



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

LIIMAPUUN TYYPILLISET RAKENNEJÄRJESTELMÄT

Misa Tammela

Konetekniikka
Kandidaatintyö
Tammikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Liimapuun tyypilliset rakennejärjestelmät

Misa Tammela

Oulun yliopisto, konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 22 s. + 1 liite

Työn ohjaaja(t) yliopistolla:

Matti Kangaspuoskari ja Hannu Lahtinen

Kandidaatintyön tarkoituksena oli tutustua kirjallisuuden avulla liimapuun käyttöön rakentamisessa. Kandidaatintyön tutkimusmenetelmä on empiirinen. Työssä kerätään ja analysoidaan alan kirjallisuuden havaintoja ja aineistoja kuten suunnittelua ohjaavia standardeja, erilaisia artikkeleita ja teoksia. Työssä pyritään selvittämään liimapuun ominaisuuksia ja soveltuvuuksia erilaisiin käyttökohteisiin sekä perehdytään liimapuutuotteille asetettuihin suunnitteluvaatimuksiin ja -edellytyksiin.

Aiheesta löytyy kattavasti luotettavaa tietoa ja työssä havaitaan, että liimapuu soveltuu kantavaksi rakenteeksi erityisesti rakenteissa, joissa on suuret jännevälit. Lisäksi työssä selviää, kuinka monimuotoisia käyttökohteita liimapuulla on rakentamisessa ja miksi liimapuu on hyvä vaihtoehto teräs- ja betonirakenteiden ohella.

Asiasanat: liimapuu, puurakentaminen, kantavat puurakenteet

ABSTRACT

Typical structural systems of glued laminated timber

Misa Tammela

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2023, 22 pp. + 1 Appendixes

Supervisor(s) at the university:

Matti Kangaspuoskari and Hannu Lahtinen

The purpose of the bachelor's thesis was to get to know the use of glued laminated timber (glulam) in construction based on previous literature. The research method of the thesis is empirical. The work collects and analyzes observations and materials from the field's literature, such as design standards, various articles and works. The work aims to find out the properties and applicability of glulam for various applications and familiarize with the design requirements and conditions set for glulam products.

There is extensive reliable information about the subject. The work shows that glulam is suitable for a load-bearing structure, especially in structures with large spans. In addition, the work will reveal how diverse applications glulam has in construction and why glulam is a good alternative to steel and concrete structures.

Keywords: glued laminated timber, glulam, bearing wooden structures

ALKUSANAT

Työn tarkoituksena on tutkia liimapuun käyttömahdollisuuksia kantavina rakenteina. Työ ajoittui usean vuoden ajalle, ja tiedonhankintaa suoritettiin laajasti vuosien varrella. Haluan kiittää kandityön ohjaajiani, Matti Kangaspuoskaria ja Hannu Lahtista, työn tarkastamisesta ja ohjaamisesta, sekä erityisesti kärsivällisyydestä työn pitkäjänteisyyden vuoksi. Lisäksi suuret kiitokset kuuluu puolisololleni jatkuvasta kannustamisesta ja ponnisteluista työn etenemiseksi.

Oulu, 17.01.2023

Misa Tammela
Misa Tammela

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTARCT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto	7
2 Yleistä liimapuusta	8
2.1 Historia	9
2.2 Valmistus	10
2.3 Yleiset ominaisuudet	10
2.3.1 Tekniset ominaisuudet	11
2.3.2 Liimauksen edellytykset	11
2.3.3 Palotekniset ominaisuudet	12
2.4 Liimapuun vahvistaminen	13
3 Liimapuutuotteiden vaatimukset	14
3.1 Suunnitteluperusteet	15
3.2 Liimapuiden mitoitus	15
4 Liimapuun rakennejärjestelmät	17
4.1 Pilari-palkki järjestelmät	17
4.2 Kaarevat liimapuukannatteet	18
4.3 Ristikot	19
4.4 Nivelrakenteet	19
4.5 Liimapuuelementit	19
4.6 Hybridirakenteet	20
4.7 Muita käyttökohteita liimapuulle	21
5 Yhteenvedo	22

LÄHDELUETTELO

LIITTEET:

Liite 1. Liimpuurakennejärjestelmiä

MERKINNÄT JA LYHENTEET

PRF	fenoli-resorsinoli-formaldehydiliima
MUF	melamiini-urea-formaldehydiliima
PUR	polyuretaaniliima
EPI	emulsiopolymeeri-isosyanaattiliima

1 JOHDANTO

Kandidaatintutkielman aiheena on liimapuu ja sen erilaiset rakennejärjestelmät. Tutkimuksen lähtökohtana on esitellä liimapuuta materiaalina, tutustua sen historiaan, valmistukseen sekä yleisiin ominaisuuksiin. Työssä käydään lisäksi läpi liimapuutuotteiden vaatimuksia. Rakennejärjestelmien osalta keskitytään kantaviin rakenteisiin, kuten pilari-palkkijärjestelmiin ja niiden käyttömahdollisuuksiin. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää liimapuun erilaisia käyttömahdollisuuksia Suomessa, erityisesti kantavana rakenteena. Tutkielma on kirjallisuuskatsaus, jossa ei keskitytä lujuusopin laskennallisiin näkökulmiin, mutta perehdytään liimapuun fysikaalisiin ominaisuuksiin ja mitoitukseen.

Liimapuuta on käytetty Suomessa etenkin hallirakenteissa sekä liikuntahalleissa, missä rakennusten jännevälit ovat pitkiä ja puu sopii keveydellään niiden rakennusmateriaaliksi. Puurakentamista on alettu toteuttaa myös kerrostalojen rakentamisessa 1990-luvulta lähtien, kun päivittyneet paloturvallisuusmääräykset mahdollistivat jopa yli 8 kerroksisten puurakennusten valmistamisen.

Kestävässä metsätaloudessa, jota Pohjoismaissa harjoitetaan, metsästä otettavan raaka-aineen määrä ei tule ylittää sen kasvua. Raaka-aineena puu uudistuu jatkuvasti, ja se palautuu kiertokulkuun ilman, että se tuottaa haitallisia kasvihuonekaasuja. (Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy, 2015, s. 10)

Työn tutkimusaineisto koostuu aihetta käsittelevistä kirjoista ja artikkeleista. Suomessa etenkin on paljon tutkittua tietoa ja kokemusta liimapuun käyttämisestä rakentamisessa.

2 YLEISTÄ LIIMAPUUSTA

Puu on yksi vanhimmista tunnetuista rakennusmateriaaleista sekä sitä voidaan pitää ainoana luonnollisesti uusitavana rakennusmateriaalina. Puuta on myös historian saatossa käytetty koneiden, rakennusten, siltojen sekä sähkölinjojen rakenteena. Puulla on useita hyviä ominaisuuksia, kuten keveys, muokattavuus ja uudelleenkäytettävyys. Nykyään modernin tekniikan avulla voidaan puusta valmistaa esimerkiksi vaneria, lastulevyjä, paneelituotteita ja laminointiprosessien avulla liimapuuta. (Issa & Kmeid, 2005)

Liimapuun ensisijaisina käyttökohteina ovat kantavat rakenteet sekä erityisesti kohteet, joissa pyritään suuriin vapaisiin jänneväleihin (Luoto, 1984, s. 12). Liimapuuta käytetään yleisesti myös sahatavaran korvikkeena, kun suurempaa sahatavaraa ei ole saatavilla, tai kuormituksien ollessa suuria. Liimapuun lujuus ominaisuudet ovat yleensä parempia kuin sahatavaralla (Issa & Kmeid, 2005). Teräs- ja teräsbetonirakenteille liimapuuta on suuri kilpailija. Yhtenäisten liimapurakenteiden pituutta ja kokoa rajoittavat kuitenkin tuotantolinjojen koko ja kuljetusmahdollisuudet (Luoto, 1984, s. 12).

Liimapuuksi kutsutaan rakennusosaa, jossa on vähintään neljä puulamellia yhteen liitettyinä liimalla (Carling, 2003, s. 13). Lamellien paksuus vaihtelee kuuden ja 45 millimetrin välillä sekä puussa olevien syiden tulee olla rakennusosan pituussuunnassa (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 10). Liimapuun vahvuutena on lamellivaikutuksen avulla syntyvä tasalaatuisuus, muodonmuutosten vähyys ja mittatarkkuus. Yksittäiseen sahatavaraan verrattuna liimapuuelementillä on parempi keskimääräinen lujuus ja pienempi hajonta lujuusominaisuuksien suhteen (Carling, 2003, s. 13).

2.1 Historia

Liimapuu on kehitetty Saksassa 1900-luvun vaihteessa Otto Hetzerin (1846–1911) toimesta. Hetzer huomasi, että puuta voidaan liimata suuriksi poikkileikkauksiksi, jolloin pystyttiin saavuttamaan suuria jännevälejä rakenteissa. Hetzer patentoi menetelmänsä valmistaa liimapuuta ja sen käyttöä vuonna 1906. Liimapuuta alussa pidettiin vain keinona muodostaa pitempiä rakenteita ja erilaisia muotoja tai poikkileikkauksia. Hetzer alkoi tutkia liimapuun mahdollisuuksia tarkemmin, ja huomasi, että lamellien lajitteleminen ja yhteen liimaaminen tasoitti puun vikoja ja paransi näin rakennusosien laatua ja kestävyyttä. Hän myös selvitti erilaisten rasiestien avulla eri puulajien soveltuvuuden liimapuun lamelleiksi. Testien ansiosta selvitettiin, että liimapuut kestivät suurempia jännityksiä kuin tavallinen sahatavara. (Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy, 2014, s. 8)

Saksassa kehitelty liimapuu levisi Pohjoismaiden käyttöön, kun norjalainen Guttorm Brekke (1885–1980) osti Hetzerin patentin käyttöoikeudet. Brekken ostaman patentin käyttöoikeuksien avulla Norjaan perustettiin vuonna 1918 ensimmäinen yritys, joka valmisti liimapuuta. Samaisen yrityksen tytäryhtiö perusti vuonna 1919 Ruotsiin oman liimapuuta valmistavan tehtaansa. Ruotsissa liimapuuta alettiin käyttämään rautateiden suurten asemahallien kantavina rakenteina, joissa jännevälit olivat suuria. Suomessa liimapuuta alettiin hyödyntää vuonna 1945, kun laivarunkoja valmistava yritys Laivateollisuus Oy alkoi valmistaa liimapuisia laivarunkoja. Rakennusteollisuuden osalta liimapuuta on Suomessa käytetty vuodesta 1956 saakka. Nykyään liimapuu on teräksen ja betonin ohella merkittävä materiaali pitkien jänneväliden kantavissa rakenteissa ja sitä valmistetaan noin 300 000 kuutiometriä vuodessa. (Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy, 2014, s. 11–14)

2.2 Valmistus

Valmistuksessa liimapuulla raaka-aineena on lujuusluokiteltua puutavaraa, mikä yleisimmin pohjoismaissa on kuusta. Poikkeuksena on rakenteet, joissa pitkäaikainen kosteus on rasitteena ja käytössä siten myös painekyllästetty mäntyä. Raaka-aineena toimiva puutavara täytyy kuivata ja lujuusluokitella ennen sen jatkojalostamista. Liimaukseen tulevan lamellipuutavaran kosteus tulee olla noin 8–15 prosenttia. Yhteenliitettävien lamellien keskinäinen kosteus ei kuitenkaan saa poiketa toisistaan kuin korkeintaan neljä prosenttia. Tällä varmistetaan liimasauman lujuus ja ehkäistään mahdollisten halkeamisten syntyminen. (Carling, 2003, s. 12)

Liimapuu valmistetaan yhdistämällä sahatavaraa sormijatkoksella lamelleiksi, jonka jälkeen lamellit katkaistaan haluttuun mittaan ja pinotaan päällekkäin. Lamellien sydänlape asetetaan pinotessa samaan suuntaan koko poikkileikkauksessa, jotta sisäiset jännitykset lamelleissa vähenisi. Sydänlapeella tarkoitetaan puun ytimestä otettua sahatavaraa. Liiman levittämisen jälkeen lamellipaketit puristetaan yhteen liimauspuristinten avulla. Mikäli rakenteeseen halutaan kaarevaa muotoa, lamelleja taivuttaa samanaikaisesti puristuksen kanssa. Liiman annetaan kovettua, minkä jälkeen liimapuu työstetään lopulliseen muotoonsa. (Carling, 2003, s. 12)

2.3 Yleiset ominaisuudet

Puu on anisotrooppinen aine, jonka lujuusominaisuudet perustuvat puurakenteen syiden ja kuormituksen suunnan suhteesta. Anisotropiasta johtuen puulle voi kohdistua suuriakin jännityshuippuja, joita liimapuurakenteiden suunnittelussa tulee huomioida. Puun muodonmuutokset johtuvat kuormitusten aiheuttamien jännitysten lisäksi lämpötilasta, kuormitusajasta ja kosteudesta. Puulla esiintyvä viskoelastisuus näkyy yleensä puun virumisena, jännityksen, kosteuden ja kuormitusajan vaikuttaessa puun muodonmuutoksen syntymiseen. Erilaisten kuormitusten jälkeen osa viskoelastisesta venymästä jää puuhun pysyväksi, ja osa palautuu ennalleen. (Luoto, 1984, s. 33)

Liimapuun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat erittäin hyvät omaan painoonsa nähden, ja sen vuoksi siitä voidaan tehdä hyvin massiivisia rakenteita. Liimapuun tekniset ominaisuudet mahdollistavat myös rakenteet, joiden jänneväli ylittää 150 metriä. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 3)

SFS-EN 14080 standardissa vaaditaan, että liimapuiden lujuus-, jäykkyys- ja tiheysominaisuudet on todennettava. Ominaisuudet voidaan todentaa eri menetelmiä käyttäen. Todentaminen perustuen lamellien asetteluun ja ominaisuuksiin tarkoittaa lamellien lujuuslajittelun tarkastelua, lujuuslajittelun mukaista asettelua sekä sormijatkosten liimauslujuuden tarkastelua. Todentaminen perustuen laskennalliseen liimapuun ominaisuuksien määrittämiseen tapahtuu standardissa SFS-EN 14080 on esitetyillä yhtälöillä. Täyden mittakaavan testaus on myös yksi keino todentaa ominaisuudet. Testauksissa liimapuulle määritetään ominaisarvot testauksissa saamien tuloksien perusteella. (SFS-EN 14080 s. 21–26.)

2.3.1 Tekniset ominaisuudet

Liimapuun tärkeimpiin tekniisiin ominaisuuksiin kuuluvat jäykkyys, lujuus ja kestävyys. Tavallisesti liimapuun lujuuden määrittää sen heikoin poikkileikkaus, mikä sijaitsee useasti oksan, sormijatkoksen tai syyhäiriön kohdalla. Syyhäiriöt on voimakkaasti eri suuntiin kulkevia syitä, jotka johtuvat puun kasvuhäiriöistä. (Puuinfo 2020.) Liimapuu on jäykempää, lujempaa ja kestävämpää kuin yksittäinen sahatavara, mikä johtuu niin kutsutusta laminoitivaikutuksesta. Koska liimapuu koostuu useista lamelleista, on hyvin epätodennäköistä, että poikkileikkauksen kaikkien lamellien heikoin kohta asettuu saamaan paikkaan. Tätä kutsutaan laminoitivaikutukseksi. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 22)

2.3.2 Liimauksen edellytykset

Liimapuussa käytettävien liimojen vaatimukset annetaan standardissa SFS-EN 14080 sekä viitestandardeissa SFS-EN 301 ja SFS-EN 302 (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 21). Liimasaumojen lujuus todennetaan delaminoitipituus- tai

leikkauslujuustestillä. Delamino intipituustestillä selvitetään liimasauman eheyttä, ja leikkauslujuustestillä lasketaan saumojen leikkauslujuus sekä puustamurtumisprosentti, joiden tulee täyttää standardissa SFS-EN 14080 määräämät arvot (SFS-EN 14080, s. 35).

Liimoilla on saatava aikaan sellainen lujuus ja säilyvyys, että sauma pysyy rikkoutumattomana koko rakenteen suunnitellun eliniän. Käytettävien liimojen vaatimukset määritellään euronormissa SFS-EN 301, joka pitää sisällään liimatyypit I ja II. Liimatyypit I soveltuu kaikkiin kosteusluokkiin, kun taas liimatyypin II käyttö rajoittuu kosteusluokkiin 1–2. (Carling, 2003, s. 15)

Liimapuun valmistuksessa on käytetty liimatyypin I kuuluvia PRF-, MUF-, PUR- ja EPI-tyyppisiä liimoja. PRF-liimaa on aiemmin ollut valmistuksessa pääasiallisesti käytettävä liima, mutta MUF-liima on nykyisin suosituimpi. Sitä käytetään erityisesti liimapuun sormijatkamiseen. PUR- ja EPI-liimoja käytetään sormijatkoksiin ja lamellien liimaukseen, mutta ne eivät sovellu kokonaisten poikkileikkausten jatkamiseen tai kokoamiseen. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 21)

Liimapuuelementtien liimatyypit käy ilmi merkinnästä, mikä elementin valmistajan tulee esittää tuotteen pakkauksessa. Merkinnästä näkee, millaisesta liimatyypistä on kyse. Kaikkien tuotannossa käytettävien liimojen tulee olla hyväksytyjen liimojen listalla. Liimojen ympäristöystävällisyyttä, kestävyyttä ja lujuutta kehitetään jatkuvasti, jotta puurakentaminen pysyy kilpailukykyisenä ja kannattavana vaihtoehtona teräksen ja betonin rinnalla. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 19–20)

2.3.3 Palotekniset ominaisuudet

Liimapuun palotekniset ominaisuudet perustuvat sen massiivisuuteen. Poikkileikkauksen kasvaessa liimapuulla on parempi kestävyys palon aikana, ja se hiiltyy tasaisesti paloaikaan nähden. Tulipalossa syntynyt hiilikerros suojaa palamatonta puuta ja näin hidastaa hiiltymistä. (Luoto 1984, s. 40)

Nurkkien ja halkeamien kohdalla hiiltymisen liimapuussa palon aikana ulottuu usein syvemmälle kuin normaalisti. Myös ruuvit, pultit, vaarnat ja muut metalliset liitososat

voivat edistää lämmön johtumista poikkileikkauksen sisäosiin. Liitoksien kohdalla voidaan lämmönjohtavuuden estämiseksi tarvittaessa käyttää lisäsuojausta, kuten esimerkiksi verhouseslevyjä. Kipsilevyistä valmistettuja verhouseslevyjä voidaan kiinnittää liitoksien ulkopuolelle. Myös piilokiinnitys on hyvä keino lisätä paloturvallisuutta, jolloin liitoksen teräslevyt ovat liimapuusiin upotettuina ja suojaverhoiltuina. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 70)

Käytettävien liimasaumojen ei tulisi aiheuttaa paloturvallisuusriskiä. Mikäli käytetyt liimat ovat hyväksytyjä liimatyyppejä, ne eivät johda ongelmiin palon kestävydessä. Vääränlaiset liimatyypit puolestaan voivat menettää lujuutensa, aiheuttaa lisääntyvää hiiltymistä ja kantokyvyn heikkenemistä palon aikana. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 70)

2.4 Liimapuun vahvistaminen

Puutuotteita on vahvistettu useilla tekniikoilla viime vuosikymmenien aikana. Vahvistukseen on käytetty teräs- ja alumiinilevyjä sekä esijännitettyjä levyjä, terästankoja sekä kuituvahvisteisia polymeerejä. Yashida Nadinin, Praveen Nagarajanin, Mohammed Ameenin ja Muhammed Arifin (2016) mukaan liimapuuta voidaan vahvistaa sekä puun teknisiä ominaisuuksia parantaa hiilikuitu- tai lasikuituvahvisteisillä komposiittilevyillä. Ivan Glišović, Marko Pavlović, Boško Stevanović ja Marija Todorović (2017) osoittavat, että komposiittilevyjen ominaisuudet parantavat liimapuun vetolujuutta, jäykkyyttä sekä kuormituskestävyyttä. Vahvistuksen avulla voidaan myös parantaa liimapuun sitkeyttä (Glišović ym., 2017). Komposiittilevyjen käyttämisen etuna on parempi korroosionkestävyys suhteessa teräsvahvisteisiin liimapuihin. Lisäksi teräsvahvisteet tulee huomioida paloturvallisuuden vuoksi, sillä niillä on korkea lämmönjohtamiskyky. Teräs on myös vahvisteena painavampi, jolloin puurakenteelle ominainen keveys kärsii (Yang ym., 2016).

3 LIIMAPUUTUOTTEIDEN VAATIMUKSET

Tuotestandardi SFS-EN 14080 on liimapuun harmonisoitu standardi, josta ilmenee tarkasti ne ominaisuudet, mitkä valmistajan tulee ilmoittaa tuotteesta. Kyseinen standardi kuvaa valmiille tuotteille asetettuja vaatimuksia. Niiden tarkoituksena on varmistaa, että tuotteiden ominaisuudet vastaavat valmistajan tekemää suoritustasoilmoitusta (SFS-EN 14080, 2013). Liimapuun valmistustoleranssit, eli tuotteen sallitut mittapoikkeamat, ovat samaa suuruusluokkaa kuin vastaavien valssattujen teräsprofiilien tai betonielementtipalkkien toleranssit. Toleranssit on esitelty tuotestandardissa SFS-EN 14080 (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 14–22).

Standardissa EN 14080 määritellään liimapuiden yleisimmät lujuusluokat, ja esitellään näiden ominaisuuksia. Valmistaja voi kuitenkin määritellä oman lujuusluokan, mikäli standardin mukaisten lujuusluokkien ominaisuudet halutaan optimoida käyttökohteelle suotuisaksi. Standardissa on eritelty erikseen ominaisuudet homogeeniselle ja yhdistetylle liimapuulle. (Suomen liimapuuyhdistys ry. and Puuinfo Oy, 2015, s. 17)

CE-merkintä on luotu Euroopan sisämarkkinoille parantamaan tuotteiden liikkumista. Merkinnän avulla tuotteen valmistaja ilmoittaa tuotteiden ominaisuuksista. CE-merkintää täytyy hakea tuotteille, ja mahdollisesti tuotteet testataan tapauskohtaisesti. Rakennustuotteiden osalta CE-merkintä ei kuitenkaan takaa suoraan Euroopan Unionin asettamien määräysten täyttymistä. Näiden tuotteiden osalta käyttäjät ovat vastuussa tuotteen vaatimusten täyttymisen tarkastuksesta suunnitellussa käyttökohteessa. (Suomen standardisoimisliitto SFS.)

Liimapuiden CE-merkintä ja valmistajan suoritustasoilmoitus tehdään standardia SFS-EN 14080 noudattaen. CE-merkinnän tarkoituksena on tuotteiden vapaa liikkuvuus EU:n alueella, mikä mahdollistaa tuotteiden vertailun eri ominaisuuksien välillä (Liimapuukäsikirja osa 2, s. 14–17). Pohjoismaissa yleisimmät lujuusluokat liimapuulla ovat GL30c tai GL30h (Carling, 2003, s. 15). Lujuusluokan tunnuksen kirjain c (combined) kertoo, että liimapuussa on kahdenlaisia lamelleja. Tunnuksen kirjain h (homogeneous) tarkoittaa liimapuun olevan homogeenistä, jolloin valmistuksessa on käytetty tasa-aineisia lamelleja. Käytännössä nämä siis tarkoittavat sitä, että c-luokan liimapuu voi sisältää useiden lujuusluokkien lamelleja, kun taas h-luokan lamellit

kuuluvat samaan lujuusluokkaan (Suomen Liimapuuyhdistys ry 2018). Kuitenkin yksittäiseen liimapuutuotteeseen voidaan käyttää vain yhtä puulajia (SFS-EN 14080 s.28).

3.1 Suunnitteluperusteet

Puurakenteiden suunnittelu tulee toteuttaa standardin SFS-EN 1990 mukaisesti. Standardi sisältää eurokoodin rakenteiden suunnitteluperusteet. Puurakenteiden osalta vaatimukset täyttyvät, kun rajatilamitoitus ja osavarmuuslukumennettely on kyseisen standardin mukaisia. Rajatilamitoitukseen perehdytään tarkemmin luvussa 3.2. Osavarmuusluku puolestaan riippuu kuormitustilanteesta. Kuormat ja niiden yhdistelmät määritellään standardin SFS-EN 1991 mukaan. Rakenteiden kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyyden laskennan tulee noudattaa standardia SFS-EN 1995 eli Eurokoodi 5:sta. Lisäsääntöjä puurakenteiden suunnittelulle antaa Eurokoodi 5:n ensimmäinen ja toinen osa, jotka käsittelevät puurakenteiden suunnittelua ja palomitoitusta. (SFS-EN 1995-1-1, s. 21.)

3.2 Liimapuiden mitoitus

Puurakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon rakennuksen sijaintipaikan rakentamismääräykset. Vuodesta 2010 lähtien eurokoodit ovat toimineet EU:ssa ja useissa muissa Euroopan maissa rakenteiden mitoituksen määräyskokoelmana (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 33). Liimapuut mitoitetaan rajatilamitoituksen avulla. Rajatilamitoituksessa on mitoitussmallit, joissa huomioidaan eri materiaaliominaisuudet, materiaalien ajasta riippuva toiminta, ilmasto-olosuhteet sekä erilaiset mitoitustilanteet. Mitoitusmalleina on käytössä murtorajatila- ja käyttörajatilamitoitus (SFS-EN 1995-1-1, s. 21).

Mitoituksessa lähdetään liikkeelle määrittämällä mitoituSKUORMAT, joilla tarkoitetaan rakenteeseen kohdistuvia voimia. Näitä voimia ja rasituksia ovat palkin oma paino, lumi- ja tuulikuorma sekä mahdolliset hyötykuormat. Puurakennusstandardi Eurokoodi 5 mukainen laskentamenetelmä on Euroopan Unionin alueen yhteinen mitoitussmenetelmä.

Mitoituksen suunnittelussa voidaan käyttää tapauskohtaisesti palkkitaulukoita, joissa on määritelty yleisimpien kuormitustapauksien kaavat. Liimapuiden mahdolliset reiät tai lovet tulee sijoittaa mahdollisimman etäälle tukipisteistä, sillä tukien kohdalla leikkausvoimat ovat suurimmillaan. Lisäksi reikien ja lovien tulee olla mahdollisimman keskellä palkin poikkileikkausta, sillä palkin ylä- ja alareunoihin kohdistuu suurimmat jännitykset. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 37–38.)

Liimapurakenteiden ominaisuuksien riittävyys saadaan selville murtorajatilatarkastelulla. Murtorajatilatarkastelussa rakennesuunnittelija muodostaa rakenteelle staattisen mallin. Mallissa käytetään mahdollisia kuormitusyhdistelmiä ja rakenteen geometrisia mittoja, joiden avulla selvitetään riittävätkö suunnitellut materiaali- ja tuoteominaisuudet käyttökohteeseen. Kuinka rakenne soveltuu käyttötarkoitukseensa, selvitetään erillisellä käyttörajatilatarkastelulla. Käyttörajatilatarkastelussa selvitetään täyttääkö rakenne käyttörajatilan mukaiset vaatimukset värähtelyn ja taipuman suhteen erilaisissa kuormitustilanteissa. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 33–42)

Liimapurakenteiden mitoituksen avulla osoitetaan valittujen materiaalien, mittojen ja rakenneratkaisuiden täyttävän kohteen tekniset vaatimukset. Kantava rakenne tulee siis mitoittaa niin, että se kestää koko suunnitellun käyttöiän ajan. Suunnitellun käyttöiän aikana rakennetta voidaan huoltaa normaaleilla kunnossapidon menetelmillä, mutta suurempia korjauksia ei oleteta tapahtuvan. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 32)

4 LIIMAPUUN RAKENNEJÄRJESTELMÄT

Liimapuiden käyttökohteina ovat useimmiten kantavat rakenteet sekä erityisesti kohteet, joissa tarvitaan hyvinkin suuria vapaita jännevälejä. Teräs- ja teräsbetonirakenteille liimapuu on suuri kilpailija etenkin suurten jännevälin omaavien rakennelmien kohdalla. Liimapuisen rakennejärjestelmän pituutta ja kokoa rajoittavat tuotantolinjojen koko ja kuljetusmahdollisuudet. (Luoto, 1984, s. 12)

Liimpuurakenteiden rakennejärjestelmä määräytyy usein kustannusten, rakennuksen toiminnan ja arkkitehtonisten vaatimuksien mukaan, poikkeuksena ovat tuotantoteknisten tai kuljetuksen aiheuttamat rajoitukset. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 45)

Liimpuulle suotuisia käyttökohteita ovat yksi- tai monilaivaiset hallirakenteet. Yleinen perusmalli kehälle on jäykkäkantainen kaksinivelkehä. Jännemittojen suurentuessa sopivat taloudellisesta näkökulmasta paremmin kolminivelkehät, kolmi- ja kaksinivelkaaret sekä vetotangolliset kannattajat. (Carling, 2003, s. 94)

Liitteessä 1 on esitetty erilaisia liimapuun rakennejärjestelmiä havainnollistamaan liimapuun käyttöä, suositteluja kattokaltevuuksia ja jännevälejä.

4.1 Pilari-palkki järjestelmät

Pilari-palkki järjestelmä on tyypillisimmin käytetty liimapuun rakennejärjestelmä. Näitä ovat esimerkiksi kaarevat harjapalkit, suorat alapuolelta jännitetyt palkit tai palkit, joiden korkeus tuen kohdalla on suurin. Palkki voidaan valmistaa myös siten, että sen korkeus on suurimmillaan jännevälin keskellä, sillä keskikohdassa taivutusmomentti on suurimmillaan. Tyypillisesti palkin poikkileikkauksen korkeus määräytyy suurimman sallitun taipuman eikä vaaditun kestävyuden mukaan. Kaareviin palkkeihin kohdistuu vetojännityksiä kohtisuoraan syitä vastaan, mikä otetaan huomioon vahvistamalla palkkia esimerkiksi liimaruuvien avulla. Matalissa rakennuksissa rakennus jäykistetään kiinnittämällä pilarit jäykästi perustukseen. Yli 4 metriä korkeissa rakennuksissa rakennus jäykistetään usein ristisidejäykisteellä tai tuuliristikolla. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 46–48)

Pilari-palkkijärjestelmää käytetään myös puukerrostalojen runkorakenteina. Järjestelmän avulla voidaan saavuttaa muuntojoustava pohjaratkaisu ja suuret aukotukset julkisivuihin, jolloin jännevälit voivat olla jopa 7,5 metriä. Runkorakenteet voidaan sijoittaa joko ulko- ja väliseinien sisään tai erilleen sisätilaan. Pilari-palkkirunkoinen rakennus jäykistetään usein vinositein ja mastopilarein. Etuna tällä runkojärjestelmällä on, ettei kantavia väliseiniä tarvita, jolloin huoneistojen välisten seinien paikkoja voidaan muuttaa koko rakennuksen elinkaaren aikana. (Karjalainen, ym., 2013, s. 47)

Pilari-palkkijärjestelmää voidaan tavata usein myös betoni- ja teräsrakentamisen yhteydessä. Järjestelmä on hyvin yksinkertainen toteuttaa ja soveltuvuudet ovat hyvät eri käyttötarkoituksiin. Tästä syystä järjestelmä on hyvin tyypillinen myös liimapuulle.

4.2 Kaarevat liimapuukannatteet

Kaarevat liimapuukurakenteet voidaan valmistaa massiiviliimapuusta tai ristikkona. Kaari on rakenne, joka tukeutuu suoraan perustuksiin. Perustukset tuetaan usein suoraan peruskallioon tai vinopaaluihin. Tuenta voidaan toteuttaa myös vetotangoilla perustukselta toiseen. Kaaret voidaan toteuttaa kaksi tai kolminivelisinä, ja kaarien jäykistys toteutetaan ristikolla tai muulla jäykällä rakenteella sitomalla kaarivälit toisiinsa. (Salonen, Keronen ja Lod, 2009, s.80)

Kaarevat liimapuukurakenteet valmistetaan lamelleja taivuttamalla samanaikaisesti liimauksen puristuksen kanssa. Liiman annetaan kovettua, minkä jälkeen liimapuusta työstetään lopulliseen muotoonsa (Carling, 2003, s. 12). Kaarevia liimapuukurakenteet mahdollistavat arkkitehtonisesti vaativien kohteiden toteuttamisen, niitä nähdäänkin usein käytettävän suurien hallien rakenteina.

Suurille jänneväleille soveltuvat parhaiten liimapuiset kaaret. Kun kaari on toteutettu oikein, sen materiaali on käytetty paremmin hyväksi kuin palkilla. Kaaren toiminta perustuu sen muotoon, kun muoto seuraa niin kutsuttua puristusviivaa pystykuormat aiheuttavat tasaisen vakiojännityksen koko poikkileikkauksen alueelle. Tasaisen vakiojännityksen vuoksi voi poikkileikkaus kaarevalla palkilla olla noin kolmasosan vastaavan suoran palkin korkeudesta. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 39)

4.3 Ristikot

Ristikko rakenteena on monikäyttöinen, sitä käytetään esimerkiksi siltojen kantavana rakenteena ja rakennusten yläpohjien runkorakenteena. Ristikko liimapuun rakennejärjestelmänä sopii parhaiten suurten jännevälien rakenteeksi, sillä rakenteen massa ja koko tulisivat vastaan tavallisilla betoni- tai teräspalkeilla. Ristikot soveltuvat erityisesti silloin, kun rakennuksen kattokaltevuus halutaan mahdollisimman pieneksi. Ristikot voivat olla tehtailta täysin esivalmistettuja tai ne voidaan suunnitella kuljetuksen kannalta sopiviksi osiksi, jotka voidaan koota paikan päällä valmiiksi. Ristikoiden puristussauvat valmistetaan liimapuusta ja vetosauvat teräksestä. Ristikot ovat tyypillisiä, kun rakennekorkeutta ei rajoiteta ja kaltevuus katolla on pieni. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 48–49)

4.4 Nivelrakenteet

Kolminivelkattotuolit rakennejärjestelmänä valitaan, kun jänneväli vaatimukset eivät mahdollista massiivipalkkeja. Kolminivelkattotuoli muodostuu, kun kaksi toisiinsa nojaavaa palkki yhdistetään harjanivelellä. Palkkien alapää on kiinnitetty nivelin perustuksiin tai ne yhdistetään toisiinsa vetotangoilla. Kolminivelkattotuoleista voidaan muodostaa kolmiulotteisia rakenteita yhteisen harjapisteen avulla. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 49–52)

Aiemmin esiintyneessä kappaleessa ”Kaarevat liimapuurakenteet” mainitaan, että kaarevat liimapuurakenteet toteutetaan nivelrakenteina. Nivelrakenteiden etuna on yksinkertainen mitoitus ja yksinkertainen perusrakenne. Nivelrakennetta käytetään usein, kun perusmaan kantokyky on heikko, sillä nivelen avulla perustuksille ei synny kiinnitysmomenttia. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 54)

4.5 Liimapuuelementit

Liimapuuelementeillä tarkoitetaan rakenteita, jotka on koottu liimapuuosista. Liimapuuelementit valmistetaan samalla tarkkuudella kuin valssatut teräsprofiilit tai betonielementit. Liimapuuelementeillä tyypillisin poikkileikkaus on suorakaideprofiili. Poikkileikkauksella tarkoitetaan rakenteen kuvaamista kohdasta, josta rakenne on

halkaistu. Suorakaideprofiili on suorakaiteen mukainen kappale. Muita valmistettavia elementtejä ovat myös esimerkiksi I-, T-, ja L-profiilit. I-, T- ja L-profiilit kuvaavat kirjainten mukaisia poikkileikkauksia. Suorakaiteen mukaisissa vakiopoikkileikkauksissa käytetään 45 millimetriä paksua puulamellia, jolloin profiilin korkeudeksi muodostuu 45 millimetrin kerrannainen. Profiilin korkeutta rajoittavat höyläys- ja kuljetuskalusto, kuitenkin voidaan valmistaa jopa yli kolme metriä korkeita elementtejä. Kaarevilla poikkileikkauksilla korkeus on tyypillisesti 33 millimetrin kerrannainen. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 16–20)

Liimapuuelementtien leveys rajoittuu usein 300 millimetriin, sillä sitä leveämpää raaka-ainetta on vaikeaa saada. Lamelleja syrjäliimaamalla voidaan leveyttä kasvattaa jopa 500 millimetriin. Rakenteiden pituutta rajoittaa yleisimmin kuljetusmahdollisuudet, esimerkiksi Suomessa tarvitaan erikoiskuljetuslupaa, mikäli ajoneuvopituus ylittää 30 metriä. Pohjoismaiset tehtaat voivat valmistaa yli 60 metriä pitkiä rakenteita, ja usein kuljetusongelmat pitkien rakenteiden kohdalla ratkaistaan jakamalla rakenne kuljetusyksiköihin, jotka liitetään yhteen rakennuspaikalla. (Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2014, s. 16–22)

4.6 Hybridirakenteet

Hybridirakenteissa materiaaleja voi olla useita käytössä yhtä aikaa, rakenne voi siis sisältää puuta, betonia sekä terästä. Hybridirakentamisessa pyritään hyödyntämään jokaisen materiaalin parhaimpia ominaisuuksia, jotta kokonaisuus palvelee hankkeen lopullista käyttökohdetta (APA, 2017). Rakentamisessa tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että talon runko voidaan tehdä teräksisistä palkeista, liimapuupalkeista, betonielementeistä ja ontelolaatoista. Hybridirakentamisella saadaan kustannustehokas vaihtoehto rakentamiselle, pelkästä puusta rakennetun kerrostalon kustannukset ovat useasti hyvin korkeita. Teräs ja betoni tuovat rakennukseen hyvät ääni-, palo ja lujuusominaisuudet. (Pirainen, 2020.)

4.7 Muita käyttökohteita liimapuulle

Puu on toiminut siltojen rakenteena jo vuosisatoja. Yksi vanhimmista puusilloista, joka on vieläkin toiminnassa, on Kapellbrücken silta Sveitsissä. Alun perin silta on rakennettu vuonna 1360, mutta vuosien saatossa sillalle on tehty suuria korjaustöitä (Wikipedia, 2022). Liimapuusta rakennetaan pääosin Pohjoismaissa kevyen liikenteen siltoja, mutta myös puisten tiesiltojen rakentaminen on lisääntynyt. Sillan rakenne jakautuu kahteen osaan, tuki- ja päällysrakenteeseen. Päällysrakenne on vaakasuora kantava osa sillasta ja kansilaattaa kannattavat palkit sekä muut kantavat rakenteet kuten kaaret. Kantava rakenne siirtää kuormat tukirakenteille, jotka taas siirtävät kuormat eteenpäin aina perustuksiin saakka. Sillan tyypillisimpiä rakennejärjestelmiä ovat palkkisillat, kaarisillat ja köysisillat. Rakennetyypin valinta on riippuvainen käyttöolosuhteista, millainen liikenne sillalla kulkee ja kuinka suuri korkeus ja jänneväli tarvitaan. (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 56–57).

Puusiltojen laattana toimii hyvin rasitusjäykistetty liimapuulaatta (stress-laminated-timber). Laatassa liimapuupalkit on asetettu vierekkäin ja jäykistetty jänmeteräksillä yhteen. Jäykistetyssä laatassa kuormat jakautuvat tasaisesti palkkien esijännityksen aiheuttaman kitkan vuoksi (Crocetti, Ekholm ja Kliger, 2016). Lisäksi rakenne ei tarvitse erityisiä toimenpiteitä tuulen suhteen, sillä se on sivusuunnassa jäykkä (Suomen liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy, 2015, s. 57).

5 YHTEENVETO

Liimapuun käyttö rakentamisessa luo useita haasteita suunnittelusta rakentamiseen. Puutuotteiden suunnittelu yleisesti on haastavampaa kuin vastaavien teräs- ja betonuotteiden suunnittelu, sillä puu ei ole tasalaatuista. Puun ollessa kevyt materiaali se vaatii ankkuroinnin vuoksi myös massiivisemmat perustukset kuin teräs- ja betonirakenteet. Rakenteiden keveys aiheuttaa myös suurempaa tuulen aiheuttamaan huojuntaa rakenteisiin. Hybridirakentaminen on usein paras vaihtoehto saavuttaa rakenteellisesti ja kustannuksellisesti tehokas rakenne, sillä siinä pyritään hyödyntämään jokaisen materiaalien parhaita ominaisuuksia.

Kandidaatin työn tavoitteena oli tutustua kirjallisuuden avulla liimapuun käyttöön rakentamisessa ja sen tyypillisimpiin rakennejärjestelmiin. Työssä selvitettiin liimapuun ominaisuuksia ja soveltuvuuksia erilaisiin käyttökohteisiin sekä perehdyttiin liimapuutuotteille asetettuihin suunnitteluvaatimuksiin ja -edellytyksiin. Tutkimuksessa päästiin tavoitteisiin runsaiden luotettavien lähteiden avulla.

Kandidaatin työtä voitaisiin kehittää laskemalla esimerkiksi pilari-palkkijärjestelmän toteutus kolmella eri materiaalilla, kuten esimerkiksi liimapuulla, teräksellä ja betonilla. Laskennan avulla voitaisiin vertailla eri materiaalien välillä rakenteellista- ja kustannustehokkuutta sekä hiilijalanjälkeä. Laskentaa voitaisiin jatkaa myös muihin rakennejärjestelmiin, ja tulosten avulla saataisiin tarkempia tuloksia, mihin liimapuun soveltuu parhaiten.

LÄHDELUETTELO

Carling, O. 2003. Liimapuu käsikirja. Helsinki: Wood Focus, Suomen liimapuuyhdistys. ISBN 91-631-1455-0.

Crocetti, R., Ekholm, K. & Kliger, R. 2016. "Stress-laminated-timber decks: state of the art and design based on Swedish practice," *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), S. 453–461. doi:10.1007/s00107-015-0966-1.

Glišović, I., Pavlović, M., Stevanović, B. & Todorović, M. 2017. "Numerical analysis of glulam beams reinforced with CFRP plates," *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(7), S. 868–879. doi:10.3846/13923730.2017.1341953.

Issa, C.A. & Kmeid, Z. 2005. "Advanced wood engineering: Glulam beams," *Construction and Building Materials*, 19(2), S. 99–106. doi:10.1016/j.conbuildmat.2004.05.013.

Karjalainen, M., Lahtela, T., Viljakainen, M. & Tolppanen, J. 2013. *Suomalainen puukerrostalo: Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen*. Helsinki: Opetushallitus: Puuinfo. ISBN 978-952-13-5541-7.

Kevarinmäki, A. 2017. *Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. ISBN 978-951-758-604-7.

Luoto, G. 1984. *Liimapuurakenteet*. Hki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. ISBN 951-758-043-6.

Nadir, Y., Nagarajan P., Ameen M. & Arif M. 2016. "Flexural stiffness and strength enhancement of horizontally glued laminated wood beams with GFRP and CFRP composite sheets," *Construction and Building Materials*, 112, S. 547–555. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.02.133.

Puuinfo, 2020. Puutieto: Sahatavara ja sen jalosteet: Sahatavaran laatu [verkkodokumentti]. Puuinfo. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavaran-laatu/> [viitattu 11.2.2022].

Salonen, S., Keronen, A., Lod, T. 2009. Puuhallin suunnittelu. Esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat. Puuinfo Oy. ISBN 952-15-0703-9.

SFS-EN 301, 2017. Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements. Suomen standardisoimisliitto SFS: 13+3 s.

SFS-EN 302-1, 2013. Adhesives for load-bearing timber structures. Test methods. Part 1: Determination of longitudinal tensile shear strength. Suomen standardisoimisliitto SFS: 12+2 s.

SFS-EN 14080, 2013. Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset. Suomen standardisoimisliitto SFS: 53+42s.

SFS-EN 1990, 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardisoimisliitto SFS: 84+100 s.

SFS-EN 1991-1-1, 2002. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen standardisoimisliitto SFS: 44+26 s.

SFS-EN 1991-1-2, 2003. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–2 Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. Suomen standardisoimisliitto SFS: 49+53 s.

SFS-EN 1991-1-3, 2015. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Suomen standardisoimisliitto SFS: 46+35 s.

SFS-EN 1991-1-4, 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat Suomen standardisoimisliitto SFS: 156+98 s.

SFS-EN 1991-1-5, 2004. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–5: Yleiset kuormat. Lämpötilakuormat. Suomen standardisoimisliitto SFS: 50+18 s.

SFS-EN 1995-1-1, 2015. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS: 99+13s.

SFS-EN 1995-1-2, 2004. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Suomen standardisoimisliitto SFS: 78+48 s.

Suomen Liimapuuyhdistys ry. & Puuinfo Oy, 2014. Liimapuukäsikirja osa 1. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy. ISBN 978-952-99868-3-5.

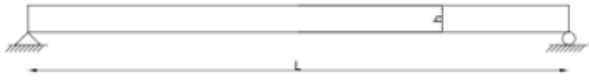

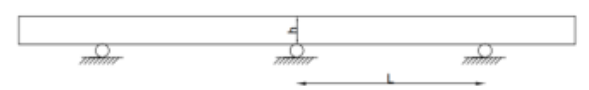
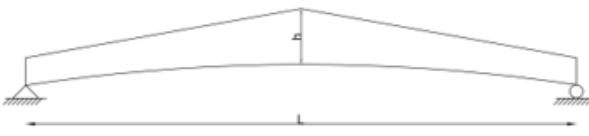

Suomen Liimapuuyhdistys ry. & Puuinfo Oy, 2015. Liimapuukäsikirja osa 2. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry. ja Puuinfo Oy. ISBN 978-952-99868-6-6.

Suomen Liimapuuyhdistys ry., 2018. Liimapuu GL30 [verkkodokumentti]. SLPY ry. Saatavissa: <https://www.liimapuu.fi/10> [viitattu 11.2.2022].

Suomen standardisoimisliitto SFS, n.d., Standardeista: Mikä on standardi?: CE-merkintä [verkkodokumentti]. SFS. Saatavissa: <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/ce-merkinta/> [viitattu 9.4.2022].



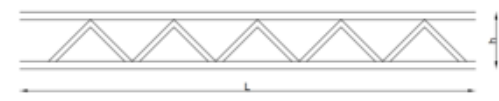
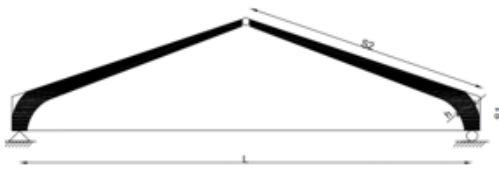
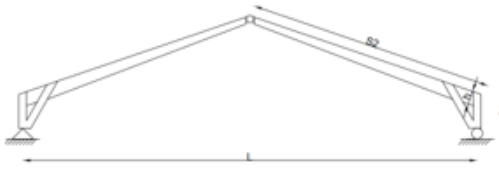
Wikipedia. 2022. Kapellbrücke [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kapellbr%C3%BCcke> [viitattu 5.1.2023].

Liite 1 (1). Liimapuurakennejärjestelmiä.

Kannattaja, k/k 6...8m Kuvaus	Katon kaltevuus	Suosittelut jänneväli [m]	Korkeus h
 <p>Suorapalkki</p>	>1:16	<20	L/15
 <p>Harjapalkki</p>	1:16...1:6	10-30	L/30...L/16
 <p>Jatkuva palkki</p>	>1:16	<25	L/20
 <p>Kaareva harjapalkki (bumerangipalkki)</p>	1:16...1:4	10-20	L/30...L/16
 <p>Vetotangollinen ansaspalkkikannattaja</p>	>1:4	25-75	L/40

Kuva 1. Liimapuurakennejärjestelmiä, suositellut kattokaltevuudet ja jännevälit (mukaan Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014).

Liite 1 (2). Liimapuurakennejärjestelmiä.

Kannattaja, k/k 6...8m Kuvaus	Katon kaltevuus	Suosittelut jännevälit [m]	Korkeus h
 <p>Kolminivelkaari</p>	<p>Vetotangollinen : $f/L > 0.144$ Ilman vetotankoa: $f/L > 0.144$ (f=kehän korkeus)</p>	<p>Vetotangollinen : 25–50 Ilman vetotankoa: <u>40–100</u></p>	<p>Vetotangollinen : L/35 Ilman vetotankoa: L/45</p>
 <p>Vetotangollinen palkkikannattaja (A-kattotuoli)</p>	>1:4	15–30	L/30
 <p>Ristikko</p>	>1:16	25–65	L/10
 <p>Kolminivelkehä (kaarevanurkkainen)</p>	>1:14	15–40	$(S_1+S_2) / 15$
 <p>Kolminivelkehä (osista koottu)</p>	>1:14	10–35	$(S_1+S_2) / 15$

Kuva 2. Liimapuurakennejärjestelmiä, suositellut kattokaltevuudet ja jännevälit (mukaan Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014).