

Alexi Arvola

Massiivipuutolpan halkaisulujuus nostotilanteessa

Massiivipuutolpan halkaisulujuus nostotilanteessa

Alexi Arvola
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

Tekijä: Aleksi Arvola
Opinnäytetyön nimi: Massiivipuutolpan vetokestävyys
Työn ohjaaja: Pekka Kilpinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020
Sivumäärä: 36

Puurakenteisten seinäelementtien nostamisen aiheuttaman rasituksen mitoittamiseen ei löydy ohjetta, kun nostamisessa käytetään nostoliinaa. Nostoliina vedetään runkotolpassa olevan reiän läpi ja elementti nostetaan runkotolpasta liinan välityksellä.

Opinnäytetyössä perehdyttiin massiivipuuisen tolpan halkaisulujuuteen tilanteessa, jossa sitä liinalla vedetään puiden syyn suunnassa. Tavoitteena oli tutkia, mikä on vetolujuus ja paljonko tolpassa olevan loven koko sekä kosteus vaikuttavat kestävyteen.

Massiivipuuisen tolpan vetokestävyuden laskennalliset arvot selvitettiin puikkoliitosteoriaan perustuvalla liitostyyppillä, jossa reiän tilalle ajatellaan pultti, jota vedetään ylöspäin. Myös tolpan lohkeamis- ja palamurtumiskestävyyttä tarkasteltiin. Kokeellisesti ja laskennallisesti saavutettujen arvojen avulla selvitettiin suuntaa antavat raja-arvot kestävyydelle. Saavutettuja raja-arvoja vertailemalla selvitettiin puikkoliitosteorian soveltuvuus kyseiselle testille.

Tulosten perusteella voitiin arvioida syyn suuntainen halkaisukestävyys lujuusluokitellulle runkotolpalle. Tulosten perusteella pystyttiin myös perustelemaan, että vaikka laskennalliset arvot muutamissa liitostapauksissa antoivat vastaavia tuloksia kuin kokeelliset tulokset, ei puikkoliitosteoria suoraan soveltunut tällaisen rasituksen laskentaan.

Asiasanat: Puikkoliitos, vetokestävyys, kokeellinen kuormitus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil engineering, Structural Engineering

Authors: Aleksi Arvola

Title of thesis: Splitting Firmness of Solid Timber Columns

Supervisors: Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 36

When the shear stability of timber structures are designed, there are no valid instructions in standards for the type of connection where wooden wall blocks are lifted upwards with the help of a hanging loop.

This thesis concentrates on splitting firmness of timber columns when the column is lifted upwards. The aim of this thesis was to study the firmness of a timber column and how much the firmness is affected if there is a cleft in the column.

The calculation values of the firmness of timber columns were researched with a bolt joint-method, in which the hanging loop is subtracted and replaced with a bolt which is lifted. Based on the testing and calculating values, the limits of the firmness of timber columns were investigated. By comparing these limits the validity of bolt joint-method was evaluated.

Keywords: column, firmness, timber, bolt joint

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 SEINÄELEMENTIN NOSTOTILANNE	7
3 PUIKKOLIITOS	9
3.1 Leikkauskestävyys	10
3.2 Metalli-puu-liitos	12
3.3 Puu-puu-liitos	14
4 PALA- JA LOHKEAMISMURTUMINEN	16
5 LIITOKSEN MITOITTAMINEN	18
5.1 Laskentamenetelmä	18
5.2 Laskennan tulokset	19
5.3 Laskennan analysointi	26
6 LABORATORIOKOKKEET	27
6.1 Kokeiden suunnittelu	27
6.1.1 Laitteisto	27
6.1.2 Kiinnitys	28
6.1.3 Dimensiot	29
6.2 Kokeiden suorittaminen	29
6.3 Laboratoriokokeiden tulokset	32
6.4 Laboratoriokokeiden yhteenveto	36
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Suomessa puurakenteiden suunnittelu ja -mitoitus perustuvat Eurokoodi 5:n suunnittelustandardin versioihin ja niiden kansallisiin liitteisiin. Niiden lisäksi käytetään RIL:n puurakenteiden suunnitteluohjeita.

Puuseinäelementit nostetaan rakennustyömaalla nostoliinoilla runkotolpassa olevan reiän avulla. Useilla työmailla haasteena ovat työmaalla käytössä oleva tila, kulkureitit ja työturvallisuus nostotilanteessa. Etenkin työturvallisuus asettaa vaatimuksia seinäelementissä pystyrungolle, jonka täytyy kestää nostettavan elementin paino. Suunnitteluohjeissa ei toistaiseksi ole mitoitushjettä, jossa tolppaa kuormitetaan edellä mainitulla tavalla.

Opinnäytetyön tarkoituksena on testata laboratorio-olosuhteissa kokeellisesti massiivipuisen tolpan vetolujuutta, kun tolppaa vedetään nostoliinan avulla. Kokeellisesti testattavia tolppia on kahta eri kokoa ja tolppissa olevan loven koko vaihtelee. Näiden tolppien vetolujuudet selvitetään laskennallisesti suunnitteluohjeen mukaisesti ja niitä verrataan kokeellisesti saatuihin tuloksiin.

Tärkein tavoite työssä on selvittää, paljonko vetorasitusta massiivipuutolpat kestävät puun syysuuntaan nähden ja miten tolpassa oleva lovi vaikuttaa sen kestävyteen.

Opinnäytetyön tilaaja on Kastelli-talot Oy. Työ on osa työturvallisuuden kehittämistä sekä puurakenteiden suunnittelun helpottamista (syventämistä). Kastelli-talot Oy valmistaa talopaketteja ja täyslämpimät huvilat asiakkaan haluamaan vaiheeseen rakennettuna.

2 SEINÄELEMENTIN NOSTOTILANNE

Työmaalla tapahtuva puurakenteisten seinäelementtien nosto on olennainen osa työturvallisuutta. Kantava runko suunnitellaan kestäväksi ylhäältäpäin tulevat kuormat, mutta sitä ei varsinaisesti mitoiteta kestäväksi seinäelementin painosta aiheutuvaa kuormitusta. Puun syyn suuntainen veto- ja halkaisulujuus on olennainen osa edellä mainitussa tilanteessa. (Pura 2020.)

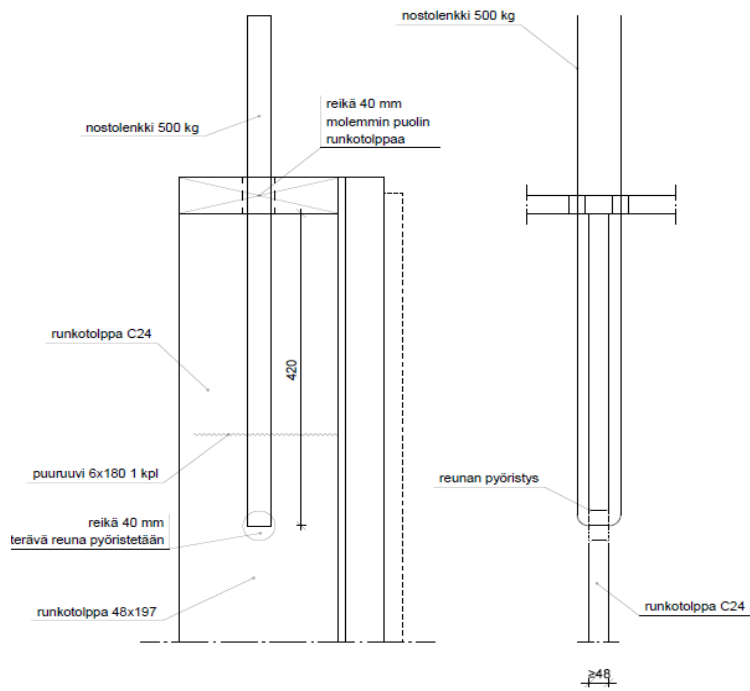
Elementtejä, joita työmaalla nostetaan, ovat esimerkiksi sivuseinäelementit, päätyseinä- sekä päätykolmioelementit. Elementteihin suunnitellaan rakennesuunnitteluvaiheessa runkotolppaan reikä, josta elementti voidaan nostaa ja reikä tehdään suunnitelmissa määrättyihin kohtiin elementtitehtaalla valmiiksi, jolloin työmaalla jää ainoaksi työksi itse nosto. Nostoapuvälineinä käytetään standardin SFS EN 1492-1 mukaan suunniteltua nostoliinaa sekä nostoautoa. Pienten seinäelementtien paino liikkuu noin 500 kg:ssa suurten elementtien painon noustessa jopa kahteentuhanteen kg:aan. (Pura 2020.)

Seinäelementit nostetaan neljästä kohdasta. Yhdelle runkotolpalle tulee kannateltavaksi noin neljännes yhden elementin kokonaispainosta. Kuorma koostuu kuvassa 1 näkyvistä runkotolpista, eristeistä, ikkunoista sekä ylä- ja alajuoksuista. (Pura 2020.)

Työmaalla olosuhteet eivät aina ole samanlaiset vaan ne saattavat muuttua nopeastikin. Tuulen suunnan ja nopeuden muuttuminen aiheuttaa elementissä äkillisiä suunnan ja kuorman muutoksia. Tolppien, joista nosto tapahtuu, on nämä muutokset kestettävä. (Pura 2020.)

NOSTOLENKIN KINNITTÄMINEN ELEMENTTIIN

- Vakiona käytettävä nostolenkki kestää kuormitusta 500 kg



KUVA 1. Nostolenkin kiinnittäminen elementtiin (Toimeksiantajayrityksen sisäinen suunnitteluaineisto)

3 PUIKKOLIITOS

Nostotilanteessa puutolppaa nostetaan liinalla. Suunnitteluohjeet eivät tunne tällaista liitostyyppiä, joten laskennalliset arvot saadaan puikkoliitosteorian mukaisesti, kun ajatellaan liinan tilalle pultti, joka on kiinnitetty metallilevyllä tolppaan ja sitä vedetään ylöspäin. Toinen liitostyyppi on puutavara liitettynä testattavaan tolppaan pultin välityksellä. Edellä mainitut liitostyypit voidaan mitoittaa sekä yksittä kaksileikkeisenä puikkoliitosteorian mukaisesti. (Pura 2020.)

Puikkoliitosten mitoitus poikittaiselle kuormitukselle on kullekin liitintyypille hyvin samanlainen. Liittimille määritetään lähinnä niiden paksuudesta riippuva reunapuristuslujuus ja myötömomentti, joiden perusteella puhdas leikkauskestävyys määritetään. Pitkittäin kuormittuvien liittimien mitoituksessa on kuitenkin suurempia eroja. (Kovanen 2020, 21.)

Puikkoliitoksen kestävyuden ominaisarvo riippuu liittimen myötölujuudesta, liitettävien puuosien reunapuristuslujuudesta sekä liittimen ulosvetolujuudesta (kuva 2) (SFS-EN 1995-1-1. 1995, 54).

Koska tässä työssä on tarkoitus vain selvittää suuntaa antavasti puikkoliitosteorian soveltuvuus, käytetään laskennallisena arvona puun ominaiskestävyyttä. Sen sijaan pultin ulosvetolujuudesta aiheutuva köysivaikutus jätetään huomiotta.

Leikkauskuormitetun puikkoliitoksen ominaiskestävyys SFS EN 1995-1-1 mukaan

— Yksileikkaiset liittimet:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{cases}$$

— Kaksileikkaiset liittimet:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(i)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

missä

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

KUVA 2. Puikkoliitoksen mitoituskaavat (SFS EN 1995-1-1:1995, 54)

3.1 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden selvittäminen aloitettiin laskemalla liitoksessa käytettävälle pultille myötömomentin kaavalla (kaava 1):

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} \quad \text{KAAVA 1}$$

$f_{u,k}$ = pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo (N/mm²)

d = pultin halkaisija (mm)

Seuraavaksi laskettiin liitoksen puuosien reunapuristuskestävyys. Kestävyys vaikuttaa oleellisesti, missä kulmassa voima vaikuttaa syysuuntaan nähden. Tässä työssä voima vaikutti syynsuuntaisesti, minkä vuoksi kaavan 2 avulla laskettava $f_{h,k}$ on sama kuin kaavan 3 avulla laskettava $f_{h,0,k}$. Reunapuristuskestävyyteen vaikuttaa lisäksi materiaalista riippuva kerroin k_{90} (kaava 4).

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k \quad \text{KAAVA 3}$$

ρ_k = puun ominaistiheys (kg/m³)

α = voiman kulma syysuuntaan nähden (°)

$$\begin{aligned} k_{90} &= 1,35 + 0,015 * d && \text{havupuulle} && \text{KAAVA 4} \\ &= 1,30 + 0,015 * d && \text{yhteen suuntaan viilutetulle LVL:lle} \\ &= 0,90 + 0,015 * d && \text{lehtipuulle} \end{aligned}$$

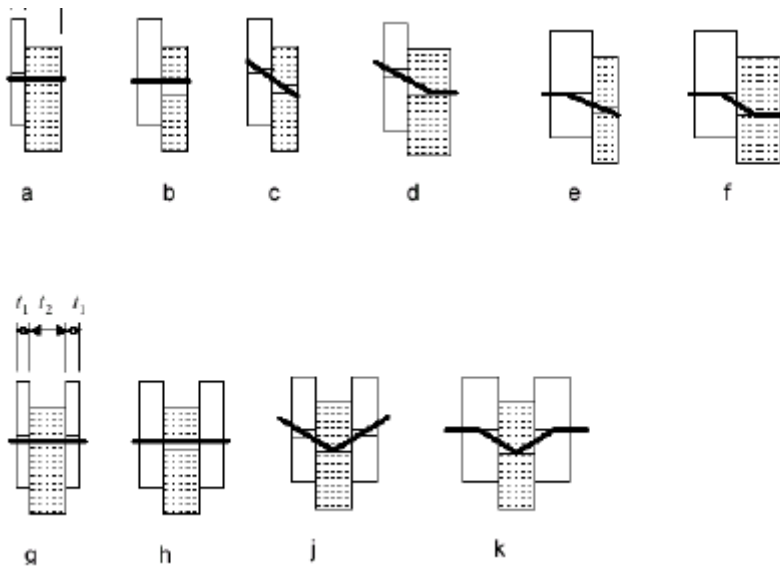
Kun liitoksessa on pelkkiä puuosia, reunapuristuskestävyys lasketaan kaikille kappaleille kaavan 5 avulla.

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} \text{ sekä } f_{h,2,k} = f_{h,0,k} \quad \text{KAAVA 5}$$

Mikäli puuosien materiaali muuttuu, täytyy $f_{h,0,k}$ laskea jokaiselle liitospuulle erikseen, koska k_{90} muuttuu materiaalin mukana. Tässä tapauksessa materiaalit ovat samat ja kulma nolla, joten $f_{h,0,k}$ on sama kuin $f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$. Kaavan 6 avulla huomioidaan reunapuristuskestävyyksien suhde.

$$\beta = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}} \quad \text{KAAVA 6}$$

SFS-EN 1995-1-1 -standardi käsittää useita eri liitoksen murtumistyyplejä. Seuraavaksi esitetään kaavat, joilla voidaan laskea yksileikkeisen liitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo murtumistyypleille a, b, c, d, e ja f ja kaksileikkeisen liitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo murtumistyypleille g, h, j ja k. (Kuva 3.)

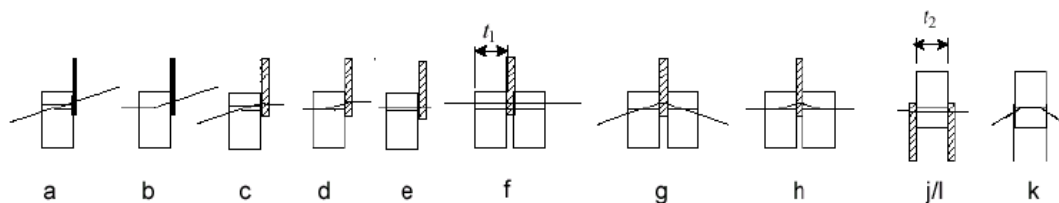


KUVA 3. Liitosten murtotavat (SFS EN 1995-1-1. 1995, 56)

3.2 Metalli-puu-liitos

Teräksen ja puun välisen liitoksen kestävyys ominaisarvo riippuu teräslevyjen paksuudesta. Teräslevy, jonka paksuus on enintään $0,5d$, luokitellaan ohueksi levyksi ja teräslevy, jonka paksuus on vähintään d ja jossa reiän halkaisijan toleranssi on alle $0,1d$, luokitellaan paksuksi levyksi. (SFS EN 1995-1-1. 1995, 56.)

Metallin ja puun välisissä puikkoliitoksissa murtumistavat ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta samanlaisia, kuin puukappaleiden välisissä liitoksissa (kuva 4).



KUVA 4. Teräksen ja puun välisen liitoksen murtumistavat (SFS EN 1995-1-1. 1995, 57)

Naulojen, pulttien, tappivaarujen ja ruuvien kestävyden ominaisarvona leikkaustasoa ja liitintä kohti käytetään kaavojen 7 ja kaavojen 14 väliltä saatavaa pienintä arvoa.

Leikkauskestävyyden ominaiskestävyys lasketaan kaavan 7 ja kaavan 8 avulla yksileikkeistä ohutta teräslevyä käytettäessä. Paksua teräslevyä käytettäessä ominaiskestävyyden laskemisessa käytetään kaavoja 9, 10 sekä 11.

$$0,4 * f_{h,k} * t_1 * d \quad \text{KAAVA 7}$$

$$1,15 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad \text{KAAVA 8}$$

$$f_{h,1,k} * t_1 * d \quad \text{KAAVA 9}$$

$$f_{h,k} * t_1 * d \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$2,3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad \text{KAAVA 11}$$

Leikkauskestävyyden ominaiskestävyys lasketaan kaavan 12 ja kaavan 13 avulla käytettäessä ohuita teräslevyjä kaksileikkeisen liitoksen sivukappaleina. Kun sivukappaleina käytetään paksuja teräslevyjä, käytetään kaavaa 14.

$$0,5 * f_{h,2,k} * t_2 * d \quad \text{KAAVA 12}$$

$$1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad \text{KAAVA 13}$$

$$0,5 * F_{h,2,k} * t_2 * d \quad \text{KAAVA 14}$$

t = reunapuun paksuus (mm)

$F_{ax,Rk}$ = pultin ulosvetolujuudesta aiheutuva köysivaikutus (N/mm²)

3.3 Puu-puu-liitos

Määritettäessä metallisilla puikkotyypisillä liittimillä tehtävien liitosten kestävyysominaisarvoa otetaan huomioon liittimen myötölujuus, reunapuristuslujuus ja ulosvetolujuus.

Kahden puuosan välisen liitoksen kestävyysominaisarvona leikkaustasoa ja liitintä kohti käytetään kaavojen 15 ja kaavojen 20 väliltä saatavaa pienintä arvoa, kun kyseessä on yksileikkeinen liitos. Kun kyseessä on kaksileikkeinen liitos, käytetään kestävyysominaisarvona kaavojen 21 ja kaavojen 24 väliltä saatavaa pienintä arvoa.

$$f_{h,1,k} * t_1 * d \quad \text{KAAVA 15}$$

$$f_{h,2,k} * t_2 * d \quad \text{KAAVA 16}$$

$$\frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2 * \beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 * \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta * \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

KAAVA 17

$$1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 * \beta * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (2 + \beta) * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,rk}}{4} \quad \text{KAAVA 18}$$

$$1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_2 * d}{1 + 2 * \beta} \left[\sqrt{2 * \beta^2 * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (1 + 2 * \beta) * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

KAAVA 19

$$1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad \text{KAAVA 20}$$

$$f_{h,1,k} * t_1 * d \quad \text{KAAVA 21}$$

$$0,5 * f_{h,2,k} * t_2 * d \quad \text{KAAVA 22}$$

$$\frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2 * \beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 * \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta * \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

KAAVA 23

$$1,15 * \sqrt{\frac{2*\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

KAAVA 24

4 PALA- JA LOHKEAMISMURTUMINEN

Läpiloheamismurrolla tarkoitetaan sitä, että puusta murtuu osa liittimien piiriä myöten. Lohkeamismurto voi tapahtua myös palalohkeamisena, mutta sitä ei tarvitse ottaa huomioon pulttiliitoksia mitoittaessa. Läpiloheamista taas ei tarvitse tarkistaa pulttiliitoksissa, jos kaikki liittimet ovat sijoitettu yhteen riviin syysuuntaan nähden tai jos syysuuntaisten liittimien määrä on enintään neljä ja pulttien välinen etäisyys syitä vastaan kohtisuorassa $a_2 \geq 5d$. (Mattila 2020, 18.)

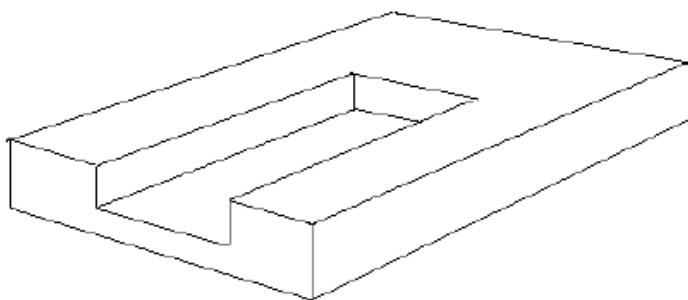
Kun teräksen ja puun väliseen liitokseen kuuluu useita puikkotyypisiä liittimiä, joihin vaikuttaa syysuuntainen voimakomponentti lähellä puusauvan päätä, lasketaan kuvan 5 mukaisessa lohkeamismurtumisessa kestävyuden ominaisarvo kaavan 25 mukaan. Kuvan 6 mukaisessa palamurtumisessa ominaiskestävyytenä käytetään kaavasta 25 saatavaa suurinta arvoa (SFS EN 1995-1-1. 1995, 100).

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 * A_{net,t} * f_{t,0,k} \\ 0,7 * A_{net,v} * F_{v,k} \end{cases} \quad \text{KAAVA 25}$$



KUVA 5. Esimerkki lohkeamismurtumisesta (SFS EN 1995-1-1. 1995, 100)

Nämä kaavat pätevät myös kuvan 6 mukaisessa palamurtumisessa.



KUVA 6. Esimerkki palamurtumisesta (SFS EN 1995-1-1. 1995, 100)

$$A_{net,t} = L_{net,t} * t_1$$

$$A_{net,v} = L_{net,v} * t_1 \text{ murtumistavoissa c, f, j, l sekä k}$$

$$= \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) \text{ kaikissa muissa murtumistavoissa}$$

$F_{bs,Rk}$ = lohkeamismurtumis- tai palamurtumiskestävyuden ominaisarvo (N/mm²)

$A_{net,t}$ = syysuuntaa vastaan kohtisuora nettopoikkileikkausala (mm²)

$A_{net,v}$ = syysuuntainen nettoleikkautumisala (mm²)

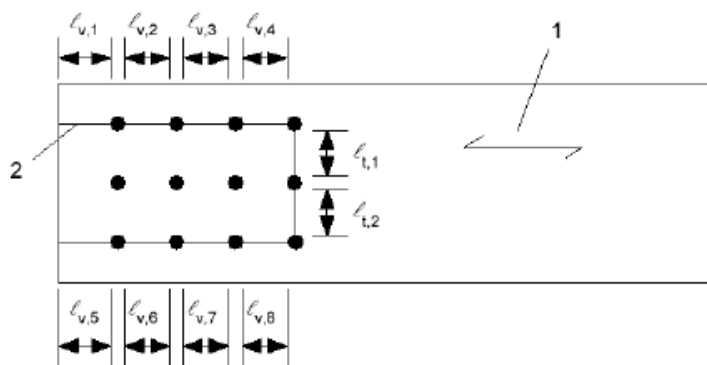
$L_{net,t}$ = syysuuntaa vastaan kohtisuoran poikkileikkauksen nettoleveys (mm)

$L_{net,v}$ = leikkautumismurtumisalueen nettopituuksien summa (mm)

t_{ef} = liittimen murtumistavasta riippuva tehollinen syvyys (mm)

t_1 = puusauvan paksuus tai liittimen tunkeuma (mm)

Laskettaessa nettoleveyttä sekä -pituutta otetaan puukappaleissa olevien liittimien etäisyydet kummassakin suunnassa huomioon (kuva 7).



KUVA 7. Havainnollistava kuva leikkautumismurtumisalueen nettopituuksien ja -leveyksien laskennasta (SFS EN 1995-1-1. 1995, 103)

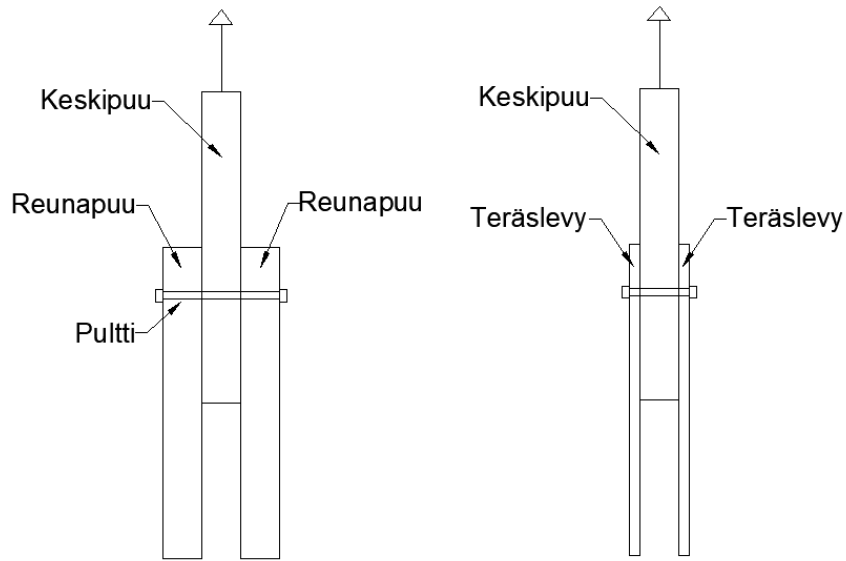
5 LIITOKSEN MITOITTAMINEN

5.1 Laskentamenetelmä

Suomessa puurakenteiden suunnitteluun sovelletaan eurokoodeja sekä niiden kansallisia liitteitä. Tässä työssä laskennan pohjana käytettiin standardia SFS EN 1995-1-1, jonka avulla laskettiin puikkoliitoksen ominaiskestävyksiä useille eri tapauksille. Myös lohkeamis- ja palamurtumiskestävyyttä tarkasteltiin saman standardin avulla.

Laskennallisten arvojen selvittämiseen käytettiin MathCad-nimistä matemaattista ohjelmaa, jolla pystyttiin laskemaan aikaisemmin mainittuja kaavoja käyttäen puikkoliitoksen kestävyksiä sekä lohkeamis- ja palamurtumiskestävyksiä useilla eri tapauksilla. Tällä tavalla pystyttiin selvittämään, miltä osin puikkoliitosteoria soveltuu tämänkaltaisen kuormituksen mitoittamiseen sekä miltä osin lohkeamismurtumiskestävyuden tarkastelu on kannattavaa tämänkaltaisen liitoksen mitoittamisessa.

Laskennassa huomiottiin useiden eri liitostyylien ja tapausten lisäksi myös puun ominaistiheys. Havupuun ominaistiheyden laskenta-arvona käytettiin puun yleisiä tiedettyjä maksimi- ja minimiarvoja. Kuvassa 8 on esitetty muutamia esimerkkejä puikkoliitoksesta.



KUVA 8. Esimerkkejä puikkoliitoksesta

5.2 Laskennan tulokset

Taulukossa 1 sekä 2 on esitetty leikkauskuormitetun puikkoliitoksen ominaiskestävyyksiä, kun käytetään puukappaleita yksi- ja kaksileikkeisissä liitoksissa. Puun ominaistiheytenä käytettiin 470:tä kg/m^3 . Jokainen murtumistapa on eroteltu omalle rivilleen selventämään, millä tavalla liitos murtuu kyseisellä voimalla.

TAULUKKO 1. Leikkauskuormitetun yksileikkeisen puikkoliitoksen ominaiskestävyys, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Yksileikkeiset liitokset (murtumistapa suluissa)				
Pultti (mm)	18	16	14	12
Reunapuu (mm)	72	64	56	48
Keskipuu (mm)	90	80	70	60
kN (a)	40,96	33,15	25,99	19,54
kN (b)	40,96	33,15	25,99	19,54
kN (c)	16,97	13,73	10,67	8,09
kN (d)	20,17	16,42	12,98	9,86
kN (e)	20,17	16,42	12,98	9,86
kN (f)	25,74	21,08	16,77	12,85

TAULUKKO 2. Leikkauskuormitetun kaksileikkeisen puikkoliitoksen ominaiskestävyys, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Kaksileikkeiset liitokset (murtumistapa suluissa)				
Pultti (mm)	18	16	14	12
Reunapuu (mm)	72	64	56	48
Keskipuu (mm)	90	80	70	60
Reunapuu (mm)	72	64	56	48
kN (g)	40,96	33,15	25,99	19,54
kN (h)	20,48	16,58	12,99	9,76
kN (j)	20,17	16,42	12,98	9,86
kN (k)	25,74	21,08	16,77	12,85

Taulukossa 3 sekä 4 on esitetty leikkauskuormitetun puikkoliitoksen ominaiskestävyyksiä, kun käytetään puukappaleita yksi- ja kaksileikkeisissä liitoksissa. Puun

ominaistiheytenä käytettiin 300:aa kg/m³. Jokainen murtumistapa on eroteltu omalle rivilleen selventämään, millä tavalla liitos murtuu kyseisellä voimalla.

TAULUKKO 3. Leikkauskuormitetun yksileikkeisen puikkoliitoksen ominaiskestävyys, kun puun ominaistiheys on 300 kg/m³

Yksileikkeiset liitokset (murtumistapa suluissa)				
Pultti (mm)	18	16	14	12
Reunapuu (mm)	72	64	56	48
Keskipuu (mm)	90	80	70	60
kN (a)	26,14	21,16	16,59	12,47
kN (b)	26,14	21,16	16,59	12,47
kN (c)	10,83	8,76	6,87	5,16
kN (d)	14,72	12,01	9,51	7,24
kN (e)	14,72	12,01	9,51	7,24
kN (f)	20,57	16,84	13,4	10,27

TAULUKKO 4. Leikkauskuormitetun kaksileikkeisen puikkoliitoksen ominaiskestävyys, kun puun ominaistiheys on 300 kg/m³

Kaksileikkeiset liitokset (murtumistapa suluissa)				
Pultti (mm)	18	16	14	12
Reunapuu (mm)	72	64	56	48
Keskipuu (mm)	90	80	70	60
Reunapuu (mm)	72	64	56	48
kN (g)	26,14	21,16	16,59	12,47
kN (h)	13,07	10,58	8,29	6,23
kN (j)	14,72	12,01	9,51	7,24
kN (k)	20,57	16,84	13,4	10,27

Siirryttäessä mitoittamaan puikkoliitoksia, joissa käytetään teräslevyjä, täytyy ottaa huomioon teräslevyjen paksuudet. Periaate, jolla liitos mitoitetaan, muuttuu hieman teräslevyn ollessa vähintään yhtä paksu kuin puikkoliittimen halkaisija

kuin silloin, jos se olisi ohuempi. Taulukoissa 5 sekä 6 on esitetty leikkauskuormitetun puikkoliitoksen ominaiskestävyyksiä, kun puikkoliitoksessa käytetään teräslevyjä.

TAULUKKO 5. Leikkauskuormitetun puikkoliitoksen ominaiskestävyys ohuita teräslevyjä käytettäessä, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Kun yksileikkeisen liitoksen toinen liitettävä osa on teräslevy, jonka paksuus $t < 0.5 \cdot d$, leikkauskestävyys yhtä leikettä kohden						
Pultti (mm)	18	16	14	12		
Teräslevy (mm)	9	8	7	6		
Keskipuu (mm)	90	80	70	60		
kN	20,84	16,58	12,99	9,76		
Kun kaksileikkeisen liitoksen ulommat osat ovat teräslevyä, jonka paksuus $t < 0.5 \cdot d$, leikkauskestävyys yhtä leikettä kohden						
Pultti (mm)	18	16	14	12		
Teräslevy (mm)	9	8	7	6		
Keskipuu (mm)	90	80	70	60		
Teräslevy (mm)	9	8	7	6		
Kn	25,60	20,72	16,24	12,21		

TAULUKKO 6. Leikkauskuormitetun puikkoliitoksen ominaiskestävyys paksuja teräslevyjä käytettäessä, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Kun yksileikkeisen liitoksen toinen liitettävä osa on teräslevy, jonka paksuus $t > d$, leikkauskestävyys yhtä leikettä kohden						
Pultti (mm)	18	16	14	12		
Teräslevy (mm)	18	16	14	12		
Keskipuu (mm)	90	80	70	60		
Kn	36,17	29,43	23,23	17,63		
Kun kaksileikkeisen liitoksen ulommat osat ovat teräslevyä, jonka paksuus $t > d$, leikkauskestävyys yhtä leikettä kohden						
Pultti (mm)	18	16	14	12		
Teräslevy (mm)	18	16	14	12		
Keskipuu (mm)	90	80	70	60		
Teräslevy (mm)	18	16	14	12		
Kn	25,60	20,72	16,24	12,21		

Puikkoliitoksen lohkeamis- ja palamurron tarkastelussa laskentaperiaate muuttuu oleellisesti perinteisen puikkoliitoksen mitoittamisesta, mutta teräslevyn paksuus vaikuttaa silti omalta osaltaan murtumiskestävyyteen. Taulukoissa 7, 8 sekä 9 on esitetty lohkeamis- ja palamurtumiskestävyyksiä puun ominaistiheyden ollessa 470 kg/m³, kun käytetään ohuita tai paksuja teräslevyjä ja silloin kun otetaan huomioon teräslevyn paksuudesta riippumattomat murtumistavat.

TAULUKKO 7. Lohkeamis- ja palamurron ominaiskestävyys ohuita teräslevyjä käytettäessä, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Ohutta teräslevyä käytettäessä			
Pultti (mm)	16	14	12
Reunapuu (mm)	64	56	48
Keskipuu (mm)	80	70	60
Reunapuu (mm)	64	56	48
kN (a)	110	96,22	82,48
kN (b)	110	96,22	82,48

TAULUKKO 8. Lohkeamis- ja palamurron ominaiskestävyys paksuja teräslevyjä käytettäessä, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Paksua teräslevyä käytettäessä			
Pultti (mm)	16	14	12
Reunapuu (mm)	64	56	48
Keskipuu (mm)	80	70	60
Reunapuu (mm)	64	56	48
kN (e) (h)	110	96,22	82,48
kN (d) (g)	152,1	138,7	125,2

TAULUKKO 9. Lohkeamis- ja palamurron ominaiskestävyys muissa murtumistavoissa, kun puun ominaistiheys on 470 kg/m³

Muut murtumistavat			
Pultti (mm)	16	14	12
Reunapuu (mm)	64	56	48
Keskipuu (mm)	80	70	60
Reunapuu (mm)	64	56	48
(c, f, j, k, m)	110	96,22	82,48

Taulukossa 10, 11 sekä 12 on esitetty lohkeamis- ja palamurtumiskestävyksiä puun ominaistiheyden ollessa 300 kg/m³, kun käytetään ohuita taikka paksuja

teräslevyjä ja silloin kun otetaan huomioon teräslevyn paksuudesta riippumattomat murtumistavat.

TAULUKKO 10. Lohkeamis- ja palamurron ominaiskestävyys ohuita teräslevyjä käytettäessä, kun puun ominaistiheys on 300 kg/m³

Ohuet teräslevyt			
Pultti (mm)	16	14	12
Reunapuu (mm)	64	56	48
Keskipuu (mm)	80	70	60
Reunapuu (mm)	64	56	48
(a)	110	96,22	82.48
(b)	110	96,22	82.48

TAULUKKO 11. Lohkeamis- ja palamurron ominaiskestävyys paksuja teräslevyjä käytettäessä, kun puun ominaistiheys on 300 kg/m³

Paksut teräslevyt			
Pultti (mm)	16	14	12
Reunapuu (mm)	64	56	48
Keskipuu (mm)	80	70	60
Reunapuu (mm)	64	56	48
(e) (h)	110	96,22	82.48
(d) (g)	159,1	138,7	125.2

TAULUKKO 12. Lohkeamis- ja palamurron ominaiskestävyys muissa murtumistavoissa, kun puun ominaistiheys on 300 kg/m³

Muut murtumistavat			
Pultti (mm)	16	14	12
Reunapuu (mm)	64	56	48
Keskipuu (mm)	80	70	60
Reunapuu (mm)	64	56	48
(c, f, j, k, m)	110	96,22	82.48

5.3 Laskennan analysointi

Liitoksen ominaiskestävyyksien laskemisessa huomioitiin useita eri asioita, jotka vaikuttavat liitoksen kestävyyskykyyn. Pultin halkaisija, niiden määrä ja sijoittelu liitoksessa, keski- ja reunapuiden paksuudet, teräslevyjen paksuudet sekä murtumistapa aiheuttivat useita eri tuloksia niin puikkoliitosteorian kuin lohkeamis- ja palamurron soveltuvuuden tutkimisessa.

Työssä havaittiin muutamia tapauksia, jotka antoivat laskennassa vastaavia tuloksia kuin laboratoriokeet. Tällaisia tapauksia olivat muun muassa yksileikkiset liitokset, kun käytettiin pelkästään puuosia ja murtumistapana olivat joko a tai b sekä murtumistavat e tai f, kun kappaleiden paksuudet kasvoivat.

Teräslevyjä käytettäessä liitoksen mitoitusarvot eivät vastanneet niin tarkasti koekallisesti määritettyjä tuloksia kuin puuosia käytettäessä. Muutamia tapauksia antoivat hyvin vastavia tuloksia, kunhan vain kappaleet olivat tarpeeksi paksuja.

Lohkeamis- ja palamurron osalta tulokset olivat niin kaukana, että erilaisia liitostyyplejä itsessään tarkasteltiin vähemmän. Näidenkin perusteella voitiin sanoa, ettei tämä laskentamalli soveltunut lainkaan tämän rakenteen kuormituksen mitoitukseen.

6 LABORATORIOKOKKEET

Tässä työssä käytetyt teräksiset liittimet ovat mittatilaustyönä teetetyt kulma-raudat sekä standardiin ISO 4762 kuuluvat metalliset puikkoliittimet. Nostotilanteessa käytettävät puutuotteet ovat kaikki CE-hyväksytyä puutavaraa sekä käytettävät päällysteraksit standardin EN 1492-2 mukaisia. Puutuotteiden jäykkyysominaisuudet ja ominaislujuudet vastaavat viiden minuutin kuormitusaikaa RH 65 %:n käyttöolosuhteissa. (RIL 205-1-2017. 2017, 49.)

6.1 Kokeiden suunnittelu

Kokeet suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion tiloissa. Koelaitteistona toimi Dartec-kuormituskehä. Ennen kokeita laitteesta mitattiin pulttien reikien etäisyydet sekä koot, joiden perusteella suunniteltiin kulmaraudat, joilla testikappaleet saataisiin kiinnitettyä koelaitteistoon.

Testikappaleita valmistettiin yhteensä neljä kappaletta. Kappaleista mitattiin ennen kokeita kosteuspitoisuudet, jotta tiedettiin kosteuden vaikutus kokeiden tulokseen. Kappaleiden kiinnityksessä käytettävien pulttien määrä vaihteli, jotta selvitettiin, kummasta päästä kappaleet halkeavat.

6.1.1 Laitteisto

Kuormituskokeet suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Laite, jolla kokeita suoritettiin, oli Dartec-nimellä tunnettu yleisaineenkoe-laitteisto. Laitteisto on tarkoitettu betonin, teräksen, puun ym. materiaalin lujuuden ja muodonmuutosominaisuuksien testaamiseen. Laitteistoon kuuluvat servohydraulinen kuormituskehä, mikrotietokone ja hydraulinen pumppuyksikkö. Laitteiston suurin kapasiteetti on 400 kN. (Kuva 9.)



KUVA 9. Kuormituskoelaitteisto

6.1.2 Kiinnitys

Koekappaleen kiinnittämiseksi kuormituskoelaitteistoon tarvittiin kulmaraudat (kuva 10). Tällaiset kulmaraudat tilattiin mittatilaustyönä paikalliselta konepajalta. Kulmaraudat tehtiin S355-luokan teräksestä 10 mm paksuna ja puikkoliittiminä käytettiin M10x100 koon kuusiokoloruuveja, jotka kuuluvat 12,9 lujuusluokkaan. (Teräsruuvien ja muttereiden mekaaniset ominaisuudet.)



KUVA 10. Kulmaraudat

6.1.3 Dimensiot

Testattavat puutavarat kuuluvat C24-lujuusluokkaan. Testikappaleet olivat kaikki 48x197 dimensiolla. Pituus kahdella kappaleella oli 700 mm ja toisella kahdella kappaleella 800 mm. Yhdessä 700 mm pitkässä kappaleessa oli 45 x 200 mm kooltaan oleva lovi sekä yhdessä 800 mm pitkässä kappaleessa 45 x 200 mm kooltaan oleva lovi.

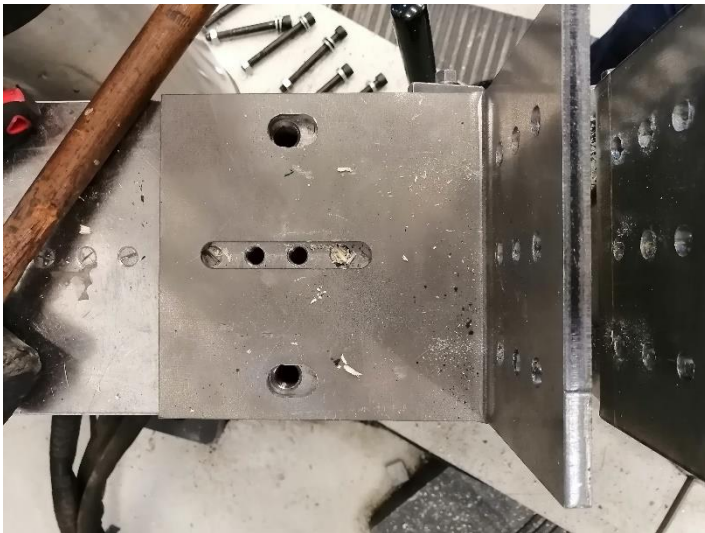
6.2 Kokeiden suorittaminen

Kokeet suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion tiloissa. Kokeita varten valmistettiin neljä koekappaletta, joita säilytettiin kuusi päivää huoneilassa, jossa ilman suhteellinen kosteus on noin 20-40 % ja lämpötila 20 °C. Ennen kokeita mitattiin kappaleiden kosteuspitoisuudet Gann RTU 600 –piikki-mittarilla. Kosteus mitattiin puun syiden suuntaisesti kappaleen ylä- ja alaosaista kahdesta kohdasta ja näistä laskettiin keskiarvo. (Taulukko 13.)

TAULUKKO 13. Koekappaleiden kosteuspitoisuudet

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Mittaus 4	Keskiarvo
Kappale 1	14,1	13,8	13,3	14,5	13,9
Kappale 2	12,2	13,8	14	13,8	13,5
Kappale 3	21,2	21,8	22,6	22,7	22,1
Kappale 4	27,0	30,0	35,6	29,2	30,5

Kuormituskoetta varten kulmarautoista porattiin puikkoliittimille varatut reiät (kuva 11) hieman isommaksi, jotta varmistuttiin kulmarautojen hyvästä istuvuudesta kuormituslaitteistoon ja siitä, että liittimet osuvat vaivatta vastakappaleeseen. Myöskin puukappaleista porattiin puikkoliittimien reikiä hieman isommaksi.



KUVA 11. Kulmaraudat

Testikappaleet aseteltiin tiukasti kulmarautojen väliin ja kiinnitettiin pulteilla kulmarautojen avulla kuormituslaitteistoon. Ensimmäiset kaksi kappaletta kiinnitettiin kuormituslaitteistoon yhdeksällä pultilla sekä kaksi seuraavaa kuudella pultilla. Pultit ovat kooltaan M10x100. Kulmaraudat kiinnitettiin kuormituslaitteistoon kahdella M17- ja yhdellä M13 -koon pultilla, jotka näkyvät kuvassa 12.



KUVA 12. Testikappaleen kiinnitys

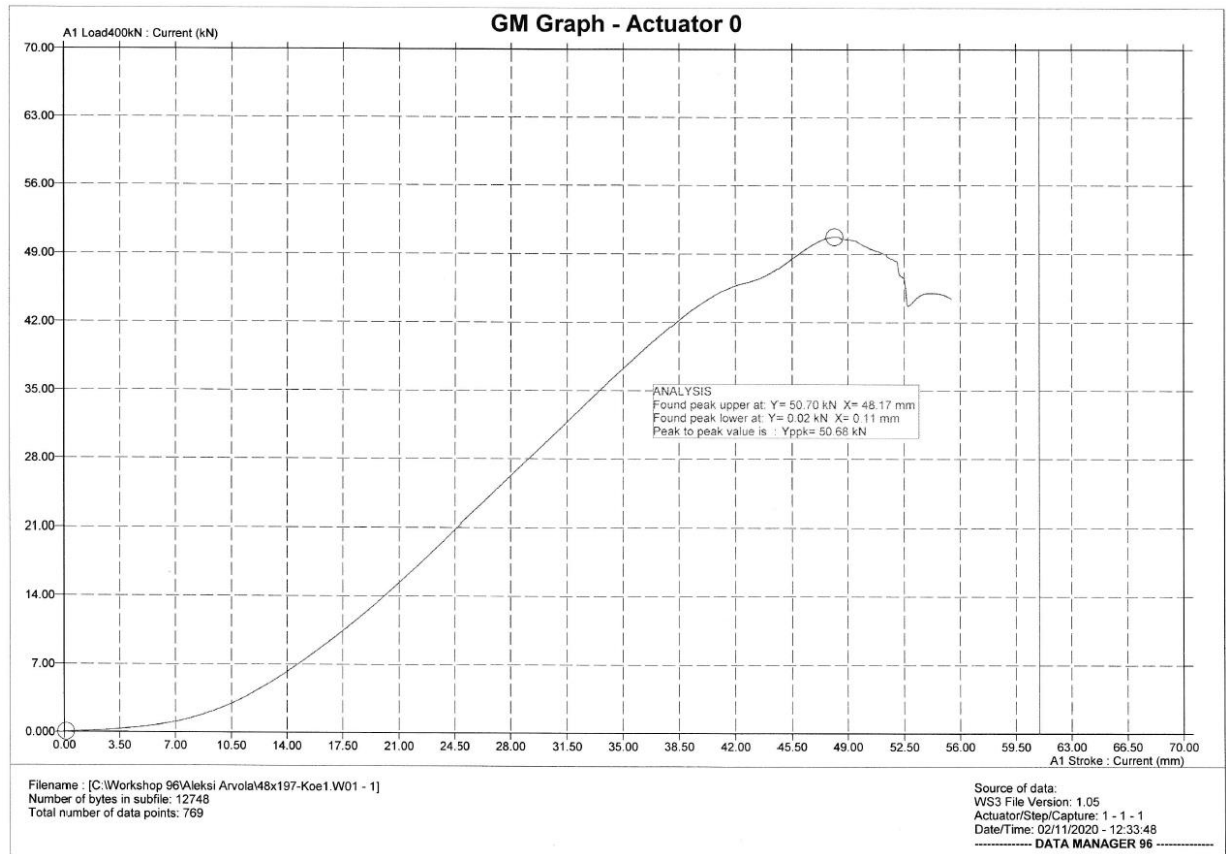
Tämän jälkeen nostoliina vedettiin kappaleessa olevan reiän läpi ja kiinnitettiin kuormituslaitteiston yläpäässä olevaan haarukkaan rautaputken avulla. Seuraavaksi kappaletta alettiin kuormittamaan nopeudella 0,5 mm/s ja kappaleen kuormitetusta jatkettiin niin kauan, kunnes kappaleen halkeamislujuus saavutettiin eikä kuormituksen jatkaminen ollut järkevää. (Kuva 13.)



KUVA 13. Testikappaleen kuormitus

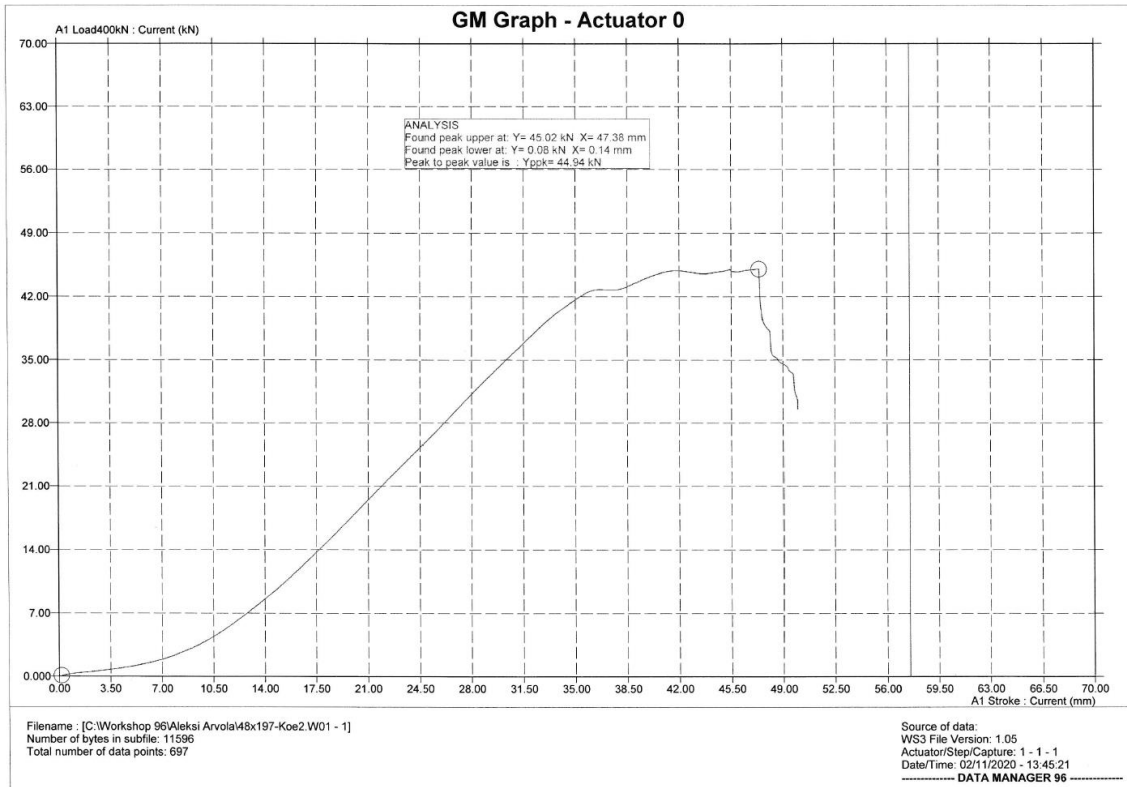
6.3 Laboratoriokokeiden tulokset

Kuvassa 14 on esitetty ensimmäisen laboratoriokokeen tulokset. Ensimmäisessä koekappaleessa ei ollut lovea lainkaan tolpan yläpäässä ja tolpan kiinnitys testilaitteen runkoon hoidettiin useammalla kiinnikkeellä kuin kolmannen ja neljännen koekappaleen.



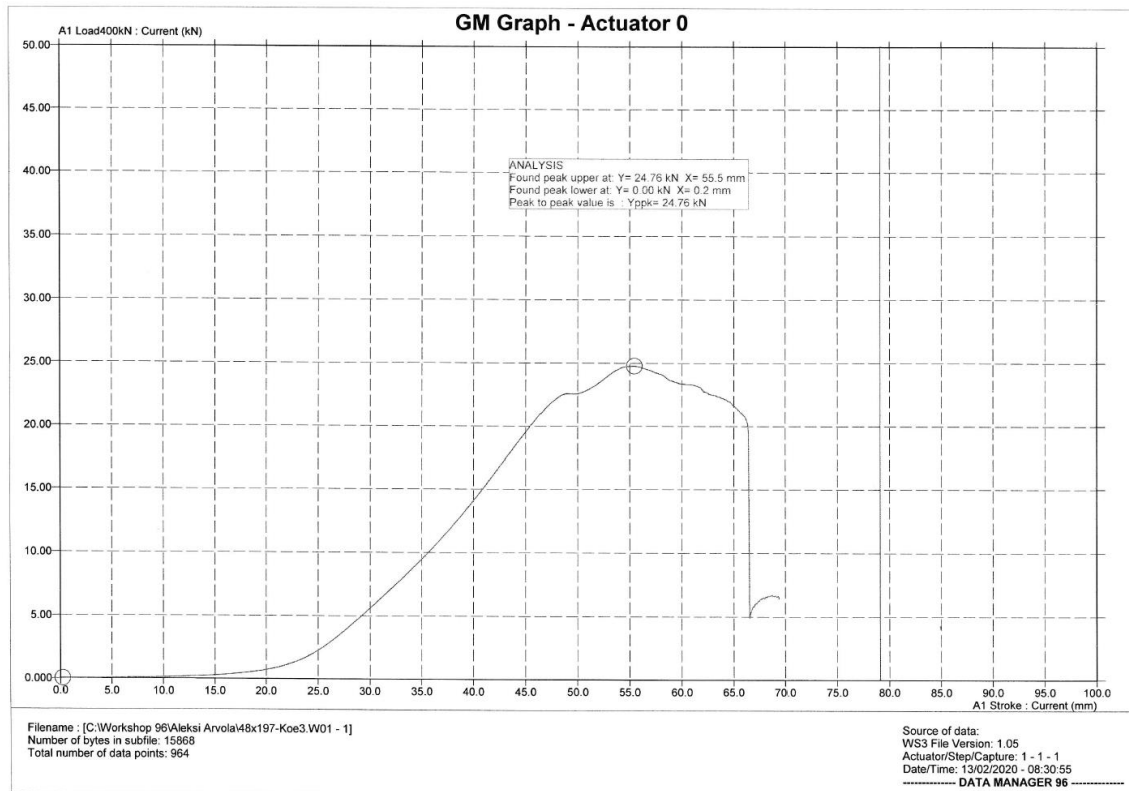
KUVA 14. Kokeen 1 tulokset

Kuvassa 15 on esitetty toisen laboriokokeen tulokset. Toisessa koekappaleessa oli lovi tolpan yläpäässä ja tolpan kiinnitys testilaitteen runkoon hoidettiin useammalla kiinnikkeellä kuin kolmannen ja neljännen koekappaleen.



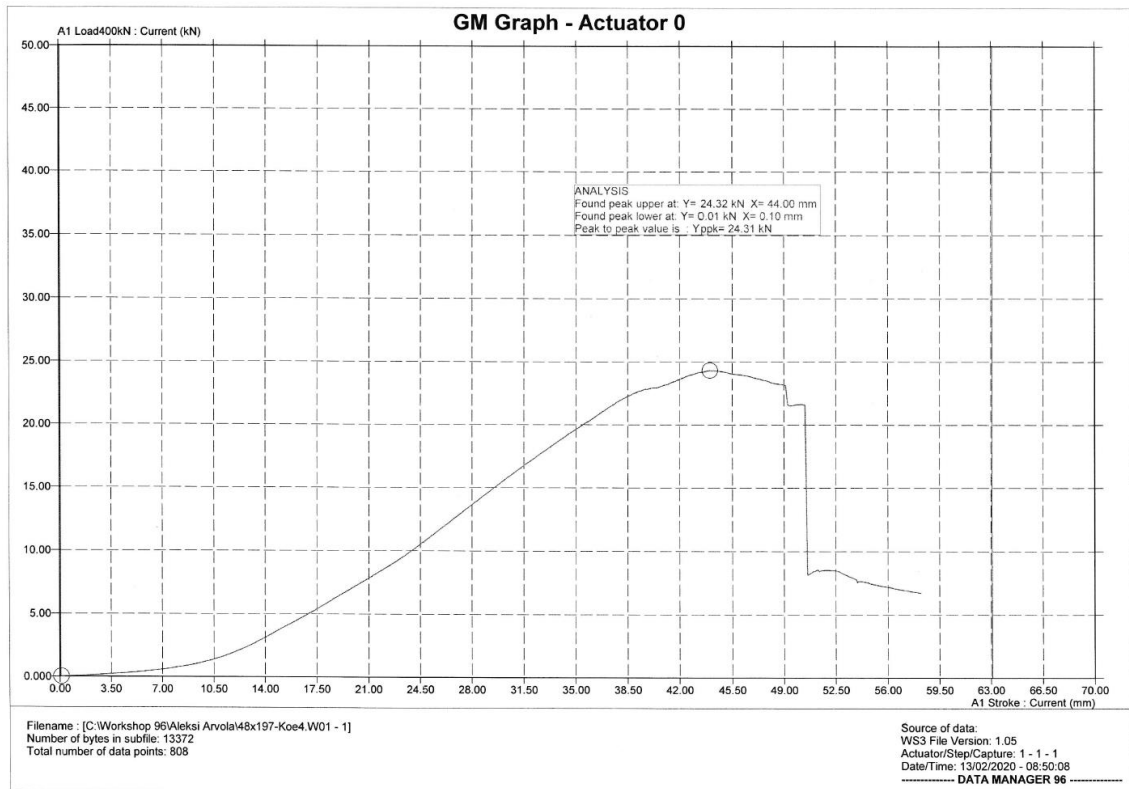
KUVA 15. Kokeen 2 tulokset

Kuvassa 16 on esitetty kolmannen laboratorikokeen tulokset. Kolmannessa koekappaleessa ei ensimmäisen koekappaleen lailla ollut lovea tolpan yläpäässä ja tolpan kiinnitys testilaitteen runkoon hoidettiin vähemmällä kiinnikemäärällä kuin ensimmäisen ja toisen koekappaleen.



KUVA 16. Kokeen 3 tulokset

Kuvassa 17 on esitetty neljännän laboriokokeen tulokset. Neljännessä koekappaleessa oli toisen koekappaleen lailla lovi tolpan yläpäässä ja tolpan kiinnitys testilaitteen runkoon hoidettiin vähemmällä kiinnikemäärällä kuin ensimmäisen ja toisen koekappaleen.



KUVA 17. Kokeen 4 tulokset

6.4 Laboratoriokokeiden yhteenveto

Laboratio-oloissa mitatut puukappaleiden kosteuspitoisuudet poikkeisivat hie-
 man toisistaan. Ensimmäisten kahden kappaleen kosteuspitoisuuden keskiarvon
 jäädessä alle 15 painoprosentin seuraavien kahden kappaleen keskiarvot olivat
 huomattavasti korkeammat nousten yli 20 ja jopa 30 painoprosentin. Eroa selit-
 täisi se, että kahta jälkimmäistä kappaletta ei aikataulusyistä keretty kuivaamaan
 laboratoriotilassa niin kauaa kuin olisi haluttu.

Kuormituskokeita suoritettiin yhteensä neljä kappaletta, ne tehtiin kaikki lähes sa-
 malla tavalla. Kahden ensimmäisen kokeen ja kahden jälkimmäisen kokeen
 erona oli ainoastaan koekappaleen alapään kiinnitys kuormituskehän runkoon
 sekä toisessa ja neljännessä kappaleessa ollut lovi.

Koekappaleet kiinnitettiin alapäästään kulmarauodoilla ja pulteilla kuormituskehän
 runkoon. Näin varmistettiin, että koekappaleet pysyivät pysty- ja sivusuunnassa

paikoillaan kuormituksen aikana. Yläpäästään koekappaleet kiinnitettiin kuormituskehässä olleeseen metalliseen nostosilmukkaan kappaleissa olevien reikien läpi vedettävillä nostorakseilla ja pultin avulla.

Tehtyjen kuormituskokeiden perusteella voidaan sanoa, että kappaleissa oleva kosteus vaikutti lujuuteen huomattavasti. Kahden ensimmäisen kappaleen lujuus ylsi lähes kaksinkertaiseksi verrattuna kahteen jälkimmäiseen kappaleeseen. Huomattavaa oli se, että kuivemmissä koekappaleissa kappaleiden yläpäässä oleva lovi vaikutti merkittävästi lujuuden alenemiseen ensimmäisen ja toisen koekappaleen välillä. Kosteammissa koekappaleissa lovi vaikutti myös lujuuden alenemiseen, mutta ei samassa suhteessa kuin pystysiirtymään.

7 YHTEENVETO

Opinnäyteyön tavoitteena oli selvittää kokeellisesti sekä laskennallisesti lujuusluokitellun puutavaran halkaisulujuus, kun puukappaletta kuormitetaan liinalla ylöspäin vedettäessä. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia, onko kappaleen kiinnityksessä käytettävien pulttien määrällä merkitystä sekä minkälainen vaikutus puun kosteuspitoisuudella on lujuteen.

Koetta suunniteltaessa keskityttiin sellaisiin puun lujuuksiin ja dimensioihin, joita käytetään yleisesti pientalorakentamisessa. Puukappaleissa keskityttiin selvittämään puun lujuus ilman lovea sekä lovettuna.

Liitoksen halkaisulujuudelle määritettiin laskennalliset arvot puikkoliitosteorian mukaisesti sekä yksi- että kaksileikkeisenä, kun liitoksessa käytetään liittiminä ohutta ja paksua metallilevyä tai puukappaletta. Myös liitoksen lohkeamis- ja palamurtumiskestävyyttä tarkasteltiin. Laskennallisia ja kokeellisesti saatuja tuloksia verrattiin keskenään ja tulosten perusteella arvioitiin laskennan soveltuvuutta tällaiselle liitokselle.

Tuloksista nähdään, että puussa oleva kosteus vaikutti lujuteen huomattavasti. Kolmannen ja neljännen koekappaleen ero on lähes puolet verrattuna ensimmäiseen ja toiseen koekappaleeseen. Kolmannessa ja neljännessä kappaleessa huomattava lujuuden heikentyminen johtui näiden kappaleiden suuremmasta kosteuspitoisuudesta. Ero ensimmäisen ja toisen koekappaleen välillä johtui toisessa koekappaleessa olevasta lovesta. Loven vaikutus oli huomattava kappaleissa, joissa kosteus oli alhainen, kun taas kosteammassa kappaleissa loven vaikutus oli lähes olematon.

LÄHTEET

Kovanen, Heini 2020. Mitoitusohjelman rakenne ja käyttöliittymä puurakenteiden liitoksille. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201410212846>. Hakupäivä 10.3.2020.

Mattila, Olli 2020. Pultiliitoksen laskentalomake. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9559/Mattila.Olli.pdf?sequence=2>. Hakupäivä 29.4.2020.

Pura, Pekka. 2020. Tekninen asiantuntija, Kastelli-talot Oy. Keskustelu 27.1.2020.

RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-EN 1995-1-1. 1995. Puurakenteiden suunnittelu. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9377.htm>. Hakupäivä 19.2.2020.

Teräsruuvien ja muttereiden mekaaniset ominaisuudet. ISO 898 / 2. Saatavissa: <https://www.ruuvihankinta.fi/images/pdf/HRHMekaaniset.pdf>. Hakupäivä 9.3.2020.

Toimeksiantajayrityksen sisäinen suunnitteluaineisto.

