4 %	109,6 %	51,7 %	55,8 %



Laskenta - Mitoitus 1

Mitoituskuormat

Määrävä rasitus (käyttöaste):	
Määrävä käyttöaste puristukselle:	KY25
Mitoittava kuormitusyhdistelmä:	
KY25	Tuuli määrävä + Hyöty + Lumi
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen

Mitoittavat rasitukset

Momentti:	$M_d =$	153,7595	kNm
Normaalivoima:	$N_d =$	360,628	kN
Leikkausvoima:	$V_d =$	46,498	kN

Mitoittavat liitosvoimat

Puristettu reuna:	$B_d =$	584,9	kN
Vedetty reuna:	$A_d =$	224,3	kN
Voimien väli:	$e =$	375	mm

$$B_d = \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2} \text{ ja } A_d = \frac{M_d}{e} - \frac{N_d}{2}, \text{ kun } y \leq 100 \text{ mm}$$

Jos $0,5 * h < y > 100 \text{ mm}$, niin

$$B_d = f_{c,0,d} * b * y \text{ ja } A_d = B_d - N_d$$

Laskenta- ja materiaaliarvot

Liimapuu

Muunnoskerroin:	$k_{mod} =$	1,1
Osavarmuusluku:	$\gamma_M =$	1,25

Pilarikengä

Ylälaipan pinta-ala	$A =$	24000	mm ²
---------------------	-------	-------	-----------------

Liimaruuvi

Osavarmuusluku:	$\gamma_{M,y} =$	1,1	
Reunaetäisyys (z):	$a_r =$	40	mm
Reunaetäisyys (y):	$a_r =$	40	mm
Keskiöetäisyys (z):	$a_b =$	40	mm
Keskiöetäisyys (y):	$a_h =$	40	mm

Liimapuupilarikengän vetokestävyys

Lopputilanteen vetokestävyys

Mitoitusarvo:	$N_{Rd} =$	575	kN
Mitoitusehto:	$KA =$	39,0 %	OK!

$$A_d \leq N_{Rd}$$

Vedetyin liimaruuviryhmän ulosvetokestävyys

Liimaruuvien myötökestävyys

Ominaisarvo:	$R_{y,k} =$	101,00	kN
Mitoitusarvo:	$R_{y,d} =$	91,8	kN

$$R_{y,d} = \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}}$$

Liimaruuvien tartuntakestävyys

Tartuntapituus:	$L_a =$	450	mm
Ominaisarvo:	$R_{a,k} =$	77,1	kN
Mitoitusarvo:	$R_{a,d} =$	67,9	kN

$$400 \text{ mm} \leq L_a \leq 490 \text{ mm}$$

$$R_{a,d} = k_{mod} * \frac{R_{a,k}}{\gamma_M}$$



LASKENTA - Mitoitus 1
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimaruuvien normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d} = 67,9$ kN

$$R_{ax,d} = \min \begin{cases} R_{y,d} \\ R_{a,d} \end{cases}$$

Liimaruuviryhmän normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d,tot} = 678,9$ kN

$$R_{ax,d,tot} = n_t * R_{ax,d}$$

Mitoitusehto: KA = 39,6 % OK!

$$1,2 * F_{t,d} = 1,2 * A_d \leq R_{ax,d,tot} \text{ (sitkeä murtotapa)}$$

Tartuntakestävyyden mitoitussehto

Mitoitusehto: KA = 49,9 % OK!

$$1,2 * F_{t,d} = 1,2 * A_d \leq n_t^{0,9} * R_{a,d} \text{ (sitkeä murtotapa)}$$

Puristetun liimaruuviryhmän leikkauskestävyys

Liimaruuvien leikkauskestävyys

Mitoitusarvo: $R_{v,d} = 8,3$ kN

Liimaruuviryhmän leikkauskestävyys

Mitoitusarvo: $R_{v,d,tot} = 83$ kN

$$R_{v,d,tot} = n * R_{v,d}$$

Mitoitusehto: KA = 56,0 % OK!

$$V_d \leq R_{v,d,tot}$$

Liimapuun vetokestävyys

Liimapuun vetolujuus

Ominaisarvo: $f_{t,0,k} = 19,5$ N/mm²

Mitoitusarvo: $f_{t,0,d} = 17,2$ N/mm²

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

Tehollinen vetovyöhyke

kun $a_r \leq 50$ mm, $a_h \leq 100$ mm ja $a_b \leq 100$ mm

Pinta-ala: $\Sigma A_{ef} = 29200$ mm²

$$\sum_{i=1}^{n_i} A_{ef,i} = b * (a_{r,h} + a_h + 50 \text{ mm}) - n * 200 \text{ mm}^2$$

Liimapuun vetokestävyys

Mitoitusarvo: $N_{t,d} = 501,1$ kN

$$N_{t,d} = f_{t,d} * \sum_{i=1}^{n_i} A_{ef,i}$$

Mitoitusehto: KA = 44,8 % OK!

$$F_{t,d} = A_d \leq N_{t,d}$$

Liimapuun puristuskestävyys

Liimapuun puristuslujuus

Ominaisarvo: $f_{c,0,k} = 24,5$ N/mm²

Mitoitusarvo: $f_{c,0,d} = 21,6$ N/mm²

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$



Liimapuun puristusjäännitys liimapuupilarikengän ylälaipan kosketuspinnalla

Mitoitusarvo: $\sigma_{c,0,d} = 24,4 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{c,0,d} = \frac{B_d}{A}$
 Mitoitusehto: $KA = 113,0 \%$ EI RIITÄ! $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Jos liimapuupilarikengän ylälaipan pinta-ala ei riitä liimapuun puristuslujuudelle, levitetään tukipinnan pituutta. Tällöin myös puristusvoima B_d liikkuu lähemmäs pilarin poikkileikkauksen keskipistettä, jolloin voimat A_d ja B_d lasketaan uudelleen.

Liimapuun tasaisen jäännitysikauman vaatima puristuspinnan pituus liimapuun puristuslujuudella

Voiman A_d etäisyys pu-
 ristetusta reunasta: $l = 435 \text{ mm}$ $l = h_{ef} - \frac{h_{ef} - e}{2}$
 Tukipinnan pituus: $y = 113,0 \text{ mm}$ $y = l * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_d + N_d * (2 * l - h_{ef})}{f_{c,0,d} * b * l^2}} \right)$

Puristusjäännityksen todellisen jäännitysikauman huippuarvo poikkileikkauksen reunassa

Mitoitusarvo: $\sigma_{r,c,0,d} = 18,7 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{r,c,0,d} = \sigma_c + \sigma_m = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N_d}{b * h} + \frac{M_d}{(b * h^2) / 6}$
 Mitoitusehto: $KA = 86,8 \%$ OK! $\sigma_{r,c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Liimaruuviliitoksen käyttöaste

Käyttöaste puristukselle:	86,8 %	OK!
Käyttöaste vedolle:	49,9 %	OK!
Käyttöaste leikkaukselle:	56,0 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	86,8 %	OK!

Huom! Tukipinnan pituus ylittää pilarikengän leveyden.

Liitosmomentin M _k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa		Ompainot		Hyötykuorma		Lumi		Tuuli		Mitoitusarvo			
Nimi	Nimike	Määrä	M _{G,k} [kNm]	V _G * K _{FI}	M _{Q,i,k} [kNm] +	V _Q * K _{FI}	ψ ₀ *	M _{Q,i,k} [kNm] +	V _Q *	K _{FI} *	ψ ₀ *	M _{Q,w,k} [kNm]	M _d [kNm]
KY1	Omap. ep	1,35	3,65	1									4,9
KY2	Omap. ed	0,9	3,65										3,3
KY3	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29					4,6
KY4	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29					3,7
KY5	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,7	5,15	10,0
KY6	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,7	5,15	9,1
KY7	Lumi mää	1,15	3,65	1		1,5	1	5,15	1,5	1			11,9
KY8	Lumi mää	0,9	3,65			1,5	1	5,15	1,5	1			11,0
KY9	Lumi mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	5,15	1,5	1			12,2
KY10	Lumi mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	5,15	1,5	1			11,3
KY11	Tuuli mää	1,15	3,65	1					1,5	1		95,9	148,0
KY12	Tuuli mää	0,9	3,65						1,5	1		95,9	147,1
KY13	Tuuli mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1		95,9	148,4
KY14	Tuuli mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1		95,9	147,4
KY15	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,6	95,9	90,9
KY16	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,6	95,9	90,0
KY17	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,7	5,15	96,4
KY18	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,7	5,15	95,4
KY19	Lumi mää	1,15	3,65	1		1,5	1	5,15	1,5	1	0,6	95,9	98,2
KY20	Lumi mää	0,9	3,65			1,5	1	5,15	1,5	1	0,6	95,9	97,3
KY21	Lumi mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,6	95,9	98,5
KY22	Lumi mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,6	95,9	97,6
KY23	Tuuli mää	1,15	3,65	1					1,5	1	0,7	5,15	153,5
KY24	Tuuli mää	0,9	3,65						1,5	1	0,7	5,15	152,5
KY25	Tuuli mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,7	5,15	153,8
KY26	Tuuli mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,29	1,5	1	0,7	5,15	152,8

Liitosvoiman N _k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa		Omapaino		Hyötykuorma		Lumi		Tuuli		Mitoitusarvo			
Nimi	Nimike	V _G *	K _{FI} *	N _{G,k} [Nm] +	V _Q *	K _{FI} *	ψ ₀ *	N _{Q,s,k} [Nm] +	V _Q *	K _{FI} *	ψ ₀ *	N _{Q,w,k} [Nm] =	N _d [kNm]
KY1	Omap. ep	1,35	1	102,22									138,0
KY2	Omap. ed	0,9		102,22									92,0
KY3	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	1	17,5					143,8
KY4	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	1	17,5					118,2
KY5	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	1	17,5	1,5	1	0,7	154	305,5
KY6	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	1	17,5	1,5	1	0,7	154	279,9
KY7	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	1	154	1,5	1	1	154	348,6
KY8	Lumi mää	0,9		102,22				154	1,5	1	1	154	323,0
KY9	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	1	154	1,5	1	1	154	366,9
KY10	Lumi mää	0,9		102,22	1,5	1	1	154	1,5	1	1	154	341,4
KY11	Tuuli mää	1,15	1	102,22					1,5	1	1	42	180,6
KY12	Tuuli mää	0,9		102,22					1,5	1	1	42	155,0
KY13	Tuuli mää	1,15	1	102,22	1,5	1	0,7	17,5	1,5	1	1	42	198,9
KY14	Tuuli mää	0,9		102,22	1,5	1	0,7	17,5	1,5	1	1	42	173,4
KY15	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	1	17,5	1,5	1	0,6	42	181,6
KY16	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	1	17,5	1,5	1	0,6	42	156,0
KY17	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	1	17,5	1,5	1	0,7	154	343,3
KY18	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	1	17,5	1,5	1	0,7	154	317,7
KY19	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	1	154	1,5	1	0,6	42	386,4
KY20	Lumi mää	0,9		102,22				154	1,5	1	0,6	42	360,8
KY21	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	0,7	17,5	1,5	1	0,6	42	404,7
KY22	Lumi mää	0,9		102,22	1,5	1	0,7	17,5	1,5	1	0,6	42	379,2
KY23	Tuuli mää	1,15	1	102,22	1,5	1	1	154	1,5	1	1	42	342,3
KY24	Tuuli mää	0,9		102,22				154	1,5	1	1	42	316,7
KY25	Tuuli mää	1,15	1	102,22	1,5	1	0,7	17,5	1,5	1	0,7	42	360,6
KY26	Tuuli mää	0,9		102,22	1,5	1	0,7	17,5	1,5	1	0,7	42	335,1

Liitosvoiman V_k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa		Ompaino		Hyötykuorma		Lumi		Tuuli		Mitoitusarvo			
Nimi	Nimike	V_G	K_{FI}	$V_{G,k}$ [Nm] +	V_Q	K_{FI}	ψ_0	$V_{Q,k}$ [Nm] +	V_Q	K_{FI}	ψ_0	$V_{Q,wk}$ [Nm] =	V_d [kNm]
KY1	Omap. ep	1,35	1	0,67									0,9
KY2	Omap. ed	0,9		0,67									0,6
KY3	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12						1,0
KY4	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12						0,8
KY5	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		2,0
KY6	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		1,9
KY7	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			2,3
KY8	Lumi mää	0,9		0,67				1,5	1	1,03			2,1
KY9	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			2,4
KY10	Lumi mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			2,3
KY11	Tuuli mää	1,15	1	0,67					1,5	1	29,68		45,3
KY12	Tuuli mää	0,9		0,67					1,5	1	29,68		45,1
KY13	Tuuli mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	29,68		45,4
KY14	Tuuli mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	29,68		45,2
KY15	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	0,6		27,7
KY16	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	0,6		27,5
KY17	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		28,7
KY18	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		28,6
KY19	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			29,0
KY20	Lumi mää	0,9		0,67				1,5	1	1,03			28,9
KY21	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			29,2
KY22	Lumi mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			29,0
KY23	Tuuli mää	1,15	1	0,67					1,5	1	29,68		46,4
KY24	Tuuli mää	0,9		0,67					1,5	1	29,68		46,2
KY25	Tuuli mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		46,5
KY26	Tuuli mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		46,3

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitoksen mitoitus

Liimaruuviryhmän mitoitus perustuu lausuntoon VTT-5-05701-14,
liimapuun mitoitus Eurokoodiin 5, ja teräsosien mitoitus Eurokoodiin 3.

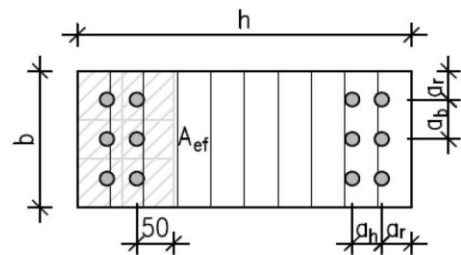
Projekti

Kohde:	1706492 Opinnäytetyö - Mitoitusesimerkki
Pilarin tunnus:	Mastokehäpilarin liimaruuviliitos - tuulikuorma ylös
Mitoittaja:	Samuel Hintsala

Ohje

Syöttösolu:	Kirjoita
Laskentasolu:	Valikko
Tarkistussolu, väri:	Arvo
	VIRHE!
	Huom!
	OK!

Selitekuva



Lähtötiedot

Kosteusolosuhteet

Käyttöluokka:	1
---------------	---

Liimapuupilarin poikkileikkaus

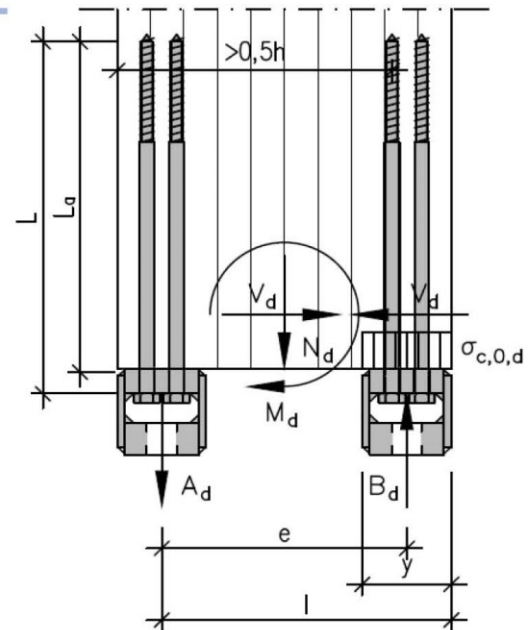
Lujuusluokka:	GL30c
Leveys:	b = 240 mm
Korkeus:	h = 495 mm
Tehollinen korkeus:	$h_{ef} = 495$ mm

Liimapuupilarikenkä (A-insinöörit mallikenkä)

Leveys:	240 mm
Liimaruuvireikien määrä:	10 kpl
Toisen kengän sisentäminen:	0 mm

Liimaruuvit

Lujuusluokka:	5.8
Liima:	Epoksi
Varren pituus:	L = 490 mm
Määrä/kenkä:	$n = (n_t) = 10$ kpl





MITOITUS
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Kuormat

Seuraamusluokka:	CC2
Hyötykuorma Q_k	
Aikaluokka:	Keskipitkä
Yhdistelykerroin:	$\psi_0 = 0,7$

Momentin M_k alkeisarvot

Omapainot:	$M_{G,k} = 3,65$ kNm
Hyötykuorma:	$M_{Q,i,k} = 0,29$ kNm
Lumi:	$M_{Q,s,k} = 5,15$ kNm
Tuuli:	$M_{Q,w,k} = 95,9$ kNm

Normaalivoiman N_k alkeisarvot

Omapainot:	$N_{G,k} = 102,22$ kN
Hyötykuorma:	$N_{Q,i,k} = 17,5$ kN
Lumi:	$N_{Q,s,k} = 154$ kN
Tuuli:	$N_{Q,w,k} = -42$ kN

Leikkausvoiman V_k alkeisarvot

Omapainot:	$V_{G,k} = 0,67$ kN
Hyötykuorma:	$V_{Q,i,k} = 0,12$ kN
Lumi:	$V_{Q,s,k} = 1,03$ kN
Tuuli:	$V_{Q,w,k} = 29,68$ kN

Tulokset

Mitoitus 1 - Puristus määrävänä rasituksena

Käyttöaste puristukselle:	81,9 %	OK!
Käyttöaste vedolle:	65,1 %	OK!
Käyttöaste leikkaukselle:	56,0 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	81,9 %	OK!

Huom! Tukipinnan pituus ylittää pilarikengän leveyden.

Määrävä kuormitusyhdistelmä puristukselle:	KY25
Tuuli määrävä + Hyöty + Lumi	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen

Mitoitus 2 - Veto määrävänä rasituksena

Käyttöaste puristukselle:	70,8 %	OK!
Käyttöaste vedolle:	84,1 %	OK!
Käyttöaste leikkaukselle:	54,4 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	84,1 %	OK!

Määrävä kuormitusyhdistelmä vedolle:	KY12
Tuuli määrävä, Omap. edullinen	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen

Mitoitus 3 - Leikkaus määrävänä rasituksena

Käyttöaste puristukselle:	81,9 %	OK!
Käyttöaste vedolle:	65,1 %	OK!
Käyttöaste leikkaukselle:	56,0 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	81,9 %	OK!

Huom! Tukipinnan pituus ylittää pilarikengän leveyden.

Määrävä kuormitusyhdistelmä leikkaukselle:	KY25
Tuuli määrävä + Hyöty + Lumi	
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen



Käyttöasteiden laskentatulokset kuormitusyhdistelmittäin

Kuormitus- yhdistelmä		Aikaluokka	Käyttöaste puristukselle	Kengän puristuspinnan käyttöaste	Käyttöaste vedolle	Käyttöaste leikkaukselle
KY1	Omap. epäedullinen	Pysyvä	14,2 %	29,1 %	-9,7 %	1,5 %
KY2	Omap. edullinen	Pysyvä	9,4 %	19,4 %	-6,5 %	1,0 %
KY3	Hyötyk. määräävä	K. tai P	10,7 %	22,4 %	-10,4 %	1,3 %
KY4	Hyötyk. määräävä, Omap. edullinen	K. tai P	8,8 %	18,3 %	-8,6 %	1,1 %
KY5	Hyötyk. määräävä + Lumi	Keskipitkä	22,9 %	47,7 %	-21,9 %	2,9 %
KY6	Hyötyk. määräävä + Lumi, Omap. edullinen		21,0 %	43,7 %	-20,1 %	2,6 %
KY7	Lumi määräävä		26,5 %	54,8 %	-24,8 %	3,3 %
KY8	Lumi määräävä, Omap. edullinen		24,5 %	50,7 %	-23,0 %	3,0 %
KY9	Lumi määräävä + Hyötyk.		27,7 %	57,4 %	-26,2 %	3,4 %
KY10	Lumi määräävä + Hyötyk., Omap. edullinen		25,7 %	53,4 %	-24,4 %	3,2 %
KY11	Tuuli määräävä		72,2 %	81,6 %	81,8 %	54,6 %
KY12	Tuuli määräävä, Omap. edullinen		70,8 %	78,6 %	84,1 %	54,4 %
KY13	Tuuli määräävä + Hyötyk.		73,1 %	83,5 %	79,9 %	54,7 %
KY14	Tuuli määräävä + Hyötyk., Omap. edullinen		71,6 %	80,6 %	82,2 %	54,5 %
KY15	Hyötyk. määräävä + Tuuli	Hetkellinen	47,2 %	57,1 %	42,2 %	33,3 %
KY16	Hyötyk. määräävä + Tuuli, Omap. edullinen		45,7 %	54,2 %	44,5 %	33,1 %
KY17	Hyötyk. määräävä + Lumi + Tuuli		56,0 %	75,5 %	27,4 %	34,6 %
KY18	Hyötyk. määräävä + Lumi + Tuuli, Omap. edullinen		54,6 %	72,6 %	29,7 %	34,4 %
KY19	Lumi määräävä + Tuuli		58,6 %	80,7 %	23,7 %	35,0 %
KY20	Lumi määräävä + Tuuli, Omap. edullinen		57,2 %	77,7 %	26,0 %	34,8 %
KY21	Lumi määräävä + Hyötyk. + Tuuli		59,5 %	82,6 %	21,9 %	35,1 %
KY22	Lumi määräävä + Hyötyk. + Tuuli, Omap. edullinen		58,1 %	79,6 %	24,2 %	34,9 %
KY23	Tuuli määräävä + Lumi		81,1 %	100,0 %	67,0 %	55,9 %
KY24	Tuuli määräävä + Lumi, Omap. edullinen		79,6 %	97,0 %	69,3 %	55,7 %
KY25	Tuuli määräävä + Hyötyk. + Lumi		81,9 %	101,9 %	65,1 %	56,0 %
KY26	Tuuli määräävä + Hyötyk. + Lumi, Omap. edullinen		80,5 %	99,0 %	67,4 %	55,8 %



Laskenta - Mitoitus 2

Mitoituskuormat

Määrävä raskus (käyttöaste):	
Määrävä käyttöaste vedolle:	KY12
Mitoittava kuormitusyhdistelmä:	
KY12	Tuuli määrävä, Omap. edullinen
Määrävä aikaluokka:	Hetkellinen

Mitoittavat rasitukset

Momentti:	$M_d = 147,135$ kNm
Normaalivoima:	$N_d = 28,998$ kN
Leikkausvoima:	$V_d = 45,123$ kN

Mitoittavat liitosvoimat

Puristettu reuna:	$B_d = 406,9$ kN
Vedetty reuna:	$A_d = 377,9$ kN
Voimien väli:	$e = 375$ mm

$$B_d = \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2} \text{ ja } A_d = \frac{M_d}{e} - \frac{N_d}{2}, \text{ kun } y \leq 100 \text{ mm}$$

Jos $0,5 * h < y > 100 \text{ mm}$, niin

$$B_d = f_{c,0,d} * b * y \text{ ja } A_d = B_d - N_d$$

Laskenta- ja materiaaliarvot

Liimapuu

Muunnoskerroin:	$k_{mod} = 1,1$
Osavarmuusluku:	$\gamma_M = 1,25$

Pilarikengä

Ylälaipan pinta-ala	$A = 24000$ mm ²
---------------------	-----------------------------

Liimaruuvi

Osavarmuusluku:	$\gamma_{M,y} = 1,1$
Reunaetäisyys (z):	$a_r = 40$ mm
Reunaetäisyys (y):	$a_r = 40$ mm
Keskiöetäisyys (z):	$a_b = 40$ mm
Keskiöetäisyys (y):	$a_h = 40$ mm

Liimapuupilarikengän vetokestävyys

Lopputilanteen vetokestävyys

Mitoitusarvo:	$N_{Rd} = 575$ kN	$A_d \leq N_{Rd}$
Mitoitusehto:	$KA = 65,7\%$ OK!	

Vedetyin liimaruuviryhmän ulosvetokestävyys

Liimaruuvien myötökestävyys

Ominaisarvo:	$R_{y,k} = 101,00$ kN	$R_{y,d} = \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}}$
Mitoitusarvo:	$R_{y,d} = 91,8$ kN	

Liimaruuvien tartuntakestävyys

Tartuntapituus:	$L_a = 450$ mm	$400 \text{ mm} \leq L_a \leq 490 \text{ mm}$
Ominaisarvo:	$R_{a,k} = 77,1$ kN	$R_{a,d} = k_{mod} * \frac{R_{a,k}}{\gamma_M}$
Mitoitusarvo:	$R_{a,d} = 67,9$ kN	



LASKENTA - Mitoitus 2
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimaruuvien normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d} = 67,9$ kN

$$R_{ax,d} = \min \begin{cases} R_{y,d} \\ R_{a,d} \end{cases}$$

Liimaruuviryhmän normaalivoimakestävyys

Mitoitusarvo: $R_{ax,d,tot} = 678,9$ kN

$$R_{ax,d,tot} = n_t * R_{ax,d}$$

Mitoitusehto: KA = 66,8 % OK!

$$1,2 * F_{t,d} = 1,2 * A_d \leq R_{ax,d,tot} \text{ (sitkeä murtotapa)}$$

Tartuntakestävyyden mitoitusehto

Mitoitusehto: KA = 84,1 % OK!

$$1,2 * F_{t,d} = 1,2 * A_d \leq n_t^{0,9} * R_{a,d} \text{ (sitkeä murtotapa)}$$

Puristetun liimaruuviryhmän leikkauskestävyys

Liimaruuvien leikkauskestävyys

Mitoitusarvo: $R_{v,d} = 8,3$ kN

Liimaruuviryhmän leikkauskestävyys

Mitoitusarvo: $R_{v,d,tot} = 83$ kN

$$R_{v,d,tot} = n * R_{v,d}$$

Mitoitusehto: KA = 54,4 % OK!

$$V_d \leq R_{v,d,tot}$$

Liimapuun vetokestävyys

Liimapuun vetolujuus

Ominaisarvo: $f_{t,0,k} = 19,5$ N/mm²

Mitoitusarvo: $f_{t,0,d} = 17,2$ N/mm²

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

Tehollinen vetovyöhyke

kun $a_r \leq 50$ mm, $a_h \leq 100$ mm ja $a_b \leq 100$ mm

Pinta-ala: $\Sigma A_{ef} = 29200$ mm²

$$\sum_{i=1}^{n_i} A_{ef,i} = b * (a_{r,h} + a_h + 50 \text{ mm}) - n * 200 \text{ mm}^2$$

Liimapuun vetokestävyys

Mitoitusarvo: $N_{t,d} = 501,1$ kN

$$N_{t,d} = f_{t,d} * \sum_{i=1}^{n_i} A_{ef,i}$$

Mitoitusehto: KA = 75,4 % OK!

$$F_{t,d} = A_d \leq N_{t,d}$$

Liimapuun puristuskestävyys

Liimapuun puristuslujuus

Ominaisarvo: $f_{c,0,k} = 24,5$ N/mm²

Mitoitusarvo: $f_{c,0,d} = 21,6$ N/mm²

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$



Liimapuun puristusjännitys liimapuupilarikengän ylälaipan kosketuspinnalla

Mitoitusarvo: $\sigma_{c,0,d} = 17,0 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{c,0,d} = \frac{B_d}{A}$
 Mitoitusehto: $KA = 78,6 \%$ OK! $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Jos liimapuupilarikengän ylälaipan pinta-ala ei riitä liimapuun puristuslujuudelle, levitetään tukipinnan pituutta. Tällöin myös puristusvoima B_d liikkuu lähemmäs pilarin poikkileikkauksen keskipistettä, jolloin voimat A_d ja B_d lasketaan uudelleen.

Liimapuun tasaisen jännitysikauman vaatima puristuspinnan pituus liimapuun puristuslujuudella

Voiman A_d etäisyys pu-
 ristetusta reunasta: $l = 435 \text{ mm}$ $l = h_{ef} - \frac{h_{ef} - e}{2}$
 Tukipinnan pituus: $y = 74,1 \text{ mm}$ $y = l * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_d + N_d * (2 * l - h_{ef})}{f_{c,0,d} * b * l^2}} \right)$

Puristusjännityksen todellisen jännitysikauman huippuarvo poikkileikkauksen reunassa

Mitoitusarvo: $\sigma_{r,c,0,d} = 15,3 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{r,c,0,d} = \sigma_c + \sigma_m = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N_d}{b * h} + \frac{M_d}{(b * h^2) / 6}$
 Mitoitusehto: $KA = 70,8 \%$ OK! $\sigma_{r,c,0,d} \leq f_{c,0,d}$

Liimaruuviliitoksen käyttöaste

Käyttöaste puristukselle:	70,8 %	OK!
Käyttöaste vedolle:	84,1 %	OK!
Käyttöaste leikkaukselle:	54,4 %	OK!
Kokonaiskäyttöaste:	84,1 %	OK!

Liitosmomentin M _k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa		Omapainot		Hyötykuorma		Lumi		Tuuli		Mitoitusarvo		
Nimi	Nimike	Määrä	M _{G,k} [kNm]	V _G * K _{FI}	M _{Q,i,k} [kNm] +	V _Q * K _{FI}	ψ ₀ *	M _{Q,i,k} [kNm] +	V _Q * K _{FI}	ψ ₀ *	M _{Q,w,k} [kNm]	M _d [kNm]
KY1	Omap. ep	1,35	3,65	1								4,9
KY2	Omap. ed	0,9	3,65									3,3
KY3	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1					4,6
KY4	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1					3,7
KY5	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	5,15	10,0
KY6	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	5,15	9,1
KY7	Lumi mää	1,15	3,65	1		1,5	1	5,15	1,5	1	5,15	11,9
KY8	Lumi mää	0,9	3,65					5,15	1,5	1	5,15	11,0
KY9	Lumi mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	5,15	1,5	1	5,15	12,2
KY10	Lumi mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	5,15	1,5	1	5,15	11,3
KY11	Tuuli mää	1,15	3,65	1					1,5	1	95,9	148,0
KY12	Tuuli mää	0,9	3,65						1,5	1	95,9	147,1
KY13	Tuuli mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	95,9	148,4
KY14	Tuuli mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	95,9	147,4
KY15	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1		1,5	1	95,9	90,9
KY16	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1		1,5	1	95,9	90,0
KY17	Hyötyk. n	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	95,9	96,4
KY18	Hyötyk. n	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	95,9	95,4
KY19	Lumi mää	1,15	3,65	1		1,5	1	5,15	1,5	1	95,9	98,2
KY20	Lumi mää	0,9	3,65					5,15	1,5	1	95,9	97,3
KY21	Lumi mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	5,15	1,5	1	95,9	98,5
KY22	Lumi mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	5,15	1,5	1	95,9	97,6
KY23	Tuuli mää	1,15	3,65	1					1,5	1	95,9	153,5
KY24	Tuuli mää	0,9	3,65						1,5	1	95,9	152,5
KY25	Tuuli mää	1,15	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	95,9	153,8
KY26	Tuuli mää	0,9	3,65	1	0,29	1,5	1	0,7	1,5	1	95,9	152,8

Liitosvoiman N _k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa		Omapaino		Hyötykuorma		Lumi		Tuuli		Mitoitusarvo			
Nimi	Nimike	V _G *	K _{FI} *	N _{G,k} [Nm] +	V _Q *	K _{FI} *	ψ ₀ *	N _{Q,s,k} [Nm] +	V _Q *	K _{FI} *	ψ ₀ *	N _{Q,w,k} [Nm] =	N _d [kNm]
KY1	Omap. ep	1,35	1	102,22									138,0
KY2	Omap. ed	0,9		102,22									92,0
KY3	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5						143,8
KY4	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	17,5						118,2
KY5	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	0,7	154		305,5
KY6	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	0,7	154		279,9
KY7	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	154	1,5	1	154			348,6
KY8	Lumi mää	0,9		102,22				1,5	1	154			323,0
KY9	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	154			366,9
KY10	Lumi mää	0,9		102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	154			341,4
KY11	Tuuli mää	1,15	1	102,22					1,5	1		-42	54,6
KY12	Tuuli mää	0,9		102,22					1,5	1		-42	29,0
KY13	Tuuli mää	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5		1,5	1		-42	72,9
KY14	Tuuli mää	0,9		102,22	1,5	1	17,5		1,5	1		-42	47,4
KY15	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5		1,5	1	0,6	-42	106,0
KY16	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	17,5		1,5	1	0,6	-42	80,4
KY17	Hyötyk. n	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	0,7	154		267,7
KY18	Hyötyk. n	0,9		102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	0,7	154		242,1
KY19	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	154	1,5	1	154			310,8
KY20	Lumi mää	0,9		102,22				1,5	1	154			285,2
KY21	Lumi mää	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	154			329,1
KY22	Lumi mää	0,9		102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	154			303,6
KY23	Tuuli mää	1,15	1	102,22					1,5	1		-42	216,3
KY24	Tuuli mää	0,9		102,22					1,5	1		-42	190,7
KY25	Tuuli mää	1,15	1	102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	0,7	154		234,6
KY26	Tuuli mää	0,9		102,22	1,5	1	17,5	1,5	1	0,7	154		209,1

Liitosvoiman V_k kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa		Ompaino		Hyötykuorma		Lumi		Tuuli		Mitoitusarvo			
Nimi	Nimike	V_G	K_{FI}	$V_{G,k}$ [Nm] +	V_Q	K_{FI}	ψ_0	$V_{Q,j,k}$ [Nm] +	V_Q	K_{FI}	ψ_0	$V_{Q,w,k}$ [Nm] =	V_d [kNm]
KY1	Omap. ep	1,35	1	0,67									0,9
KY2	Omap. ed	0,9		0,67									0,6
KY3	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12						1,0
KY4	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12						0,8
KY5	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		2,0
KY6	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		1,9
KY7	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,67	1,5	1	1,03			2,3
KY8	Lumi mää	0,9		0,67				1,5	1	1,03			2,1
KY9	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			2,4
KY10	Lumi mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			2,3
KY11	Tuuli mää	1,15	1	0,67					1,5	1	29,68		45,3
KY12	Tuuli mää	0,9		0,67					1,5	1	29,68		45,1
KY13	Tuuli mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	29,68		45,4
KY14	Tuuli mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	29,68		45,2
KY15	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	0,6		27,7
KY16	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12		1,5	1	0,6		27,5
KY17	Hyötyk. n	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		28,7
KY18	Hyötyk. n	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		28,6
KY19	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,67	1,5	1	1,03			29,0
KY20	Lumi mää	0,9		0,67				1,5	1	1,03			28,9
KY21	Lumi mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			29,2
KY22	Lumi mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	1,03			29,0
KY23	Tuuli mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,67	1,5	1	0,7	1,03		46,4
KY24	Tuuli mää	0,9		0,67				1,5	1	0,7	1,03		46,2
KY25	Tuuli mää	1,15	1	0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		46,5
KY26	Tuuli mää	0,9		0,67	1,5	1	0,12	1,5	1	0,7	1,03		46,3

LIIMAPUUPILARIKENKÄ (A-insinöörit Suunnittelu Oy)

Lähteet: A-insinöörit: Liimapuupilarikensä - Tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot, 5.2.2015,

A-insinöörit: Liimapuupilarikensä - Laskelmaselostus 5.2.2015

Kapasiteettitaulukot

Vetokapasiteetti asennustilanteessa $N_{Rd,0}$ [kN]				
Pilarikensä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikensä			
	10	8	6	4
265	250	250	250	
240	265	265	265	
215		280	280	
190		300	300	
165			320	280
140				270
115				260

Puristuskapasiteetti asennustilanteessa $N_{Rd,0}$ [kN]				
Pilarikensä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikensä			
	10	8	6	4
265	-290	-290	-290	
240	-300	-300	-300	
215		-320	-320	
190		-340	-340	
165			-350	-260
140				-240
115				-230

Vetokapasiteetti lopputilanteessa N_{Rd} [kN]				
Pilarikensä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikensä			
	10	8	6	4
265	575	475	375	
240	575	475	375	
215		475	375	
190		457	375	
165			375	260
140				260
115				260

Pilarikensä muodonmuutosparametri [N/mm]*10 ⁶				
Pilarikensä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikensä			
	10	8	6	4
265	1,3	1,15	0,95	
240	1,3	1015	0,95	
215		1,2	0,95	
190		1,6	1,25	
165			1,3	0,85
140				0,85
115				0,9

Liimaruuviryhmien maksimikapasiteetit pilarikensä

Liitoksessa käytetään oletusarvoisesti liimaruuveja, joiden pituus on kannan tyvestä kärkeen 490+10 mm.

Kaava, jonka mukaan liimaruuviryhmien maksimivetokapasiteetit on laskettu:

$$F_{t,d} = n_t^{0,9} * k_{mod} * \frac{(L_a/490 \text{ mm}) * 84 \text{ kN}}{\gamma_M}$$

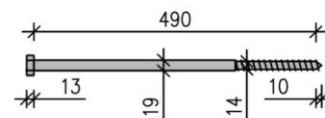
jossa

$n_t = 4, 6, 8$ tai 10 (liimaruuvien lukumäärä)

$k_{mod} = 1,1$ (suurin mahdollinen arvo)

$L_a = 445 \dots 460 \text{ mm}$ (490 mm – ylälaipan paksuus [mm])

$\gamma_M = 1,2$





Liimapuupilarikengä
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimaruuviryhmän maksimivetokapasiteetti [kN]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikengä			
	10	8	6	4
265	561,7	464,6	362,6	
240	561,7	464,6	362,6	
215		459,5	362,6	
190		454,4	358,6	
165			354,7	251,7
140				251,7
115				249

Liimapuupilarikengän ylälaipan paksuus [mm]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikengä			
	10	8	6	4
265	40	35	30	
240	40	35	30	
215		40	30	
190		45	35	
165			40	30
140				30
115				35

Liimaruuvien reuna- ja keskiöetäisyydet pilarikengittäin

Liimaruuvien reuna-, pääty- ja keskiöetäisyydet on esitetty alla olevissa taulukoissa liimapuun poikkileikkauksen z- ja y-suunnissa, kun pilarikengä on asennettu niin, että ylälaipan pituus on sama kuin liimapuun poikkileikkauksen leveys, ja pilarikengän uumalevyn ulkopinta on samassa linjassa pilarin liimapuun poikkileikkauksen päädyn ulkopinta.

Liimaruuvien reunaetäisyys $a_{r,b}$ z-suunnassa [mm]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikengä			
	10	8	6	4
265	52,5	57,5	62,5	
240	40	45	50	
215		40	47,5	
190		35	40	
165			42,5	50
140				40
115				37,5

Liimaruuvien reunaetäisyys $a_{r,h}$ y-suunnassa [mm]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikengä			
	10	8	6	4
265	40	40	40	
240	40	40	40	
215		40	40	
190		40	40	
165			40	40
140				40
115				40

Liimaruuvien keskiöetäisyys a_b z-suunnassa [mm]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikengä			
	10	8	6	4
265	40	50	70	
240	40	50	70	
215		45	60	
190		40	55	
165			40	65
140				60
115				40

Liimaruuvien keskiöetäisyys a_h y-suunnassa [mm]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä/pilarikengä			
	10	8	6	4
265	40	40	40	
240	40	40	40	
215		40	40	
190		40	40	
165			40	40
140				40
115				40



Liimaruuvit
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimaruuvi

Lähde: HalliPES 1.0 osa 14

Liimaruuvien mitat

Sileän osan halkaisija: $d = 19 \text{ mm}$
Kierteistetyn osan pituus: $L_k = 100 \dots 150 \text{ mm}$

Liimaruuvien kestävyys

Liimaruuvien myötökestävyys $R_{y,k}$ [kN]		
Lujuusluokka		
(EN 10025)	S235JRG2	62
(ISO EN 892-1)	5.8	101

Myötökestävyyden osavarmuusluku: $\gamma_{M,y} = 1,1$ Suomessa

Liimaruuvien tartuntakestävyys $R_{a,k}$ [kN]				
Lujuusluokka		Käyttöluokka		Tartuntapituus
		1	2	
(EN 10025)	S235JRG2	72	57,6	$*(L_d/490)$
(ISO EN 892-1)	5.8	84	67,2	$*(L_d/490)$

Liimaruuvien leikkauskestävyys $R_{v,d}$ [kN], kun ruuvien etäisyys liimapuun poikkileikkauksen leikkauskuorimitetusta reunasta on $\geq 0,5 \cdot h$, ja kun ruuvien keskiöetäisyydet $a_h \geq a_{h,s}$, mutta jos $a_h < a_{h,s}$, pienennetään taulukon arvot kertoimella $a_h / a_{h,s}$.				
Lujuusluokka		Aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
(EN 10025)	S235JRG2	5,2	6	7
(ISO EN 892-1)	5.8	6,1	7,1	8,3

Liimat

Käytettävät liimat: Polyuretaani Epoksi



Liimaruuvit
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimaruuvien reuna- ja keskiöetäisyydet

Liimaruuvien sallitut reuna- ja keskiöetäisyydet [mm]			
Keskiöetäisyys	Muut tapaukset	S235JRG2 ja hetkellinen aikaluokka	Liimapuun vetokestävyys $N_{t,d} \geq F_{t,d}$
$a_{b,s} \geq$	60	50	40
$a_{h,s} \geq$	75	65	40
Reunaetäisyys			
$a_r \geq$	35	35	35

Reuna- ja keskiöetäisyyksien ehdot täyttyvät A-insinöörien pilarikenkiä käyttäessä, kun kengän koko valitaan pilarin poikkileikkauksen leveyttä vastaavaksi, ja pilarikenkä sijoitetaan niin, että kengän uumalevyn ulkopinta ei ole ulompana kuin pilarin ulkopinta. Liimapuun vetokestävyys oletetaan täyttävän aina mitoitus ehdon.



Liimapuu
Versio: 1.0

Liimapuu-mastopilarin liimaruuviliitos

Liimapuu

Lähteet: RIL 205-1-2017, Liimapuukäsikirja osa 2

Liimapuun materiaaliarvot

Liimapuun k_{mod} -kerroin				
Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka			
	Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen	
1	0,6	0,8	1,1	
2	0,6	0,8	1,1	
3	0,5	0,65	0,9	

Kuormakertoimet

Seuraamusluokat	
	K_{FI}
CC1	0,9
CC2	1,0
CC3	1,1

Liimapuun ominaislujuus [N/mm^2]					
Ominaisuus	Merkintä	Lujuusluokka			
		GL30c	GL30h	GL32c	GL32h
Taivutus	$f_{m,k}$	30	30	32	32
Veto	$f_{t,0,k}$	19,5	24	19,5	25,6
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	24,5	30	24,5	32
	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,5	2,5
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,5	3,5	3,5	3,5
	$f_{r,k}$	1,2	1,2	1,2	1,2

Liimapuun osavarmuusluku:

$\gamma_M = 1,25$

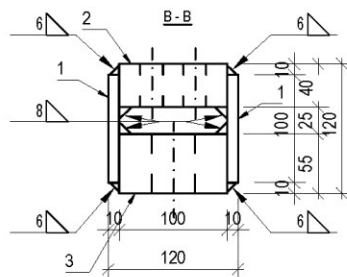
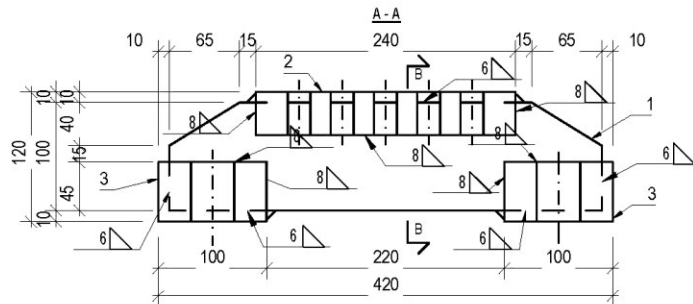
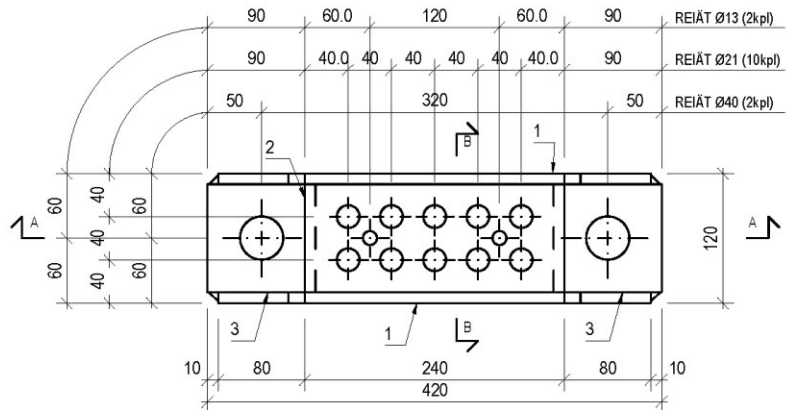
Suomessa

Liimapuun poikkileikkaus

Korkeus h =	270	Leveys b =	115
	315		140
	360		165
	405		190
	450		215
	495		240
	540		265
	585		
	630		
	675		
	720		
	765		
	810		
	855		
	900		
	945		
	990		

Liimaruuviliitoksen mitoituksessa valittu liimapuupilarikenkä

Suunnittelija Insinööritoimisto Jouni Sorvoja Oy <small>Puh. 040-8188201 Fax. 010 288 1822 www.jounisorvoja.fi</small>	Työn nro 1706492	240/10
	Päiväys 21.9.2022	
Rakennuskohde/Käyttökohde Opinnoytetyö Mitoitusesimerkki	Sisältö LIIMAPUUPILARIKENKÄ (A-insinöörit Suunnittelu Oy, 02/2015) Leveys 240 mm, 10 kpl liimaruuvireikiä 1:5	



MATERIAALILISTAUS:					
Tunnus	Koko	Teräslaatu	Kpl	Pituus	Paino
1	PL10x100	S355J2+N	2	400	5.87 kg
2	PL40x100	S355J2+N	1	240	7.54 kg
3	PL55x100	S355J2+N	2	100	8.64 kg
				Yht.	22.04 kg

YLEISTIEDOT:

TERÄS: - S 355J2+N, EN 10025-2

HITSAUS: - EXC2, EN 1090-2

- Hitsiluokka C, EN ISO 5817

- YHTENÄINEN HITSAUSOMA OSAN YMPÄRI

TOLERANSSIT:

- PYSTYSUORUUS 1/100

- MUUTOIN EXC2, EN 1090-2

MAALAUUS: