

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tuomas Sorvari

VANERI-LIIMAPUULIITOKSEN KESTÄVYYS

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80160 JOENSUU

Tekijä
Tuomas Sorvari

Nimeke
Vaneri-liimapuuliitoksen kestävyys

Toimeksiantaja
Ari Kähkönen

Tiivistelmä

Vaneri-liimapuuliitos on uudenlainen tapa tehdä puisia liitoksia, missä ei käytetä minkäänlaisia mekaanisia liittimiä. Liitoksen idean pohjana on ollut luoda luja, itsenäisesti liimauspuristuksen muodostava ja esteettinen, lähes kaikkiin liitoksiin sopiva menetelmä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään liitoksen kestävyyttä, kun siihen kohdistuu veto-, taivutus- sekä leikkausrasitusta. Liitoksen kestävyys on arvioitu teoreettisesti laskemalla sekä suorittamalla lujuustestaukset.

Jo hyvin aikaisessa vaiheessa oli havaittavissa se, ettei kyseisen tyyppiselle liitokselle löydy täysin eksakteja faktoihin perustuvia laskentamalleja. Tästä syystä opinnäytetyössä esitetyt laskelmat eivät ole absoluuttisia totuuksia, vaan ne ovat omia ajatuksia liitokseen kohdistuvista rasituksista.

Joiltakin osin esitetyt laskelmat olivat lähellä todellista kestävyyttä, kun niitä vertailtiin lujuustesteissä saatuihin tuloksiin. Joiltakin osin laskelmat ovat suuntaa antavia, sillä ne perustuvat oletamuksiin. Tästä syystä laskelmat eivät sellaisenaan ole käyttökelpoisia ilman jatkotutkimuksia.

Tulosten perusteella suosittelisin lisätiestien tekemistä erikokoisilla liitoksilla ja materiaaleilla, jotta voitaisiin kehittää laskentamalleja. Myös liitoksen mallintamiseen soveltuvan ohjelman, jolla voi simuloida rasituksia, löytäminen olisi tärkeää. Tällöin ohjelman avulla voisi kokeilla eri ratkaisujen vaikutusta liitoksen kestävyYTEEN.

Kieli
suomi

Sivuja 242
Liitteet 8

Asiasanat

Vaneri, liimapuu, puurakentaminen, liitos



THESIS
April 2014
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
FI 80160 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author
Tuomas Sorvari

Title
Endurance of Plywood-Glued Laminated Joint

Commissioned by
Ari Kähkönen

Abstract

Plywood-glued laminated timber joints is a new way to make wood joints which do not require any kind of mechanical connectors. The connection is based on the premise of creating a strong, independently forming glue compression and an aesthetic method suitable for almost all connections.

This thesis deals with joint resistance when subjected to tensile, bending and shear stresses. The joint resistance is estimated theoretically by calculating and performing strength tests.

At a very early stage, it was observed that this type of connection is not based on any fully-fact-based computing model. For this reason, the calculations in this thesis are not absolute truths, but merely thoughts on the stresses generated on the connections.

In some respects, the calculations were close to actual endurance when compared to the strength test results. In other respects, the calculations are only indicative, as they are based on assumptions.

Based on the results, in order to develop computational models, I recommend that additional tests should be done with different sizes of joints and different materials. It would also be important to develop a modeling program suitable for simulating stresses, in which case, the program would allow the user to try out the effect of different solutions to the sustainability of the joint.

Language

Finnish

Pages 242

Appendices 8

Keywords

Plywood, glued laminated timber, wood construction, joint

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Tausta	6
1.2	Tavoitteet	6
1.3	Rajaus	7
2	Vaneri-liimapuuliitos.....	7
2.1	Liitoksen synty	7
2.2	Liitoksen osat.....	9
2.2.1	Vaneripala.....	10
2.2.2	Kiinnitystapit.....	11
2.2.3	Liitettävät kappaleet.....	11
2.2.4	Liitoksessa käytettävä liima	11
2.3	Liitoksen rakenne ja sen kokoaminen	12
2.4	Liitoksen hyödyt	17
2.5	Liitoksen haitat	17
3	Materiaaliominaisuudet	18
3.1	Poratapit	18
3.2	Vaneripala.....	19
3.3	Liimapuu	19
3.4	Liima	20
4	Teoreettiset laskelmat	20
4.1	Vetolujuustesti	21
4.1.1	Liitoksen kestävyys murtotavan 1 mukaan	22
4.1.2	Liitoksen kestävyys murtotavan 2 mukaan	24
4.1.3	Liitoksen kestävyys murtotavan 3 mukaan	26
4.1.4	Liitoksessa käytetty liima.....	28
4.1.5	Johtopäätös liitoksen kestävydestä vetolujuustestissä	29
4.2	Leikkauslujuustesti	30
4.2.1	Liitoksen kestävyys leikkauslujuustestissä	31
4.2.2	Johtopäätös liitoksen kestävydestä leikkauslujuustestissä	33
4.3	Taivutuslujuustesti	34
4.3.1	Liitoksen kestävyys taivutuslujuustestissä	34
4.3.2	Johtopäätös liitoksen kestävydestä taivutuslujuustestissä	36
5	Lujuustestaukset	36
5.1	Vetolujuustesti	37
5.1.1	Liitoksen vetolujuuden testaustapa	37
5.1.2	Testikappaleen vauriot	39
5.2	Leikkauslujuustesti	41
5.2.1	Liitoksen leikkauslujuuden testaustapa	41
5.2.2	Testikappaleen vauriot	44
5.3	Taivutuslujuustesti	48
5.3.1	Liitoksen taivutuslujuuden testaustapa	48
5.3.2	Testikappaleen vauriot	50
6	Tulosten vertailu laskelmiin.....	53
6.1	Vetolujuus.....	53
6.2	Leikkaus	54
6.3	Taivutus	55
7	Pohdinta.....	56
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1	Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä
Liite 2	Liimaliitoksen kestävyys vetolujuustestissä
Liite 3	Liittimien kestävyys leikkauslujuustestissä
Liite 4	Liimapuun puristuslujuus leikkauslujuustestissä
Liite 5	Halkeamiskestävyys taivutuslujuustestissä
Liite 6	Vetolujuustestauksen raportti
Liite 7	Leikkauslujuustestauksen raportti
Liite 8	Taivutuslujuustestauksen raportti

1 Johdanto

1.1 Tausta

Vaneri-liimapuuliitos on Ari Kähkösen kehittämä liitostyyppi, joka soveltuu pilari-palkkimenetelmin tehtyihin rakenteisiin. Liitoksen ollessa uudentyyppinen syntyi tarve saada selvitettyä liitoksen kestävyyttä. Opinnäytetyön tilaajana toimi Ari Kähkönen, johon tutustuin Timberbros Oy:n kautta. Tutkimuksen rahoittajana toimi Jorma Pulkkinen Lieksan LM-rakenteesta.

Teoreettisten laskujen suorittamista varten tutustuin puurakentamisen alan kirjallisuuteen sekä internetistä löytyviin julkaisuihin löytääkseni sopivia ratkaisuja liitoksen lujuuden määrittämiseksi.

Täysin varmoja laskentamalleja ei kuitenkaan löytynyt, joten tässä opinnäytetyössä esitetyt laskelmat eivät sellaisenaan ole käyttökelpoisia, vaan ne ovat näkemyksiä kestävyydestä ja ideoita, mikäli liitoksen kestävyuden laskentatapa halutaan kehittää.

Vaikka liitoksen patenttihakemus on vielä käsittelyssä, niin Ari Kähkösen luvalla tämä opinnäytetyö on julkinen.

Valitsin aiheen opinnäytetyökseni, koska uudenlaisen rakennustavan tutkiminen vaikutti minusta erittäin mielenkiintoiselta.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa liitokseen syntyvistä vaurioista, kun sitä rasitetaan eri rasitustapauksilla, jotta selviäisi, miten liitosta voisi kehittää. Myös oikeanlaisten laskentamallien löytäminen oli yksi opinnäytetyön tavoitteista.

Lujuustestaukset suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa. Lujuustestauksissa suoritettiin testit leikkaukselle, taivutukselle sekä vedolle.

1.3 Rajaus

Lujuustesteissä saatujen tulosten perusteella arvioitiin liitoksen kestävyyttä. Arvioinnissa ei kuitenkaan ole otettu huomioon sitä, miten rasitustavat muuttuisivat, mikäli kyseessä olisi varsinainen rakenne. Liitoksen kestävyyttä on siis arvioitu sillä perusteella, että suoritettavien testien aiheuttamat rasitukset ovat yksittäiskomponentteja.

Alkuperäiseen suunnitelmaan kuului myös liitoksen mallintaminen, mutta se on jätetty pois, koska periaatteessa mielivaltaisen kappaleen luominen 3D-muotoon olisi ollut erittäin haastavaa ja kohtuuttomasti aikaa vievää.

2 Vaneri-liimapuuliitos

2.1 Liitoksen synty

Liitoksen kehittäjää Ari Kähköstä oli pitkään kiinnostanut rakentamisessa käytettävä pilari-palkkiteknikka. Aikaisemmin hän oli tehnyt pienempiä liitoksia huonekaluihin sekä terassirakenteisiin japanilaista liitostekniikkaa hyväksi käyttäen. Japanilaisessa liitoksessa ei käytetä apuna mekaanisia liittimiä ja näin saadaan siisti liitos, jonka voisi jättää näkyviin ilman, että näkyvissä olisi lähinnä esteettisesti epämiellyttäviä osia. Japanilaisia liitoksia on kuitenkin hyvin monia, ja siitä lähtikin idea kehittymään, voisiko liitokset tehdä yhdellä yksinkertaisella mallilla (kuva 1).

Idea irtopontista tuli Kähkösen päätyöstä veneenrakentajana. Irtopontilla tässä liitoksessa tarkoitetaan vaneri kappaletta. Irtopontti juontuu veneenrakentamisesta siten, että esimerkiksi tehtäessä paneeleita veneeseen, on helppo tehdä niihin molemmin puolin naaraspontit ja sitten liittää kaksi naaraspontillista pa-

neelia toisiinsa sopivalla puusuikaleella. Eli liitoksessa liitettävissä liimapuukappaleissa on urat ja ne liitetään toisiinsa vanerikappaleella



Kuva 1. Testattavan kappaleen muoto

Kiilatappikiristys-idea liitokseen syntyi siitä, että työmailla liitokseen olisi muuten erittäin vaikea saada puristusta, varsinkin 45 asteen kulmassa oleviin diagonaalirakenteisiin. Kunnon puristus on tärkeää saada, jotta liitoksen liimasaumasta tulee tiivis.

Vanerikappaleessa olevan viisteen (kuva 2) idea on myös lähtöisin veneenrakentamisesta hankitusta kokemuksesta. Kun veneenrakentamisessa tehdään pituusjatkos, on viisteen oltava 1:10 - 1:12:een. Kun tällaiset viisteet tehdään ja vanerikappaleet liimataan sekä puristetaan toisiinsa, on se yhtä kestävä kuin ehjä vaneri. Liitoksessa käytettävä viiste on noin 1:7:ään. Lisäksi viiste antaa liitoksia toisiinsa liitettäessä noin viiden millimetrin ohjausvaran, joka helpottaa työskentelyä asennusvaiheessa.



Kuva 2. Vanerikappaleen profiili

Vanerikappaleen ovaalimaisen muodon (kuva 3) idea on siinä, että se ohjaa liitoksen liitettävän kappaleen uran pohjalle saakka, varsinkin kun kyseessä on 45 asteen liitokset, esim. tukina käytettävät diagonaalirakenteet, jotka asennetaan paikoilleen vasta sen jälkeen, kun horisontaali- ja vertikaalirakenteet ovat jo paikallaan.

Liitokselle on haettu patenttia 14.11.2013, jonka käsittely on vielä kesken. Patenttihakemuksen keskeneräisyydestä huolimatta tämä työ ei ole salainen. Patentin lisäksi on 11.11.2014 haettu PCT-lisälauseke. PCT-hakemuksen hyväksyminen antaa option jättää kansallisia tai alueellisia patentti- ja hyödyllisyysmallihakemuksia PCT-järjestelmässä mukana oleviin maihin tai Euroopan patenttivirastoon.

2.2 Liitoksen osat

Seuraavissa luvuissa on esitetty liitoksen osat, joita on käytetty testattavissa liitoskappaleissa.

Varsinaisissa rakenteissa, kuten omakotitalon runkorakenteissa, käytetään samoja materiaaleja, mutta liimapuurakenteet ovat rakennemitoituksen mukaisia ja tällöin poikkipinta-alaltaan isokokoisempia. Varsinaisessa rakenteessa on myös kaksi vaneripalaa liitosta kohden, kun testikappaleissa niitä on yksi.

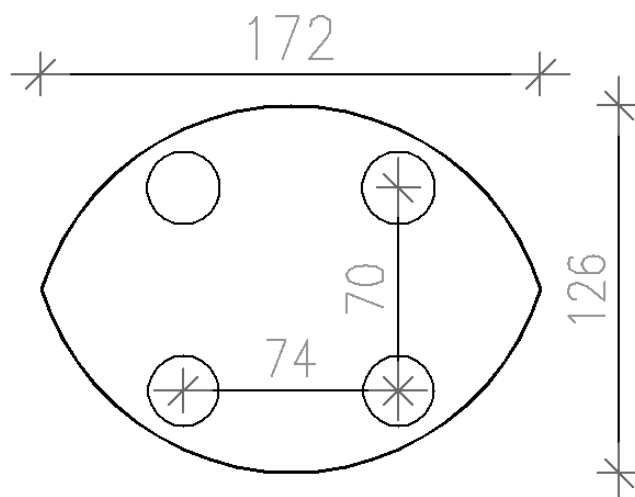
Vaikka liimapuun koko muuttuukin rakenteita mitoitettaessa, pysyy vanerikappaleen sekä poratappien koko samana.

2.2.1 Vaneripala

Vanerilaatuna liitoksessa on käytetty 24 mm:n paksuista suomalaista koivuvaneria (kuva 3). Vaneripala on ovaalin muotoinen ja sen reunat on viistetty noin 30 mm:n matkalta. Vaneripalassa on neljä kappaletta halkaisijaltaan 16 mm:ä olevaa reikää symmetrisesti sijoitettuna (kuva 4). Vaneripalan reunan paksuus on 15 mm:ä.



Kuva 3. Liitospala. Suomalaisesta koivuvanerista tehty liitospala, jota käytetään liitoksessa liittämään liimapuurakenteet toisiinsa



Kuva 4. Liitospalan mitat

2.2.2 Kiinnitystapit

Kiinnitystappeina liitoksessa on käytetty halkaisijaltaan 16 mm:ä koivusta valmistettuja poratappeja. Poratappien pituus on liitettävän kappaleen paksuus. Yhdessä liitoksessa on neljä kappaletta poratappeja. Liitoksessa käytetään puisia liittimiä sen takia, koska silloin liitosta ei tarvitse palosuojata. Mikäli käytettäisiin esimerkiksi tappivaarnaa, olisi liitoksen palonkestokesto aika vain 20 min [8, s.55].

2.2.3 Liitettävät kappaleet

Liitettävät kappaleet joita testikappaleissa on käytetty, ovat 90x90 liimapuuta, jonka lujuusluokitus on GL32c. Liimapuun GL32 merkintä on lujuusluokka ja se tarkoittaa liimapuun taivutuslujuutta, joka tässä tapauksessa on 32 N/mm^2 . GL-etuliite tulee englannin-kielisistä sanoista Glued Laminated eli liimaamalla lamiinoitu. Merkintä c tarkoittaa, että liimapuu on koottu eri lujuusluokan lamelleista.

Testattava liitospala koostuu kahdesta liitettävästä kappaleesta. Toinen on 90x90 kappale, johon on tehty vaneripalalle ura puunsyiden suuntaan. Toinen kappale koostuu kahdesta toisiinsa liimatusta 90x90 liimapuusta, joihin on tehty vaneripalalle ura puunsyitä vastaan.

2.2.4 Liitoksessa käytettävä liima

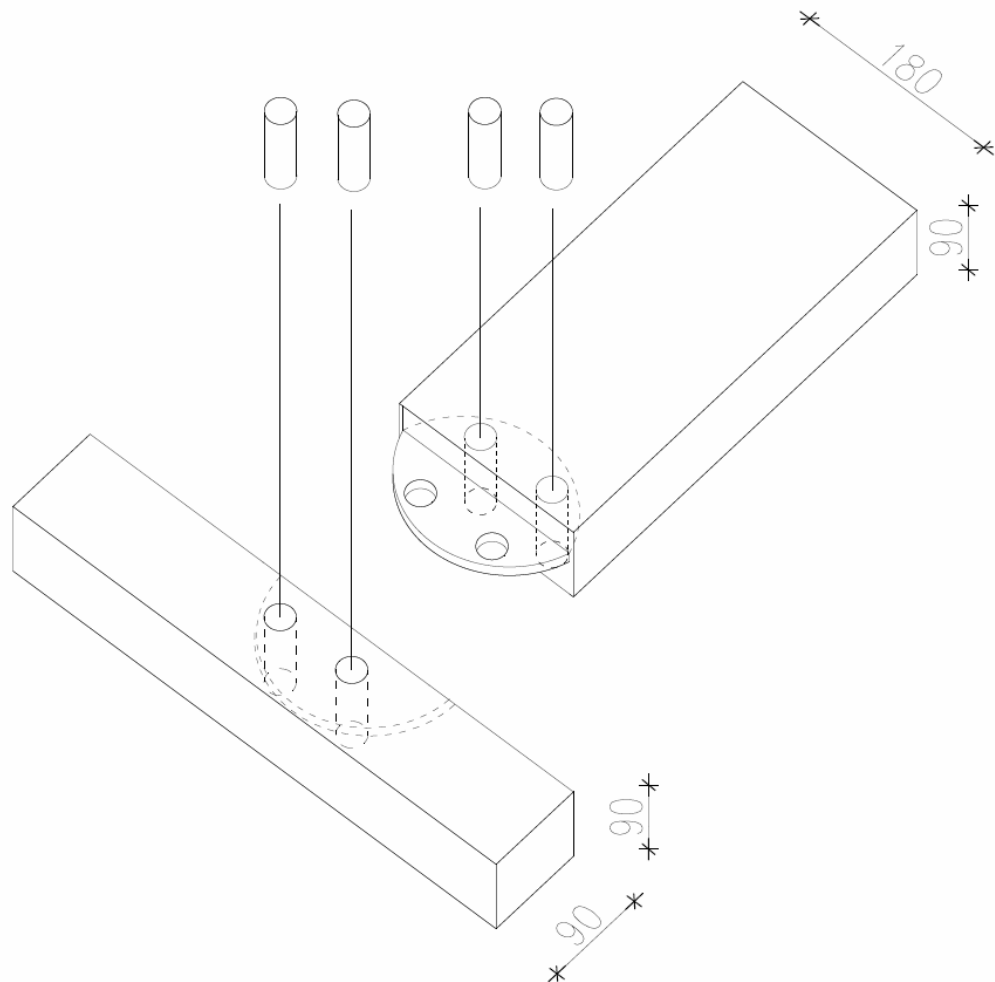
Liimana, joka liittää vaneripalan liimapuuhun, on käytetty Soudalin Pro 45P- polyuretaanipohjaista puuliimaa.

Liitoksessa käytetyllä liimalla ei ole CE-merkintää. CE-merkintä on valmistajan ilmoitus siitä, että tuote täyttää sitä koskevat Euroopan unionin vaatimukset.

Liimana voi käyttää puulle tarkoitettua liimaa, joka soveltuu ulkokäyttöön.

2.3 Liitoksen rakenne ja sen kokoaminen

Liimapuurakenteet liitetään toisiinsa siten, että molempien kappaleiden keskelle tehdään hieman liitospalan puolikasta suurempi ura (kuvat 5 ja 6).



Kuva 5. Liitoksen rakenne. Kuvassa on esitetty testattavien koekappaleiden mitat sekä niiden rakenne

Testattaviin kappaleisiin ura on tehty puusepän alajyrsimellä, mutta varsinaisessa rakenteessa ura tehdään puutavaran käsittelyyn erikoistuneella tehtaalla jyrsimällä tietokoneohjatulla NC-koneella.

Seuraavat kuvat 6-12 ovat Ari Kähkösen Lieksan Kolilla sijaitsevalta työmaalta. Rakennettava kohde on kerrosalaltaan 95,5 m² ja huoneistoalaltaan 85 m² oleva versta



Kuva 6. Liimapuun urat. Liimapuussa näkyvät urat, joihin vanerinen liitospala asennetaan

Tämän jälkeen urat täytetään ulkokäyttöön soveltuvalla liimalla tai eristevaahdolla (kuva 7). Ennen liiman tai eristevaahdon laittamista on tarkastettava, ettei urissa ole vettä tai irtonaista likaa, joka haittaa liiman tai eristevaahdon tarttumista liimapuuhun. Liimaa tai eristevaahtoa on laitettava uriin riittävästi, jotta täydellinen levittyvyys koko pinta-alalle liitospalan ja liimapuun välille on turvattu. Mikäli rakennetaan talvella, on liiman käytössä noudatettava valmistajan ohjeita liiman talvikäytön suhteen.



Kuva 7. Liima tai eristevaahdo. Uriin laitetaan liima tai eristevaahtoa tartunnan parantamiseksi

Kun urissa on riittävä määrä liimaa tai eristevaahtoa, asetetaan liitoskappaleet paikoilleen (kuva 8).



Kuva 8. Vanerikappaleiden asennus. Vanerikappaleet asennettuina liimapuussa oleviin uriin

Poratappien asentamisen helpottamiseksi laitetaan reikiin ensin teräksiset ohjaustapit, jotta vanerikappaleissa olevat reiät asettuvat kohdilleen liimapuussa olevien reikien kanssa (kuva 9). Mikäli ilman tätä työvaihetta lähtisi poratappeja asentamaan paikoilleen, olisi erittäin todennäköistä se, että poratapit menisivät poikki asennusvaiheessa kun niitä nuijitaan paikoilleen.



Kuva 9. Teräksiset ohjaustapit. Ohjaustapeilla asennetaan vanerikappale kohdilleen, jotta poratappien asennus helpottuisi

Kun molemmat ohjaustapit on asennettu paikoilleen, otetaan toinen niistä pois ja reikään asennetaan poratappi (kuva 10). Kun ensimmäinen poratappi on kunnolla paikallaan, otetaan toinen ohjaustappi pois ja reikään asennetaan toinen poratappi.

Poratappeja asennettaessa on niille suoritettava silmämääräinen laaduntarkistus. Mikäli poratappeissa on oksia, ei niitä tule käyttää, sillä oksat heikentävät poratappien kestävyyttä.



Kuva 10. Poratapit. Poratapit asennetaan paikoilleen yksi kerrallaan varovasti nuijimalla



Kuva 11. Liitos. Liitoksen toinen puoli on valmis

Kun liitoksessa on vaneriset liitoskappaleet sekä poratapid paikoillaan (kuva 11), poistetaan ylimääräinen liima tai eristevaahto. Mikäli rakenteen on tarkoitus jäädä näkyviin, on tässä vaiheessa hyvä myös siistiä poratappien päät. Liitettäessä valmis liitoksen puolikas toiseen puolikkaaseen toimitaan täysin samalla tavalla kuin ensimmäistä puolikasta tehtäessä. Tämän jälkeen liitos on valmis (kuva 12).



Kuva 12. Liitokset. Valmiita liitoksia siistimistä vaille.

2.4 Liitoksen hyödyt

Koska liitoksessa ei käytetä esimerkiksi naulauslevyjä tai kulmalevyjä, tulee liitoksesta siisti. Tämän johdosta voidaan runkorakenteet jättää tarpeen vaatiessa näkyviin ilman esteettisesti epämiellyttäviä kokemuksia.

Liitoksen tekemisessä ei myöskään tarvitse käyttää sähköllä tai paineilmalla toimivia työkaluja, vaan pelkkä puinen nuija riittää poratappien paikalleen saamiseen. Tämä helpottaa rakentamista paikoissa, joissa ei ole jostain syystä sähköä saatavilla, kuten saaristossa.

Vaneri-liimapuuliitos soveltuu myös elementtiteollisuuden tarpeisiin. Tällöin elementtejä voisi liittää toisiinsa liitostekniikkaa hyväksi käyttäen.

2.5 Liitoksen haitat

Liitoksen kokoamista varten ei ole käytännössä olemassa minkäänlaisia koneita, joita voisi käyttää apuna ja siten nopeuttaa työskentelyä.

Toinen ongelma tulee siitä, ettei uudentyyppiselle liitokselle ole olemassa valmiita kaavoja, joita voisi käyttää kestävyyslaskentaessa. Tämän johdosta pitää käyttää tällä hetkellä olevia laskutapoja, jotka ovat lähellä tämän liitoksen toimintatapaa, ja tarpeen mukaan soveltaa niitä.

Kolmas ongelma on liitoksessa käytettävät poratapit. Niille ei löydy tilastoituja ominaislujuuksia. Tästä johtuen olen käyttänyt koivun tiheyteen perustuvia ominaislujuuksia. Poratapit eivät myöskään ole lujuusluokiteltuja, joten niiden ominaislujuuksien vaihteluista ei ole minkäänlaista varmuutta. Poratappien kestävyyksistä olisi hyvä tehdä jatkotutkimuksia tasalaatuisuuden varmistamiseksi.

3 Materiaaliominaisuudet

3.1 Poratapit

Poratapin tiheyttä tai muita ominaislujuuden arvoja ei löytynyt mistään kirjallisuudesta eikä internetistä alan sivustoilta, minkä vuoksi se piti itse selvittää. Yritin myös sähköpostilla tiedustella suomalaiselta poratappien valmistajalta asiasta, mutta en saanut siihen minkäänlaista vastausta. Tiheys oli kuitenkin tärkeä selvittää, koska koivun lujuusominaisuudet vaihtelevat suuresti tiheyden mukaan. Tästä syystä määritin poratappien tiheyden itse.

Tiheyden ρ laskenta on esitetty kaavassa 1. [3, s.299]

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

jossa m = kappaleen massa
 V = kappaleen tilavuus
 ρ = kappaleen tiheys

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

jossa r = pohjaympyrän säde
 h = kappaleen korkeus

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{11,4g}{\pi \cdot (8mm)^2 \cdot 105mm}$$

$$\rho = 0,00054 \text{ g/mm}^3 = 540 \text{ kg/m}^3$$

Poratapin tiheydeksi saatiin laskemalla 540 kg/m^3 . Tämän tiheyden perusteella valitsin koivun lujuuden ominaisarvoksi koivun 600 kg/m^3 tiheyden mukaiset arvot, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koivun ominaislujuudet tiheydellä 600 kg/m³ [4]

Rasitus		Ominaislujuus (N/mm ²)
Taivutus	$f_{m,k}$	144
Veto	$f_{t,0,k}$	134
	$f_{t,90,k}$	6,9
Puristus	$f_{c,0,k}$	80
	$f_{c,90,k}$	
Leikkaus	$f_{v,k}$	13

3.2 Vaneripala

Suomalaisen 24 mm:ä paksun koivuvanerin ominaislujuudet on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 0° on rasituksen ollessa pintaviilujen syysuunnassa ja 90° on rasituksen ollessa pintaviilujen syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa.

Taulukko 2. Suomalaisen 24 mm:ä paksun koivuvanerin ominaislujuudet. [1, s.51]

Rasitus	Kulma	Ominaislujuus (N/mm ²)
Taivutus $f_{m,k}$	0°	38,9
	90°	34,4
Veto $f_{t,k}$	0°	38,8
	90°	36,2
Puristus $f_{c,k}$	0°	26,9
	90°	25,1
Leikkaus $f_{v,k}$	0°	9,5
	90°	9,5
Tasoleikkaus $f_{r,k}$	0°	3,62
	90°	2,39

3.3 Liimapuu

Liimapuun ominaislujuudet on esitetty taulukossa 3. Taulukossa 0° on ominaislujuus rasituksen ollessa syysuunnassa ja 90° on ominaislujuus rasituksen ollessa syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa.

Taulukko 3. Liimapuun GL32c ominaislujuudet. [1, s.48]

Rasitus		Ominaislujuus (N/mm ²)
Taivutus	$f_{m,k}$	32
Veto	$f_{t,0,k}$	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	26,5
	$f_{c,90,k}$	3,0
Leikkaus	$f_{v,0,k}$	3,2
	$f_{v,90,k}$	1,6

3.4 Liima

Soudal Pro 45P- puuliiman ominaislujuudet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Soudal Pro 45P- puuliiman valmistajan ilmoittamat ominaislujuudet [5, s.2]

Rasitus	Ominaislujuus (N/mm ²)
Puristus	0,098
Katkaisulujuus	>10

4 Teoreettiset laskelmat

Seuraavat laskelmat eivät perustu mihinkään eksakteihin laskentamalleihin, koska tämän tyyppiselle liitokselle ei ole siihen suoraan soveltuvia laskentamalleja. Laskelmat ovat omia näkemyksiäni liitoksen kestävydestä, jotka perustuvat siihen, miten näen liitoksen rasittuvan testattavien rasitusmuotojen osalta.

4.1 Vetolujuustesti

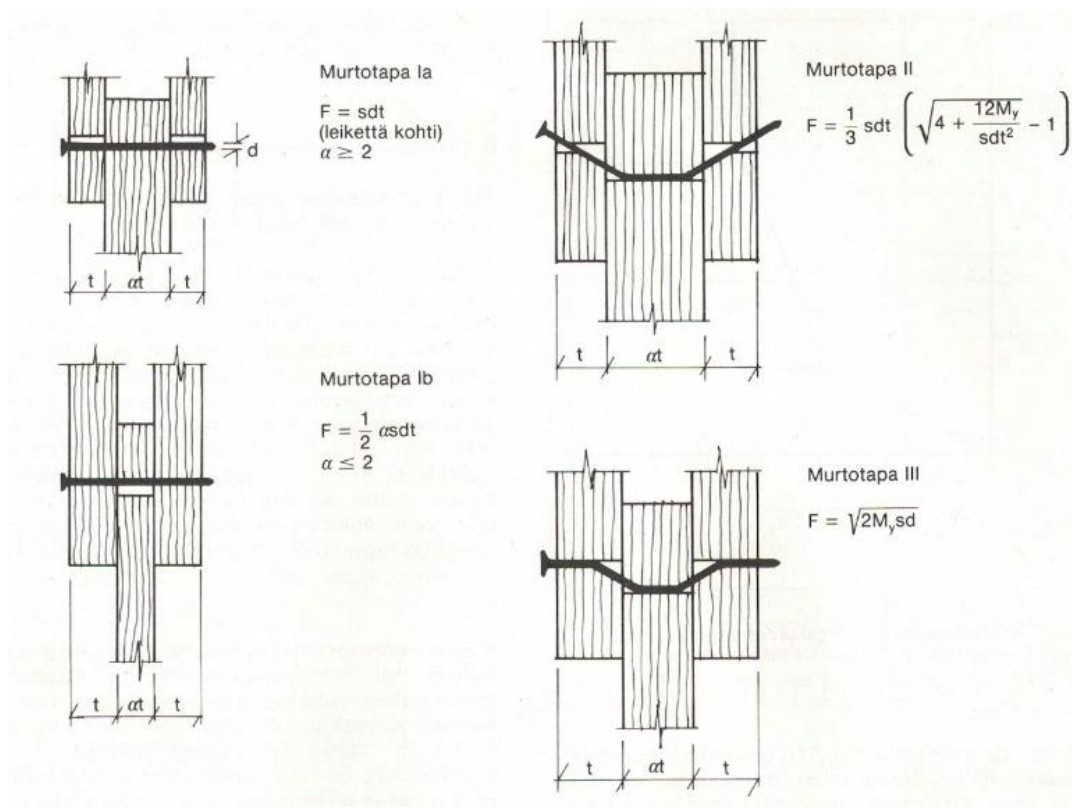
Poratappien kestävyysliitoksen osana ei löytynyt euronormeista eikä alan kirjallisuudesta valmiita laskentamalleja. Löysin kyllä erilaisia liitoksia useita, mutta niissä aina liittimen oletettiin olevan esimerkiksi naula tai pultti. Tästä syystä sovelsin jo olemassa olevia laskentamalleja.

Kestävyyslaskemisen pohjaksi valitsin tanskalaisen K.W. Johansenin kehittämän puikkoliitosteorian [2, s.49]. Tämänkin laskentamallin käytössä pitää kuitenkin olla kriittinen, koska laskennan yhtenä osana on liittimen myötölujuus, jonka käyttö on tarkoitettu teräslitoksen ominaisuuden tutkimiseen. Liitoksen murtotavat on esitetty kuvassa 13.

Liitoksen materiaaleista liimapuu sekä vaneri on oletettu homogeenisiksi materiaaleiksi liimapuun arvoilla, koska mikään kaava johon tutustuin, ei ottanut huomioon keskimmäisen liitososan ominaisarvoja.

Tämänkin laskentamallin osalta, pitää tosin esittää voimakkaita varauksia sillä laskennan pohja on luotu teräksistä liitintä varten.

Liitoksen kestävyysliitoksen vaikuttaa myös liimaliitoksen kestävyys leikkausvoimaa vastaa.



Kuva 13. Murtotavat. 2-leikkeisen symmetrisen liitoksen murtotavat [2, s.49]

4.1.1 Liitoksen kestävyys murtotavan 1 mukaan

Murtotapauksessa 1 on kaksi vaihtoehtoa (kuva13) jolla kestävyys lasketaan. Se kumpaa kaavaa määräytyy vanerikappaleen leveyden suhteesta liimapuuhun. Aluksi on selvitettävä kertoimen α suuruus jonka suuruus on esitetty kaavassa 2.

$$\alpha = \frac{t}{\alpha t} \quad (2)$$

jossa t = liitososan paksuus
 αt = liitoskappaleen paksuus

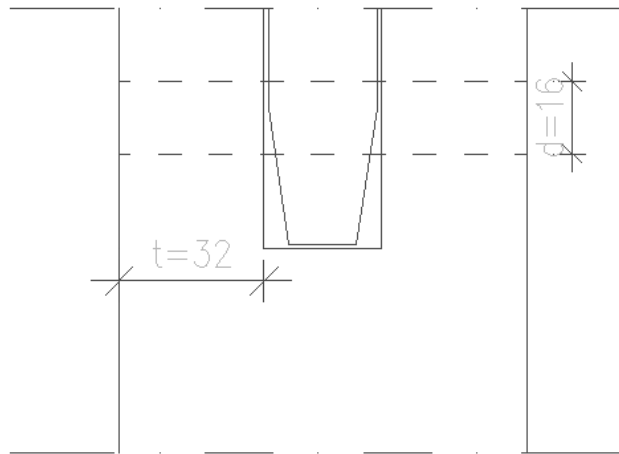
Sijoittamalla kaavaan arvot $t = 32$ ja $\alpha t = 24$ saadaan kertoimen α arvoksi 1,33. Tällöin ensimmäisen murtotavan kahdesta vaihtoehdosta käytetään tapaa 1b, koska kerroin on alle kaksi (kuva 13).

Murtotavan 1b mukainen kestävyys F laskenta on esitetty kaavassa 3. [2, s.49]

$$F = \frac{1}{3} \alpha f_{h,k} d t$$

(3)

jossa α = suhdekerroin
 $f_{h,k}$ = puun reunapuristuslujuus
 d = liittimen paksuus (kuva 14)
 t = liitososan paksuus (kuva 14)



Kuva 14. Mitat. Liitoksen t- ja d-mitat joita on käytetty kaavoissa 3

Liimapuun reunapuristuslujuuden $f_{h,k}$ laskenta kulmassa α syysuuntaan nähden on esitetty kaavassa 3. [1, s.114]

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (4)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d$$

missä ominaistiheyden ρ_k yksikkö on kg/m^3 ja poratapin paksuuden yksikkö d on mm.

Vanerin reunapuristuslujuuden $f_{h,k}$ laskenta on esitetty kaavassa 5. [6, s.39]

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k \quad (5)$$

missä vanerin ominaistiheyden ρ_k :n yksikkö on kg/m^3 ja liittimen halkaisijan d :n mm.

Liimapuun reunapuristuslujuudeksi syitä vastaan kohtisuorassa saatiin $17,7165 \text{ N/mm}^2$, syiden suunnassa $28,2048 \text{ N/mm}^2$ ja vanerin reunapuristuslujuudeksi riippumatta pintaviilujen syysuunnasta $58,212 \text{ N/mm}^2$ (Liite 1). Tämän johdosta on kaavassa 3. $f_{h,k}$:n arvona käytetty heikointa arvoa eli liimapuun reunapuristuslujuutta syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, joka oli $17,7165 \text{ N/mm}^2$.

Laskemalla kaavan 3 mukaisesti, saatiin liitoksen kestävyudeksi syitä vastaan kohtisuorassa olevalle rasitukselle $24\,190 \text{ N}$ ja syiden suunnassa olevalle rasitukselle $38\,462 \text{ N}$ (Liite 1).

4.1.2 Liitoksen kestävyys murtotavan 2 mukaan

Murtotavan 2 mukainen kestävyys F laskenta on esitetty kaavassa 6. [2, s.49]

$$F = \frac{1}{3} \cdot f_{h,k} dt \left(\sqrt{4 + \frac{12M_y}{f_{h,k} dt^2}} - 1 \right) \quad (6)$$

jossa $f_{h,k}$ = puun reunapuristuslujuus
 d = liittimen paksuus (kuva 14)
 t = liitososan paksuus (kuva 14)
 M_y = puikon myötömomentti

Liimapuun reunapuristuslujuuden arvo $f_{h,k}$ laskenta kulmassa α syysuuntaan nähden on esitetty kaavassa 7. [1, s.114]

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (7)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d$$

missä ominaistiheyden ρ_k yksikkö on kg/m³ ja poratapin paksuuden yksikkö d on mm.

Puikon myötömomentin M_y laskenta on esitetty kaavassa 8. [2, s.45]

$$M_y = W_p f_y \quad (8)$$

jossa W_p = puikon plastinen taivutusvastus
 f_y = koivun vetolujuus

Puikon plastisen taivutusvastuksen W_p laskenta on esitetty kaavassa 9. [3, s.467;7, s.150]

$$W_p = 2S_x \quad (9)$$

jossa S_x = puolen poikkipinnan staattinen momentti
 Standardipoikkipintataulukoissa annetaan puolen poikkipinnan staattinen momentti S_x , joka ympyrälle on esitetty kaavassa 10.[3, s.467]

$$S_x = \frac{2r^3}{3} \quad (10)$$

jossa r = ympyrän säde

Vanerin reunapuristuslujuuden $f_{h,k}$ laskenta on esitetty kaavassa 11. [6, s.39]

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k \quad (11)$$

missä vanerin ominaistiheyden ρ_k :n yksikkö on kg/m³ ja liittimen halkaisijan d :n mm.

Liimapuun reunapuristuslujuudeksi syitä vastaan kohtisuorassa saatiin 17,7165 N/mm², syiden suunnassa 28,2048 N/mm² ja vanerin reunapuristuslujuudeksi riippumatta pintaviilujen syysuunnasta 58,212 N/mm² (Liite 1). Tämän johdosta on kaavassa 6. $f_{h,k}$:n arvona käytetty heikointa arvoa eli liimapuun reunapuristuslujuutta syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, joka oli 17,7165 N/mm².

Laskemalla kaavan 6 mukaisesti, saatiin liitoksen kestävyudeksi syitä vastaan kohtisuorassa olevalle rasitukselle 21670 N ja syiden suunnassa olevalle rasitukselle 29379 N (Liite 1).

4.1.3 Liitoksen kestävyys murtotavan 3 mukaan

Murtotavan 3 mukainen kestävyden F laskenta on esitetty kaavassa 12. [2, s.49]

$$F = \sqrt{2M_y f_{h,k} d} \quad (12)$$

jossa m_y = puikon myötömomentti
 $f_{h,k}$ = puun reunapuristuslujuus
 d = liittimen paksuus

Puikon myötömomentin M_y laskenta on esitetty kaavassa 13. [2, s.45]

$$M_y = W_p f_y \quad (13)$$

jossa W_p = puikon plastinen taivutusvastus
 f_y = koivun vetolujuus

Puikon plastisen taivutusvastuksen W_p laskenta on esitetty kaavassa 14. [3, s.467;7, s.150]

$$W_p = 2S_x \quad (14)$$

jossa S_x = puolen poikkipinnan staattinen momentti

Standardipoikkipintataulukoissa annetaan puolen poikkipinnan staattinen momentti S_x , joka ympyrälle on esitetty kaavassa 15.[3, s.467]

$$S_x = \frac{2r^3}{3} \quad (15)$$

jossa r = ympyrän säde

Liimapuun reunapuristuslujuuden arvo $f_{h,k}$ laskenta kulmassa α syysuuntaan nähden on esitetty kaavassa 16. [1, s.114]

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (16)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d$$

missä ominaistiheyden ρ_k yksikkö on kg/m³ ja poratapin paksuuden yksikkö d on mm.

Vanerin reunapuristuslujuuden $f_{h,k}$ laskenta on esitetty kaavassa 17. [6, s.39]

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k \quad (17)$$

missä vanerin ominaistiheyden ρ_k :n yksikkö on kg/m³ ja liittimen halkaisijan d :n mm.

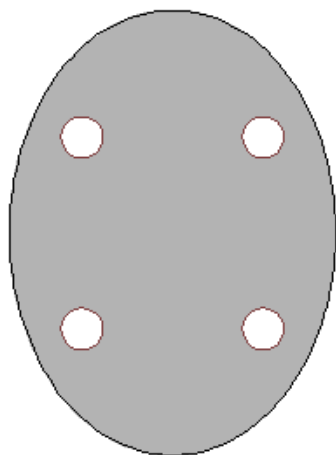
Liimapuun reunapuristuslujuudeksi syitä vastaan kohtisuorassa saatiin 17,7165 N/mm², syiden suunnassa 28,2048 N/mm² ja vanerin reunapuristuslujuudeksi riippumatta pintaviilujen syysuunnasta 58,212 N/mm² (Liite 1). Tämän johdosta on kaavassa 12. $f_{h,k}$:n arvona käytetty heikointa arvoa eli liimapuun reunapuristuslujuutta syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, joka oli 17,7165 N/mm².

Laskemalla kaavan 12 mukaisesti, saatiin liitoksen kestävyudeksi syitä vastaan kohtisuorassa olevalle rasitukselle 28 709 N ja syiden suunnassa olevalle rasitukselle 36 351 N (Liite 1).

4.1.4 Liitoksessa käytetty liima

Kappaleen pinta-ala määritettiin sen vaikean muodon vuoksi siten, että kappale skannattiin tietokoneelle ja tämän jälkeen kuva vietiin AutoCad 2012-ohjelmaan. Siellä kuva skaalattiin oikeaan mittaan ja tämän jälkeen piirrettiin viivat kappaleen reunoja myöten. Siten saatiin vanerikappaleen pinta-ala, joka oli noin 16 000 mm²:ä. Tästä pinta-alasta vähennettiin reikien osuus 805 mm²:ä. Tällöin kappaleen pinta alaksi jäi 15 195 mm²:ä (kuva 15) ja kappaleen ollessa symmetrinen, käytin kyseistä pinta-alaa liimaliitoksen lujuutta laskiessa.

Liiman leikkauslujuuden arvona käytettiin heikoimman materiaalin leikkauslujuuden ominaisarvoa eli liimapuun ominaisarvoa.



Kuva 15. Vanerikappaleen pinta-ala. Tummennettu alue on liimaliitoksen leikkauslujuutta laskiessa käytetty pinta-ala

Liimaliitoksen kestävyys laskenta syysuuntaan vastaan kohtisuorassa f_v on esitetty kaavassa 18.

$$f_v = f_{v,0,k} \cdot A \quad (18)$$

jossa $f_{v,0,k}$ = syysuuntaan vastaan oleva kohtisuora tasoleikkauslujuus
 A = pinta-ala

Liimaliitoksen kestävyys laskenta syysuunnassa f_v on esitetty kaavassa 19.

$$f_v = f_{v,90,k} \cdot A \quad (19)$$

jossa $f_{v,90,k}$ = syysuuntainen tasoleikkauslujuus
 A = pinta-ala

Liimaliitoksen kestävydeksi syysuuntaan vastaan kohtisuorassa suunnassa saatiin 24 300 N ja syysuunnassa 48 600 N (Liite 2).

4.1.5 Johtopäätös liitoksen kestävydestä vetolujuustestissä

Vetolujuutta testattaessa liitos tulee pettämään noin 24 kN:n kohdalla. Tämä perustuu liimaliitoksen leikkauslujuuden laskennalliseen arvoon (Liite 2). Lopulli-

seen kestävyys vaikuttaa oleellisesti se, miten hyvin liima on peittänyt leikkautuvan poikkipinta-alan.

Toinen oleellinen tekijä on poratappien tiheyden jakautuma. Suuret vaihtelut poratappien tiheydessä merkitsevät muutoksia puikkoliitoksen toimintaan ja siten sen kestävyys kuin myös se mikä murtotapa liitokseen kohdistuu. Murtotavasta riippuen, kestävyys vaihtelee 21 670 N-28 709N välillä.

4.2 Leikkauslujuustesti

Leikkauslujuustestissä liitos rasittuu samalla periaatteella kuin vetolujuustestissä, mutta kestävyttä laskettaessa on otettava huomioon myös voiman sijoittumisesta aiheutuvien momenttien vaikutus liitoksen kestävyys. Lisäksi koejärjestelyissä tehdyn testin perusteella havaittu kappaleen horisontaalinen siirtyminen vaikeuttaa liitoksen kestävyys laskentaa (kuva 16).



Kuva 16. Liitoksen leikkauslujuustestaus. Testijärjestelyissä havaittiin, että kappale liikkuu reilusti myös horisontaalisessa suunnassa eli kuvassa havaitulla tavalla liitoskappale liukuu oikealle

Laskennan pohjana on käytetty vetolujuuden kestävyuden arvioinnissa saatua yhden liittimen yhden leikkeen kestävyyttä jotka olivat 6047,44 N (murtotapa 1b), 5417,55 N (murtotapa 2) ja 7177,3 N (murtotapa 3)

4.2.1 Liitoksen kestävyys leikkauslujuustestissä

Ensimmäisenä olen tarkastellut liitoksen kestävyyttä poratappien osalta silloin, kun niihin kohdistuu epäkeskisyydestä aiheutuva momentti. Laskennan pohjana on käytetty naulaliitokseen kohdistuvien epäkeskisten voimien laskentatapaa.

Liittimen kestävyuden q_i laskenta on esitetty kaavassa 20. [2, s.44]

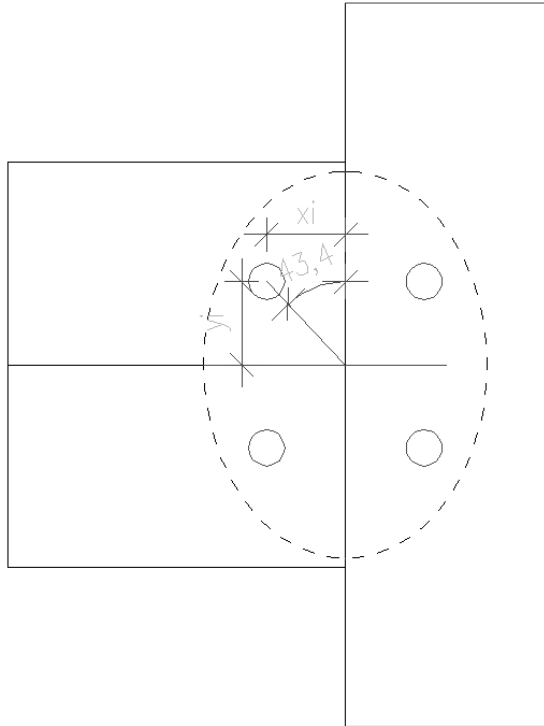
$$q_i = \sqrt{q_{ix}^2 + q_{iy}^2} \quad (20)$$

q_{ix} ja q_{iy} ovat akselien suuntaisia rasituskomponentteja joiden laskenta on esitetty kaavoissa 21 ja 22. [2, s.44]

$$q_{ix} = \frac{F_x}{mn} + \frac{M}{mI_p} y_i \quad (21)$$

$$q_{iy} = \frac{F_y}{mn} + \frac{M}{mI_p} x_i \quad (22)$$

jossa m = liittimen leikkeiden lukumäärä
 n = liittimien lukumäärä
 I_p = polaarinen jäyhyysmomentti
 y_i = liittimen etäisyys y-akselin suunnassa liitinryhmän painopisteestä (kuva 17)
 x_i = liittimen etäisyys x-akselin suunnassa liitinryhmän painopisteestä (kuva 17)



Kuva 17. Mitat. Kaavoihin 21, 22 sekä 23 tarvittavat mittojen mittauspisteet

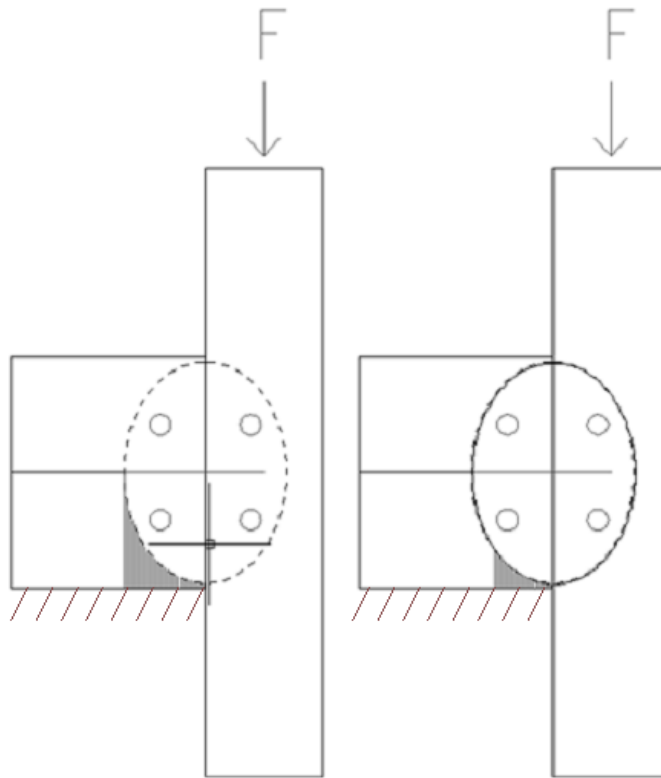
Polaarisen jäyhyysmomentin I_p laskenta on esitetty kaavassa 23. [2, s.44]

$$I_p = \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \quad (23)$$

Liitoksen kestävyudeksi puikkoliitosteorian pohjalta, liittimien osalta saatiin murtotavan 1b mukaan 18 848 N, murto tavan 2 mukaan 16890 N ja murtotapa 3 mukaan 22 370 N (Liite 3). Tämä ei kuitenkaan mielestäni täysin vastaa liitoksen kestävyyttä, sillä liitoksen ollessa täydellisesti paikallaan on sen kestävyys suurempi johtuen siitä, että voimasta syntyvät jännitykset kohdistuvat tällöin puristuksena liimapuuhun.

Puristuslujuuden perusteella arvioitava liitoksen kestävyys on erittäin vaikeaa, koska siirtymät aiheuttavat merkittävää lujuuden heikkenemistä, eikä siirtymistä voiman suhteen ole mahdollista laskea. Oletetaan, että liitoksessa ei tapahdu siirtymää. Tällöin liimapuun puristuslujuus on kuvan 18 mukaiselle alueelle 46 507 N (Liite 4). Mutta jo yhden millimetrin horisontaalinen siirtymä aiheuttaa puristuspinta-alan pienenemisen 54 %:lla (kuva 18). Tällöin liimapuun puristuslujuus on 21 186 N (Liite 4). Ongelmana tässä on kuitenkin se, että kappale ei

liiku epäkeskisen voiman takia tasaisesti ja täten voiman aiheuttaman painuman ja siirtymän arvioiminen on mahdotonta näillä resursseilla.



Kuva 18. Puristuspinta-ala. Kuvassa on esitetty puristuspinta-alan suuruuden muutos kun kappale siirtyy vertikaalisesti sekä horisontaalisesti yhden millimetrin alkuperäisestä kohdasta

4.2.2 Johtopäätös liitoksen kestävydestä leikkauslujuustestissä

Leikkauslujuustestissä saatavan lujuuden arviointi on erittäin vaikeaa. Oma arvio on, että kestävyys tulee perustumaan liimapuun kykyyn ottaa vastaan puristusjännityksiä vanerikappaleen kohdalla. Tällöin merkittäväksi tekijäksi muodostuvat liitoksessa tapahtuvat siirtymät, jotka pienentävät puristusjännityksiä vastaanottavaa pinta-alaa.

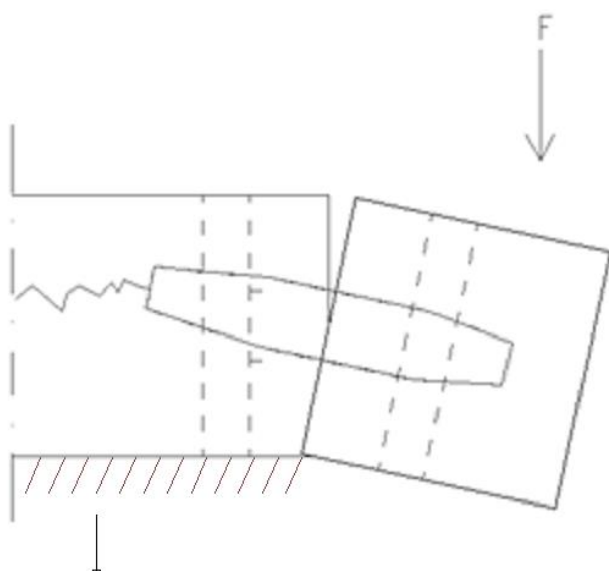
4.3 Taivutuslujuustesti

Kuten edellinen leikkauslujuuden kestävyden arviointi, myös taivutuslujuuden kestävyden arviointi on erittäin hankalaa. Lähdin tutkimaan tapausta kahdesta näkökulmasta.

Ensimmäisenä kestävyyttä on tarkasteltu halkeamiskestävyiden kannalta ja toisena puristusjännityksen osalta.

4.3.1 Liitoksen kestävyys taivutuslujuustestissä

Ensimmäisenä tarkastelun kohteena on halkeamiskestävyys. Kun kappaletta rasitetaan, aiheuttaa vanerisen liitospaleen liike voiman, joka pyrkii halkaisemaan liimapuun (kuva 19).

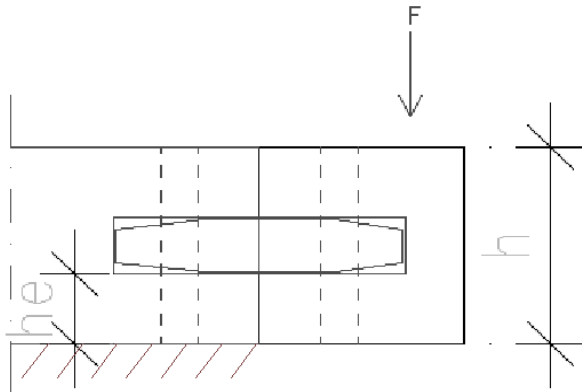


Kuva 19. Liitoksen halkeaminen. Kun liitosta taivutetaan, pyrkii liitospala halkaisemaan liimapuun

Halkeamiskestävyttä tutkiessa kävi ilmi, että ei löydy minkäänlaista laskentatapaa, jolla kestävyden saisi laskettua tai edes arvioitua. Lähin laskentatapa johon päädyin, on liimapuun halkeamiskestävyys $f_{90,k}$ jonka laskenta on esitetty kaavassa 23. [6, s.28]

$$f_{90,k} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (23)$$

jossa b = puuosan paksuus
 h_e = etäisyys kuormitetusta reunasta liitospalaan (kuva 20)
 h = liimapuuosan korkeus (kuva 20)



Kuva 20. Mitat. Kaavassa 23 käytettävät mitat

Kaavalla 16 laskettaessa saadaan halkeamiskestävyudeksi 17 757 N (Liite 5).

Kyseisen kaavan käyttö on tosin erittäin kyseenalaista, koska sen pääasiallinen tarkoitus on tutkia liimapuun halkeamiskestävyyttä silloin, kun liimapuupalkissa on pultein kiinnitetty ripustuskuorma.

Puristuslujuutta tarkasteltaessa ongelmaksi muodostui puristuspinta-alan määrittäminen. Kun kappaletta taivutetaan, pyrkii vanerinen liitospala pyörähtämään akselinsa ympäri ja tällöin puristusjännityksiä vastaanottamaan pystyvä pinta-ala vanerin ja liimapuun välillä pienenee.

Mikäli lähdetään ajattelemaan puristusjännityksen olevan puhdasta, kestää liimapuu 26,5 N:n rasituksen mm²:ä kohti. Oletetaan, että palan pyörähtäessä akselinsa ympäri ja painuessa alaspäin, on alkuperäinen 63 millimetrin puristusjännitystä vastaanottava alue pudonnut kymmeneen millimetriin. Tällöin pinta-ala on pienentynyt 8 000 mm²:stä 1706 mm²:iin. Tämä saatiin selvitettyä käyttämällä hyväksi AutoCad-ohjelmistoa. Pinta-alan ollessa 1706 mm², putoaa lii-

mapuun kyky ottaa vastaan puhdasta puristusjännitystä 45 209 N:iin. Vastavasti, mikäli vastaanottava alue on pudonnut viiteen millimetriin, on liimapuun kyky vastaanottaa puristusjännitystä 21 120 N.

Toinen merkittävä epävarmuustekijä syntyy liitospalan linssimäisestä muodosta. Tämä aiheuttaa sen ongelman, että liitoskappale ei itsessään kokonaisuudessaan ole kosketuksissa liimapuuhun, vaan osa jännityksistä välittyy liiman kautta. Liiman puristuslujuuden ominaisarvo ei kuitenkaan ole tiedossa, joten siitä ei ole minkäänlaista varmuutta, että kykeneekö se siirtämään kaikki jännitykset.

4.3.2 Johtopäätös liitoksen kestävydestä taivutuslujuustestissä

Liitoksen kestävyys määräytyy mielestäni sen perusteella, miten vanerinen liitoskappale pyörii momentin vuoksi ja miten se painuu. Näiden tekijöiden seurauksena jäljelle jäävä puristuspinna-ala määrittää liitoksen kestävyden.

5 Lujuustestaukset

Vetolujuustesti suoritettiin Kuopiossa Savonia-ammattikorkeakoulussa 21.11.2014 sekä 25.11.2014. Testeissä mukana itseni lisäksi olivat projekti-insinööri Arvo Tiilikainen, projekti-insinööri Lauri Alonen, projektityöntekijä Esa Arbelius sekä avustajana samalta vuosikurssilta Teemu Villanen.

Seuraavissa kolmessa kappaleessa ilmoitetut liimapuukappaleen mitat ovat millimetrejä. Mittojen lyhenteet on kuitenkin jätetty pois luettavuuden selkeyttämiseksi.

Testauslaite piirsi testauksien ajan käyrästä, josta saatiin katsottua se, paljonko laite oli painanut millimetreinä kappaletta 10, 40 sekä 100 %:n voimalla.

Kun yksittäinen kappale oli testattu, mitattiin siitä välittömästi kosteus 9 kohdasta ja näistä laskettiin keskiarvo.

Keskihajonnan s laskenta on esitetty kaavassa 24. [3, s.157]

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (24)$$

jossa x_i = yksittäisen testikappaleen mittausarvo

\bar{x} = keskiarvo

n = otosten lukumäärä

5.1 Vetolujuustesti

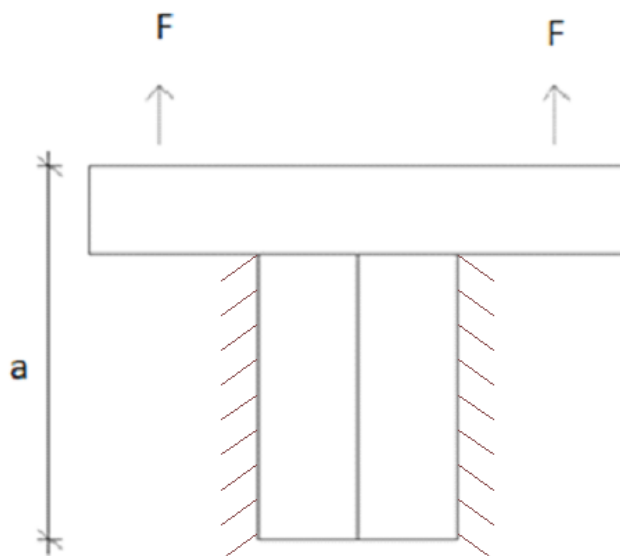
5.1.1 Liitoksen vetolujuuden testaustapa

Vetolujuustesti suoritettiin poraamalla 180x90 liimapuukappaleeseen 2 kappaletta halkaisijaltaan 16 mm olevaa reikää. Tämän jälkeen kappale asetettiin teräslevyistä tehtyyn muottiin ja kiinnitettiin siihen pulteilla ja muttereilla. 90x90 liimapuukappaleen ylä- ja alapintaan asetettiin koko kappaleen peittävä teräslevy, jolla pinnat pultattiin toisiinsa kiinni (kuva 21). Testauslaitteen leuat kiinnitettiin yläpinnan teräksessä kiinni hitsattuun teräslevyyn, jonka jälkeen vetokoe suoritettiin rasittamalla kappaletta 10 mm/min ylöspäin suuntautuvalla voimalla.



Kuva 21. Vetolujuustesti. Kuvassa on esitetty kappaleen kiinnitys ja testaustapa vetolujuustestissä

Ennen koetta kappale mitattiin kuudesta kohdasta ja myös välittömästi testien jälkeen kuudesta kohdasta. Näistä laskettiin keskiarvojen perusteella kappaleessa tapahtunut muodonmuutos suunnan a mukaisesti (kuva 22).



Kuva 22. Pituudenmuutoksen mittaussuunta

Vetolujuustestissä saadut keskiarvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Vetolujuustestin tuloksien keskiarvot, vaihteluvälit sekä hajonnat

Murtokuorma	24,287 kN
Murtokuorman vaihteluväli	19,4 - 30,4 kN
Murtokuorman hajonta	3,67 kN
Muodonmuutos 10 %:n voimalla	0,0817 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	0,055 - 0,162 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,038 mm
Muodonmuutos 40 %:n voimalla	1,0877 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	0,82 – 1,291 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,21 mm
Muodonmuutos 100 %:n voimalla	3,085 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	2,55 – 4 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,53 mm
Pituuden muutos	0,38 %
Pituuden vaihteluväli	0,08 – 1,01 %
Pituuden hajonta	0,31 %
Kosteus	13,37 RH-%
Kosteuden vaihteluväli	12,48 – 14,79 RH-%
Kosteuden hajonta	0,607 RH-%

5.1.2 Testikappaleen vauriot

Kun testikappaleet oli testattu, hajotin ne pienempiin osiin nähdäkseni niiden sisällä olleita vaurioita. Lähes kaikissa testikappaleissa oli havaittavissa seuraavanlaiset vauriot:

- Poratappi oli murtunut tai niissä oli plastista painumaa (kuvat 23 ja 24)
- Liimapuuhun oli syntynyt muodonmuutosta poratappien kohdalle (kuva 25)
- Liimapuussa oli sisäisiä murtumia (kuva 26)



Kuva 23. Poratappi. Poratappi on murtunut



Kuva 24. Poratapit. Poratappeihin on syntynyt plastista painaumaa



Kuva 25. Liimapuu. Liimapuuhun syntynyt muodonmuutosta poratapin kohdalle



Kuva 26. Sisäinen murtuma. Liimapuussa olevia sisäisiä murtumia

Yksityiskohtaisempi raportti vetolujuustestistä on esitetty liitteessä 6.

5.2 Leikkauslujuustesti

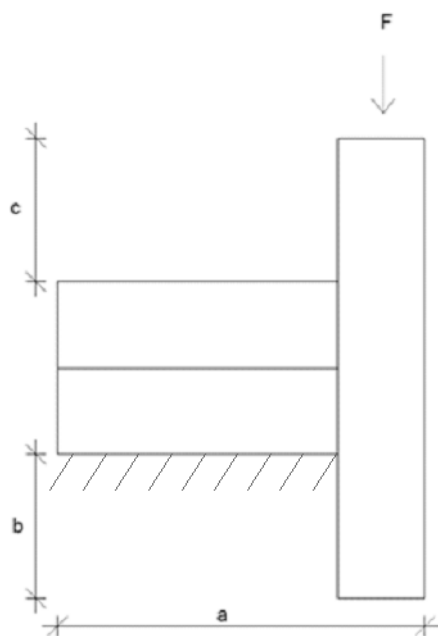
5.2.1 Liitoksen leikkauslujuuden testaustapa

Leikkauslujuustesti suoritettiin asettamalla 180x90 liimapuukappale horisontaalisesti teräksiselle tuelle, johon se pultattiin teräslevyn avulla tukevasti paikoilleen (kuva 27). Tämän jälkeen 90x90 liimapuukappaletta rasitettiin 10 mm/min alaspäin suuntautuvalla voimalla vertikaalisessa suunnassa 180x90 liimapuukappaleeseen nähden.



Kuva 27. Leikkauslujuustesti. Testikappaleen kiinnitys ja leikkaustestin suoritus-tapa

Ennen koetta jokainen kappale mitattiin 12 kohdasta ja välittömästi testien jäl-keen jälleen 12 kohdasta. Näistä laskettiin keskiarvojen perusteella kappalees-sa tapahtunut muodonmuutos suuntien a, b sekä c mukaisesti (kuva 28).



Kuva 28. Pituuden muutosten mittaussuunnat

Leikkauslujuustestissä saadut keskiarvot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Leikkauslujuustestin tuloksien keskiarvot, vaihteluvälit sekä hajonnat

Murtokuorma	30,169 kN
Murtokuorman vaihteluväli	26,2 – 36,3kN
Murtokuorman hajonta	3,06 kN
Muodonmuutos 10 %:n voimalla	0,946 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	0,41 – 1,62 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,39 mm
Muodonmuutos 40 %:n voimalla	1,903 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	1,32 – 2,36 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,36 mm
Muodonmuutos 100 %:n voimalla	6,374 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	5,5 – 7,99mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,83 mm
Pituuden muutos a-suunnassa	0,344%
Pituuden a vaihteluväli	0,01 – 1,37 %
Pituuden a hajonta	0,39 RH%
Pituuden muutos b-suunnassa	2,352 %
Pituuden b vaihteluväli	0,56 – 8,45 %
Pituuden b hajonta	2,39 %
Pituuden muutos c-suunnassa	-1,85 %
Pituuden c vaihteluväli	-0,13 – (-6,27) %
Pituuden c hajonta	1,85%
Kosteus	14,755 RH-%
Kosteuden vaihteluväli	14,4 – 15,02 RH-%
Kosteuden hajonta	0,23 RH-%

5.2.2 Testikappaleen vauriot

Testikappaleita hajotettaessa pienempiin osiin, paljastui niistä seuraavanlaisia vaurioita:

- Liimaliitos vanerin ja liimapuun välillä oli murtunut (kuva 29)
- Liimapuussa oli muodonmuutosta poratappien kohdalla (kuva 30)
- Liitoksessa oli selvää siirtymää (kuva 31)
- Liimapuussa oli sisäisiä murtumia (kuva 32)
- Liimapuu oli leikkautunut aivan tuen reunalta (kuva 33)
- Poratapeissa oli joko plastista painumaa tai ne olivat murtuneet (kuvat 34 ja 35)



Kuva 29. Liimaliitoksen murtuma. Liimapuun ja vaneripalan välinen liimaliitos on murtunut



Kuva 30. Liimapuun muodonmuutos. Liimapuussa oleva muodonmuutos pora-
tapin kohdalla sekä halkeama



Kuva 31. Liitoksen siirtymä. Kuvasta on havaittavissa liitoksessa tapahtunutta
selkeää siirtymistä



Kuva 32. Sisäinen murtuma. Liimapuussa olevia sisäisiä murtumia



Kuva 33. Liimapuun leikkautuminen. Liimapuu on leikkautunut siltä osin kun se oli vapaana tuelta



Kuva 34. Poratappi. Poratapissa on havaittavissa selkeä murtuma



Kuva 35. Poratappi. Poratappeissa on havaittavissa selkeää plastista painumista

Yksityiskohtaisempi raportti leikkauslujuustestistä on esitetty liitteessä 6.

5.3 Taivutuslujuustesti

5.3.1 Liitoksen taivutuslujuuden testaustapa

Taivutuslujuustesti suoritettiin asettamalla 180x90 liimapuukappale teräksiselle tuelle, johon se kiinnitettiin teräslevyn ja puristimien avulla tukevasti (kuva 36). Tämän jälkeen 90x90 liimapuukappaleen reunalle asetettiin noin 53 mm leveä teräslevy, johon kohdistettiin 10 mm/min alaspäin suuntautuva voima.

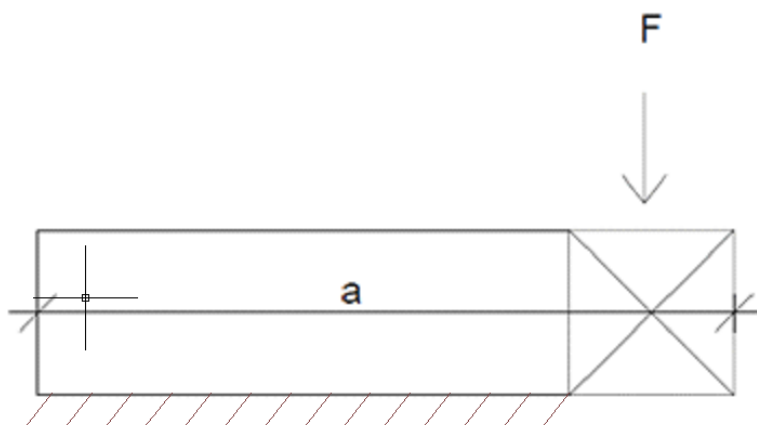
Kuvassa 36 näkyy alkuperäinen kiinnitysmekanismi, mutta siitä jouduttiin luopumaan, koska testilaitteen vian vuoksi testilaitetta piti vaihtaa, eikä kyseinen kiinnitysmekanismi soveltunut siihen. Kiinnitys puristimien avulla kuitenkin onnistui kahta testiä lukuun ottamatta. Ensimmäisen kiinnitys petti jo alkuvaiheessa. Tämän jälkeen paransimme kiinnitystä lisäämällä puristimia. Parannusten jälkeen testit onnistuivat hyvin, pois lukien testi 5, jossa kiinnitys petti testin loppuvaiheessa.

Epäonnistuneiden testien kaikki muut arvot paitsi testilaitteen ilmoittamat painumat ovat kuitenkin käyttökelpoisia, koska rasituksen muoto ei muuttunut mihinkään.



Kuva 36. Taivutuslujuustesti. Alkuperäinen suunnitelma kappaleen kiinnitystä ja testin suorittamista varten

Ennen koetta kappale mitattiin kuudesta kohdasta ja välittömästi testien jälkeen kuudesta kohdasta. Näistä laskettiin keskiarvojen perusteella kappaleessa tapahtunut muodonmuutos a-suunnan mukaisesti (kuva 37).



Kuva 37. Pituuden muutoksen mittaussuunta

Taivutuslujuustestissä saadut keskiarvot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Taivutuslujuustestin tuloksien keskiarvot, vaihteluvälit sekä hajonnat

Murtokuorma	19,946 kN
Murtokuorman vaihteluväli	16,9 – 23,37 kN
Hajonta	2,16 kN
Muodonmuutos 10 %:n voimalla	1,259 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	0,76 – 2,2mm
muodonmuutoksen hajonta	1,44 mm
Muodonmuutos 40 %:n voimalla	2,542 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	1,96 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,47 mm
Muodonmuutos 100 %:n voimalla	7,789 mm
Muodonmuutoksen vaihteluväli	6,74 – 8,98 mm
Muodonmuutoksen hajonta	0,82 mm
Pituuden muutos	0,814 %
Pituuden vaihteluväli	0,39 – 2,09 %
Pituuden hajonta	0,53 %

Kosteus	13,846 RH-%
Kosteuden vaihteluväli	12,74 – 14,39 RH-%
Kosteuden hajonta	0,47 RH-%

5.3.2 Testikappaleen vauriot

Testikappaleita hajotettaessa pienempiin osiin, paljastui niistä seuraavanlaisia vaurioita:

- Liimapuu oli haljennut ja siinä oli sisäisiä murtumia (kuvat 38 ja 39)
- Liimapuussa oli muodonmuutosta poratappien kohdalla (kuva 40)
- Poratapeissa oli plastista painumaa (kuva 41)
- Liimaliitos oli murtunut (kuva 42)



Kuva 38. Haljennut liimapuu



Kuva 39. Sisäinen murtuma. Liimapuussa on havaittavissa sisäisiä murtumia



Kuva 40. Muodonmuutos. Liimapuussa oleva muodonmuutos poratapin kohdalla



Kuva 41. Poratappi. Poratappiin on syntynyt plastista painauma



Kuva 42. Murtunut liimaliitos. Liimaliitos on murtunut liimapuun ja vanerin välissä samalla vaurioittaen vanerikappaleen pintaviilua

Yksityiskohtaisempi raportti taivutuslujuustestistä on esitetty liitteessä 7.

6 Tulosten vertailu laskelmiin

6.1 Vetolujuus

Vetolujuustestejä suoritettiin 10 kappaletta. Vetolujuuden keskiarvoksi saatu tulos testeissä on hyvin lähellä teoreettisesti lasketun liimaliitoksen lujuutta. Teoreettisen liimaliitoksen lujuuden ollessa 24 300 N oli lujuustestauksien keskiarvo 24 278 N.

Testien keskiarvojen alapuolisia arvoja oli 6 kappaletta. Näissä tapauksissa liimaus ei todennäköisesti ole ollut täydellinen ja siksi liimaliitos ei ole kestänyt laskennallista maksimi voimaa. Näissä tapauksissa lopullinen kestävyys on määräytynyt joko liimauspinta-alan perusteella tai poratappien kestävyydellä.

Poratappien kestävyudeksi oli laskettu liitteen 1 mukaisesti 24 190 N (murtotapa 1b), 21 670 N (murtotapa 2) ja 28 709 N (murtotapa 3)

Testeissä havaitsin, että liitoksen murtotapa muistuttaa murtotapaa 2 vaikkakin laskennallisesti murtotavan 1b lujuus 24 190 N on erittäin lähellä keskiarvoa, joka oli 24 278 N.

Seuraava analyysi koskee murtotapausta 2.

Keskiarvon alapuolisia arvoja oli 3 kappaletta (Liite 6). Kestävyyden ja pienimmän arvon ero oli 10,5 %.

Kolmen heikoimman lujuuden syynä on todennäköisesti poratappien epätasainen laatu. Kun vetolujuutta arvioitaessa on käytetty koivun tiheytenä 600 kg/m^3 ja saatu liitoksen kestävyudeksi 21 670 N, vaikuttaa tiheyden tippuminen 460 kg/m^3 siten, että liitoksen lujuus on enää 14 871 N.

Keskiarvon yläpuolisia arvoja oli neljä kappaletta. Ne pystytään osittain selittämään samalla koivun tiheydellä kuin heikoimmatkin tulokset. Koivun tiheyden

ollessa 800 kg/m^3 on liitoksen kestävyys 28 465 N. Sille, että kaksi tuloksista oli vielä tätäkin suurempia, en löydä järkevää selitystä. Näissä tapauksissa voiman jakautuminen on todennäköisesti ollut poikkeavaa muihin nähden ja siten aiheuttanut niin suuret kestävyys.

Tuloksia tarkasteltaessa on pantava merkille kaksi asiaa. Ensimmäinen on se, että mikäli liimaliitos otetaan huomioon vetolujuutta laskiessa, on varmistuttava siitä, että liima peittää koko leikkautuvan poikkipinta-alan.

Toisena on se, että mikäli liima jätetään pois laskuista, tulee erittäin tärkeäksi tekijäksi poratapit. Poratapit kuitenkin aiheuttavat ongelman lujuutta laskiessa. Koska poratappien varsinainen käyttötarkoitus on huonekaluteollisuudessa, ei niillä ole rakentamista varten määriteltyjä lujuusvaatimuksia. Poratappien tiheys riippuu koivun laadusta ja siitä, mistä osasta koivua poratapit on valmistettu. Tiheys voi olla $460 - 800 \text{ kg/m}^3$ ja tällöin liitoksen kestävyys ilman liimaa on suurin piirtein $15\,000 - 28\,500 \text{ N}$.

6.2 Leikkaus

Leikkauslujuustestejä suoritettiin 10 kappaletta. Leikkauslujuustestissä lujuuden keskiarvoksi saatiin 30 196 N. Kun tätä arvoa lähtee vertailemaan teoreettisiin laskuihin, voi todeta sen, että liitoksen kestävyys tässä tapauksessa perustuu liimapuun kykyyn ottaa vanerin kautta siirtyviä puristusjännityksiä vastaan. Eli vanerin ja liimapuun välille syntyy pintapainetta. Tämän puristusjännityksen suuruuden arviointi on kuitenkin erittäin hankalaa.

Ensimmäiseksi ja suurimmaksi ongelmaksi muodostuu se, että voiman epäkeskisyyden takia kappale pyrkii painuman lisäksi siirtymään, horisontaalisessa suunnassa. Näiden siirtymien takia puristuspinta-ala, joka kohdistuu vanerin ja liimapuun välille, pienenee merkittävästi jo pienillä siirtymillä.

Toisena ongelmana tuli vastaan se, että liimapuussa oli havaittavissa leikkausvoimasta aiheutuvaa vauriota liimapuussa siltä osin kun kappale oli puristuspin-

ta-alansa osalta yli tuen (kuva 43). Mikäli kappale olisi ollut puristuspinta-alansa osalta täysin vapaana tuelta, olisivat lujuudet olleet todennäköisesti pienempiä, koska liimapuu olisi murtunut leikkausvoiman johdosta.



Kuva 43. Liimapuun leikkautuminen. Liimapuu on leikkautunut siltä osin kun se oli vapaana tuelta

6.3 Taivutus

Taivutuslujuustestejä suoritettiin 10 kappaletta. Taivutuslujuustestissä lujuuden keskiarvoksi saatiin 19 946 N.

Koekappaleiden vaurioita tutkiessa oli havaittavissa liimapuussa tapahtunutta halkeamista. Tämä viittaa siihen, että joissain määriin teoreettisissa laskuissa saatu kestävyys halkeamista vastaan, joka oli 17 757 N, oli oikea lähtökohta kestävyysarvioimiseksi.

Kuitenkin keskiarvon ollessa suurempi sekä osassa yksittäisissä kappaleissa merkittävästi suurempi, antaa perusteen sille, että kappaletta rasittaa liima-

puussa puristusjännitys siltä osin kuin se liitoskappaleesta siihen pääsee siirtymään.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tuloksien perusteella lähtisin kehittämään liitoksissa olevia poratappeja. Kaikissa kolmessa eri testityypissä jotka suoritettiin, oli havaittavissa se, että poratappeihin kohdistuu merkittäviä rasituksia. Lähtisin myös tutkimaan, miten tasalaatuisia poratapit yleensäkin ovat, sillä niissä tapahtuvien tiheyden muutosten välillä on vaikutusta niiden kestävyYTEEN. Mikäli niiden tasalaatuisuudesta saataisiin varmuus, olisi se mielestäni mielikuvan kannalta tärkeää.

Lisäksi suorittaisin lisätestejä liitokselle, jotta saisi tarkemmin selvitettyä vetolujuustestauksessa liitoksen murtumistavan. Mikäli näiden testien perusteella olisi havaittavissa se, että murtotapa on tapauksen 1b mukainen ja keskiarvot olisi yhtä lähellä laskennallista arvoa kuin nyt, voisi todeta paremmalla varmuudella puikkoliitosteorian toimivuuden.

Poratappien osalta tulisi myös miettiä sitä, olisiko niihin mahdollista tehdä viisteet. Tämä saattaisi mahdollistaa sen, että poratappien asennusvaiheessa suoritettava teräspuikon asennus voitaisiin jättää pois. Näin voitaisiin säästää aikaa asennusvaiheessa.

Liimapuun kestävyYDEN parantamisessa voisi harkita sitä, että käyttäisi liimapuuna GL32c sijaan GL32h liimapuuta. GL32c liimapuussa lamellit ovat eri lujuusluokkaisia ja heikoimmat lamellit ovat liimapuun keskellä. GL32h liimapuussa sen rakenne on homogeeninen eli kaikki lamellit ovat saman lujuusluokan materiaaleja. Tämä voisi vaikuttaa siihen, miten herkästi liimapuuhun syntyy sisäisiä murtumia. Testien perusteella oli havaittavissa se, että sisäiset murtumat syntyivät liimapuun keskivaiheille, lähelle vaneria ja siten tämä ratkaisu voisi parantaa tilannetta siltä osin.

Lujuustestien perusteella voi todeta kuitenkin sen, että hajonnasta huolimatta liitos on täysin toimiva rakenteissa. Varsinkin, kun varsinaisessa rakenteessa on kaksi kappaletta liitospaloja, kun taas testikappaleissa niitä oli yksi. Tämä myös osaltaan parantaa muun muassa poratappien kestävyyttä.

Kehittämisen kohteena näen myös teoreettisten laskujen kehittämisen. Tämä vaatii tosin tekijältään, oli se sitten minä tai joku muu, huomattavasti suurempaa tietoa, taitoa ja määrällistä kokemusta kuin mitä itselläni tällä hetkellä. Joiltain osin ei varmasti ole tällä hetkellä täysin oikeanlaista tapaa laskea, vaan kyseiselle liitokselle tarvitsisi kehitellä uudet laskentamallit.

Uusien testien tekeminen suuremmilla määrillä sekä erikokoisilla liittimillä sekä liitettävillä kappaleilla olisi myös mielestäni järkevää. Tällöin saataisiin tarkasteltua esimerkiksi puikkoliitosteorian toimivuutta vetolujuutta tarkasteltaessa sekä halkeamiskestävyyden toimivuutta taivutuslujuutta tarkasteltaessa.

Myös oikeanlaisen mallintamisohjelman löytäminen olisi mielestäni tarpeellista. Tällöin laskelmia kehittäessä saisi niiden toimivuutta samalla arvioitua ohjelman avulla. Itse pyrin mallintamaan liitosta Autodesk Inventorilla noin kolmen viikon ajan, mutta täysin toimivaa ratkaisua en sillä saanut.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli mielenkiintoinen, vaikkakin yhä enemmän siihen syventyessäni koin, että sen haasteellisemmaksi se käy. Opinnäytetyötä tehdessäni ajatukseni puurakentamisesta syveni. Mielestäni myös ajattelukykyäni eri asioiden vaikutuksista toisiinsa parani.

Lähteet

1. RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki. ISBN 978-951-758-510-1. 2009
2. Kähkönen, L. Kantavat puurakenteet-insinööriopetus. Jyväskylä. ISBN 951-682-248-7. 1997
3. Valtanen, E. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli. ISBN 978-952-9867-35-6, 2010
4. Opetushallitus. Puuaineen ominaisuudet. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/raaka-aineet/puuaineen_ominaisuuksia/index.html [08.10.2014]
5. Joints Oy. Soudal PRO 45P Puuliiman tuoteseloste. Saatavissa
www.jointslr.fi/images/stories/pdf_tekniset/puuliima_pro45p_tekniset_tiedot.pdf.
[11.10.2014]
6. Kevarinmäki A. Puurakenteiden suunnittelu, Lyhennetty suunnitteluohje. Helsinki. 2010.
7. Karhunen, Jouko & Lassila, Veikko & Pyy, Seppo & Ranta, Aaro & Räsänen, Satu & Saikkonen, Matti & Suosara Eero. Lujuusoppi. Helsinki. ISBN 951-672-253-9. 2006
8. RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje eurokoodi EN 1995-1-2. Helsinki. ISBN 978-951-758-512-5. 2009

Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä**Murtotapa 1b**

Reunapuristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot \sin(90) + \cos(90)^2}$$

$$f_{h,k} = 17,7615 \text{ N/mm}^2$$

Reunapuristuslujuus syiden suunnassa:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot \sin(0) + \cos(0)^2}$$

$$f_{h,k} = 28,2408 \text{ N/mm}^2$$

Vanerin reunapuristuslujuus:

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 630$$

$$f_{h,k} = 58,212 \text{ N/mm}^2$$

Liittimen yhden leikkeen kestävyys syitä vastaan kohtisuorassa on:

$$F = \frac{1}{2} 1,33 \cdot 17,7615 \cdot 16 \cdot 32$$

$$F = 6047,44 \text{ N}$$

Koska liitin on kaksileikkeinen ja liittimiä on kaksi kappaletta, on niiden kokonaiskestävyys:

$$F = 4 \cdot 6047,44$$

$$F = 24190 \text{ N}$$

Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä

Liittimen yhden leikkeen kestävyys syiden suunnassa on:

$$F = \frac{1}{2} 1,33 \cdot 28,2408 \cdot 16 \cdot 32$$

$$F = 9615,43 \text{ N}$$

Koska liitin on kaksileikkeinen ja liittimiä on kaksi kappaletta, on niiden kokonaiskestävyys:

$$F = 4 \cdot 9615,43$$

$$F = 38462 \text{ N}$$

Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä**Murtotapa 2**

Reunapuristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot \sin(90)^2 + \cos(90)^2}$$

$$f_{h,k} = 17,7615 \text{ N/mm}^2$$

Reunapuristuslujuus syiden suunnassa:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot \sin(0)^2 + \cos(0)^2}$$

$$f_{h,k} = 28,2408 \text{ N/mm}^2$$

Vanerin reunapuristuslujuus:

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 630$$

$$f_{h,k} = 58,212 \text{ N/mm}^2$$

Puikon plastinen taivutusvastus:

$$W_p = 2 \cdot \frac{2 \cdot 8^3}{3}$$

$$W_p = 682,667 \text{ mm}^3$$

Puikon myötömomentti:

$$M_y = 682,667 \cdot 134$$

$$M_y = 91388 \text{ Nmm}$$

Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä

Liittimen yhden leikkeen kestävyys syitä vastaan kohtisuorassa on:

$$F = \frac{1}{3} \cdot 17,7615 \cdot 16 \cdot 32 \left(\sqrt{4 + \frac{12 \cdot 91388}{17,7615 \cdot 16 \cdot 32^2}} - 1 \right)$$

$$F = 5417,55 \text{ N}$$

Koska liitin on kaksileikkeinen ja liittimiä on kaksi kappaletta, on niiden kokonaiskestävyys:

$$F = 4 \cdot 5417,55$$

$$F = 21670 \text{ N}$$

Liittimen yhden leikkeen kestävyys syiden suunnassa on:

$$F = \frac{1}{3} \cdot 28,2408 \cdot 16 \cdot 32 \left(\sqrt{4 + \frac{12 \cdot 91388}{28,2408 \cdot 16 \cdot 32^2}} - 1 \right)$$

$$F = 7344,9 \text{ N}$$

Koska liitin on kaksileikkeinen ja liittimiä on kaksi kappaletta, on niiden kokonaiskestävyys:

$$F = 4 \cdot 7344,9$$

$$F = 29379 \text{ N}$$

Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä**Murtotapa 3**

Reunapuristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot \sin(90) + \cos(90)^2}$$

$$f_{h,k} = 17,7615 \text{ N/mm}^2$$

Reunapuristuslujuus syiden suunnassa:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot \sin(0) + \cos(0)^2}$$

$$f_{h,k} = 28,2408 \text{ N/mm}^2$$

Vanerin reunapuristuslujuus:

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 630$$

$$f_{h,k} = 58,212 \text{ N/mm}^2$$

Puikon plastinen taivutusvastus:

$$W_p = 2 \cdot \frac{2 \cdot 8^3}{3}$$

$$W_p = 682,667 \text{ mm}^3$$

Puikon myötömomentti:

$$M_y = 682,667 \cdot 134$$

$$M_y = 91388 \text{ Nmm}$$

Puikkoliitosteoria vetolujuustestissä

Liittimen yhden leikkeen kestävyys syitä vastaan kohtisuorassa on:

$$F = \sqrt{2 \cdot 91388 \cdot 17,7165 \cdot 16}$$

$$F = 7177,3 \text{ N}$$

Koska liitin on kaksileikkeinen ja liittimiä on kaksi kappaletta, on niiden kokonaiskestävyys:

$$F = 4 \cdot 7177,3$$

$$F = 28709 \text{ N}$$

Liittimen yhden leikkeen kestävyys syiden suunnassa on:

$$F = \sqrt{2 \cdot 91388 \cdot 28,2408 \cdot 16}$$

$$F = 9087,79 \text{ N}$$

Koska liitin on kaksileikkeinen ja liittimiä on kaksi kappaletta, on niiden kokonaiskestävyys:

$$F = 4 \cdot 9087,79$$

$$F = 36\,351 \text{ N}$$

Liimaliitoksen kestävyys vetolujuustestissä

Liimaliitoksen kestävyys syynsuuntaan vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$A = 16\,000 - 4 \cdot \pi \cdot 8^2$$

$$A = 15195 \text{ mm}^2$$

$$f_v = 1,6 \cdot 15195$$

$$f_v = 24\,300 \text{ N}$$

Liimaliitoksen kestävyys syynsuunnassa:

$$A = 16\,000 - 4 \cdot \pi \cdot 8^2$$

$$A = 15195 \text{ mm}^2$$

$$f_v = 3,2 \cdot 15195$$

$$f_v = 48\,600 \text{ N}$$

Liittimien kestävyys leikkauslujuustestissä**Murtotapa 1b**

Voiman jakaminen komponentteihin:

$$F_x = F \cdot \cos(43,4)$$

$$F_y = F \cdot \sin(43,4)$$

Polaarinen jäyhyysmomentti:

$$I_p = \sum_{i=1}^2 (35^2 + 37^2)$$

$$I_p = 5188 \text{ mm}^4$$

Rasituskomponentti liittimen leikettä kohden:

$$6047,44 = \frac{F_x}{2 \cdot 2} + \frac{F \cdot 80}{2 \cdot 5188} \cdot 37$$

$$q_{ix} = 12\,951,8 \text{ N}$$

$$6047,44 = \frac{F_y}{2 \cdot 2} + \frac{F \cdot 80}{2 \cdot 5188} \cdot 35$$

$$q_{iy} = 13\,693,6 \text{ N}$$

Liittimen kestävä rasitus:

$$q_i = \sqrt{12\,951,8^2 + 13\,693,6^2}$$

$$q_i = 18\,848 \text{ N}$$

Liittimien kestävyys leikkauslujuustestissä**Murtotapa 2**

Voiman jakaminen komponentteihin:

$$F_x = F \cdot \cos(43,4)$$

$$F_y = F \cdot \sin(43,4)$$

Polaarinen jäyhyysmomentti:

$$I_p = \sum_{i=1}^2 (35^2 + 37^2)$$

$$I_p = 5188 \text{ mm}^4$$

Rasituskomponentti liittimen leikettä kohden:

$$5417,55 = \frac{F_x}{2 \cdot 2} + \frac{F \cdot 80}{2 \cdot 5188} \cdot 37$$

$$q_{ix} = 11\,573,2 \text{ N}$$

$$5417,55 = \frac{F_y}{2 \cdot 2} + \frac{F \cdot 80}{2 \cdot 5188} \cdot 35$$

$$q_{iy} = 12\,302,7 \text{ N}$$

Liittimen kestävä rasitus:

$$q_i = \sqrt{11\,573,2^2 + 12\,302,7^2}$$

$$q_i = 16\,890,7 \text{ N}$$

Liittimien kestävyys leikkauslujuustestissä**Murtotapa 3**

Voiman jakaminen komponentteihin:

$$F_x = F \cdot \cos(43,4)$$

$$F_y = F \cdot \sin(43,4)$$

Polaarinen jäyhyysmomentti:

$$I_p = \sum_{i=1}^2 (35^2 + 37^2)$$

$$I_p = 5188 \text{ mm}^4$$

Rasituskomponentti liittimen leikettä kohden:

$$7177,3 = \frac{F_x}{2 \cdot 2} + \frac{F \cdot 80}{2 \cdot 5188} \cdot 37$$

$$q_{ix} = 15\,371,7 \text{ N}$$

$$7177,3 = \frac{F_y}{2 \cdot 2} + \frac{F \cdot 80}{2 \cdot 5188} \cdot 35$$

$$q_{iy} = 16\,252 \text{ N}$$

Liittimen kestävä rasitus:

$$q_i = \sqrt{15\,371,7^2 + 16\,252^2}$$

$$q_i = 22\,370 \text{ N}$$

Liimapuun puristuslujuus leikkauslujuustestissä

Puristuspinta-ala kun liitos on paikallaan:

$$A = 117 \cdot 15$$

$$A = 1755 \text{ mm}^2$$

Puristuslujuus kun kappale on paikoillaan:

$$f_c = 1755 \cdot 26,5$$

$$f_c = 46\,507,5 \text{ N}$$

Puristuspinta-ala kun liitos on liikkunut horisontaalisesti ja vertikaalisesti yhden millimetrin:

$$A = 54 \cdot 15$$

$$A = 810 \text{ mm}^2$$

Puristuspinta-ala, kun liitos on liikkunut horisontaalisesti ja vertikaalisesti yhden millimetrin:

$$f_c = 810 \cdot 26,5$$

$$f_c = 21\,465 \text{ N}$$

Halkeamiskestävyys taivutuslujuustestissä

Halkeamislujuuskestävyys

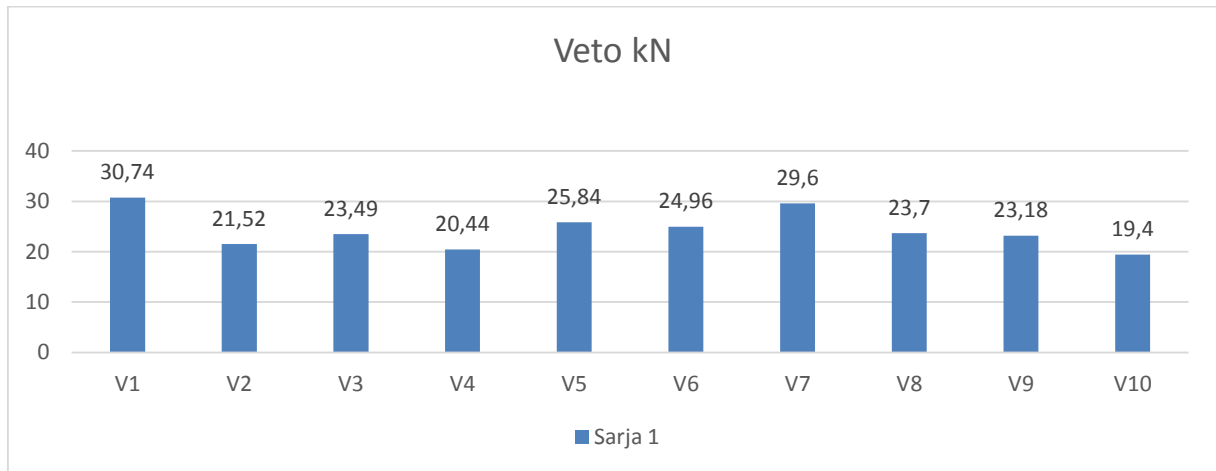
$$f_{90,k} = 14 \cdot 180 \cdot \sqrt{\frac{32}{\left(1 - \frac{32}{90}\right)}}$$

$$f_{90,k} = 17\,757,5 \text{ N}$$

Vetolujuustestauksen raportti

1 Voimat

Vetolujuustestit suoritettiin rasittamalla koekappaletta 10 mm/s.



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{V1+V2+\dots+V10}{n} = \frac{242,87 \text{ kN}}{10} = 24,287 \text{ kN}$$

Vaihteluväli:

$$19,4 - 30,74 \text{ kN}$$

Välin pituus:

$$11,34 \text{ kN}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

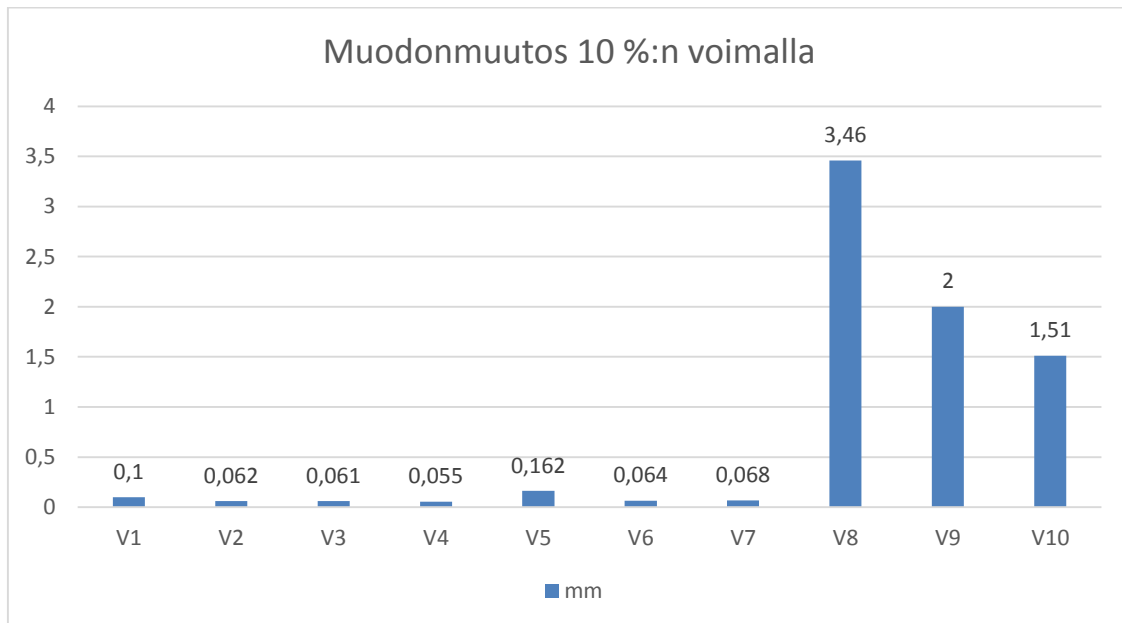
$$s = \sqrt{\frac{121,2776 \text{ kN}}{10 - 1}}$$

$$s = 3,67 \text{ kN}$$

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
V1	24,287	30,74	41,641209
V2	24,287	21,52	7,656289
V3	24,287	23,49	0,635209
V4	24,287	20,44	14,799409
V5	24,287	25,84	2,411809
V6	24,287	24,96	0,452929
V7	24,287	29,6	28,227969
V8	24,287	23,7	0,344569
V9	24,287	23,18	1,225449
V10	24,287	19,4	23,882769
yhteensä			121,27761

Vetolujuustestauksen raportti

2 Muodonmuutokset 10 %:n voimalla



Raju muutos kappaleen V7 jälkeen johtuu siitä, että testilaite todennäköisesti on ottanut välyksen huomioon mittauksessa.

Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{V1+V2+\dots+V7}{n} = \frac{0,572 \text{ mm}}{7} = 0,0817 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

$$0,055 - 0,162 \text{ mm}$$

Välin pituus:

$$0,107 \text{ mm}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

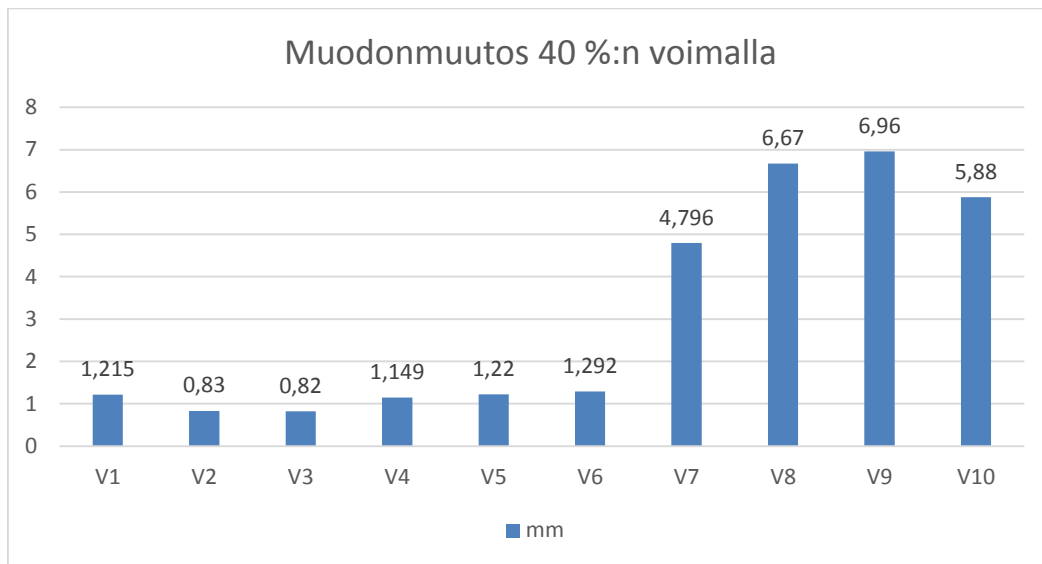
$$s = \sqrt{\frac{0,00881 \text{ mm}}{7 - 1}}$$

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
V1	0,0817	0,1	0,00033489
V2	0,0817	0,062	0,00038809
V3	0,0817	0,061	0,00042849
V4	0,0817	0,055	0,00071289
V5	0,0817	0,162	0,00644809
V6	0,0817	0,064	0,00031329
V7	0,0817	0,068	0,00018769
yhteensä			0,00881343

$$s = 0,038 \text{ mm}$$

3 Muodonmuutos 40 %:n voimalla

Vetolujuustestauksen raportti



Seuraavista laskuista jätin neljä viimeistä testiä pois. Kolmessa viimeisessä testissä on eri kone. Jostain syystä myös kappaleessa V7 on erittäin suuri ero aikaisempiin arvoihin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että muodonmuutoksen mittausta on lähtenyt käyntiin liian aikaisin ottaen huomioon kappaleessa ja liittimessä olevan välyksen.

Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{V1+V2+\dots+V6}{n} = \frac{6,526 \text{ mm}}{6} = 1,0877 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

$$0,82 - 1,291 \text{ mm}$$

Välin pituus:

$$0,475 \text{ mm}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

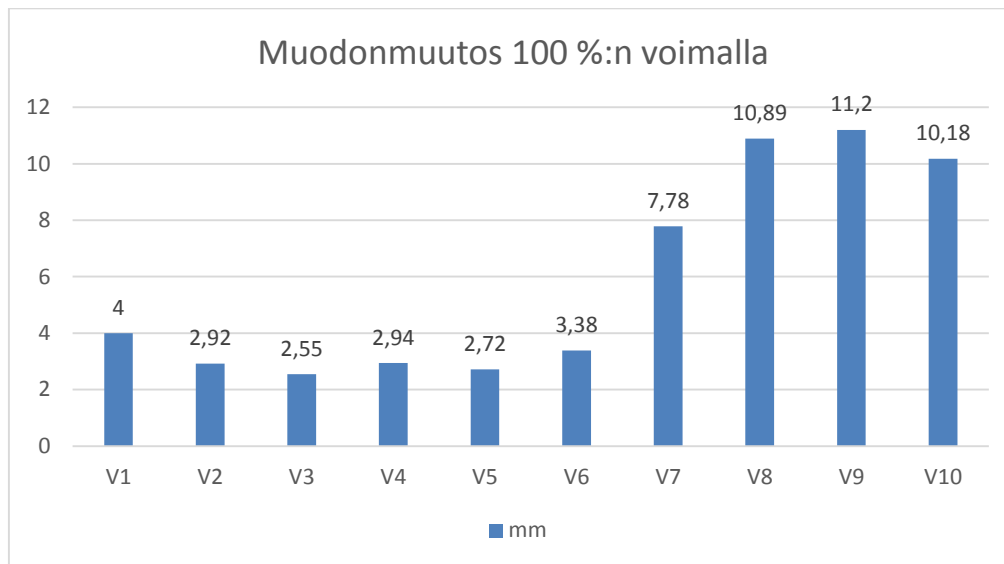
$$s = \sqrt{\frac{0,2173 \text{ mm}}{6 - 1}}$$

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
V1	1,0877	1,215	0,01620529
V2	1,0877	0,83	0,06640929
V3	1,0877	0,82	0,07166329
V4	1,0877	1,149	0,00375769
V5	1,0877	1,22	0,01750329
V6	1,0877	1,292	0,04173849
yhteensä			0,21727734

$$s = 0,21 \text{ mm}$$

4 Muodonmuutos 100 %:n voimalla

Vetolujuustestauksen raportti



Seuraavista laskuista jätin neljä viimeistä testiä pois. Kolmessa viimeisessä testissä on eri kone. Jostain syystä myös kappaleessa V7 on erittäin suuri ero aikaisempiin arvoihin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että muodonmuutoksen mittaus on lähtenyt käyntiin liian aikaisin ottaen huomioon kappaleessa ja liittimessä olevan välyksen.

Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{V1+V2+\dots+V6}{n} = \frac{18,51 \text{ mm}}{6} = 3,085 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

2,55 – 4 mm

Välin pituus:

5,23 mm

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{1,392 \text{ mm}}{6 - 1}}$$

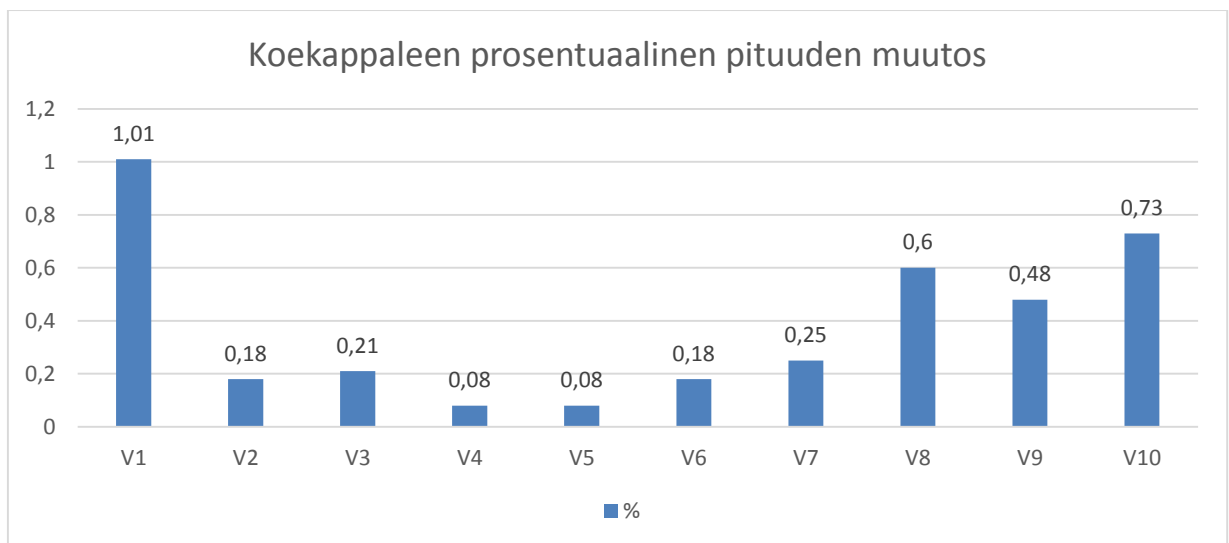
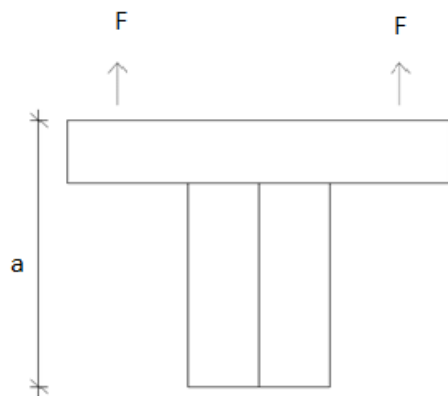
Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
V1	3,085	4	0,837225
V2	3,085	2,92	0,027225
V3	3,085	2,55	0,286225
V4	3,085	2,94	0,021025
V5	3,085	2,72	0,133225
V6	3,085	3,38	0,087025
yhteensä			1,39195

$s = 0,53 \text{ mm}$

5 Koekappaleen pituudenmuutos

Koekappale mitattiin juuri ennen testiä kuudesta eri kohdasta ja samoista kohdista välittömästi testin jälkeen.

Vetolujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$x = \frac{V1+V2+\dots+V10}{n} = \frac{3,8\%}{10} = 0,38\%$$

Vaihteluväli:

0,08 – 1,01 %

Vetolujuustestauksen raportti

Välin pituus:

0,93 %

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0,8836 \%}{10 - 1}}$$

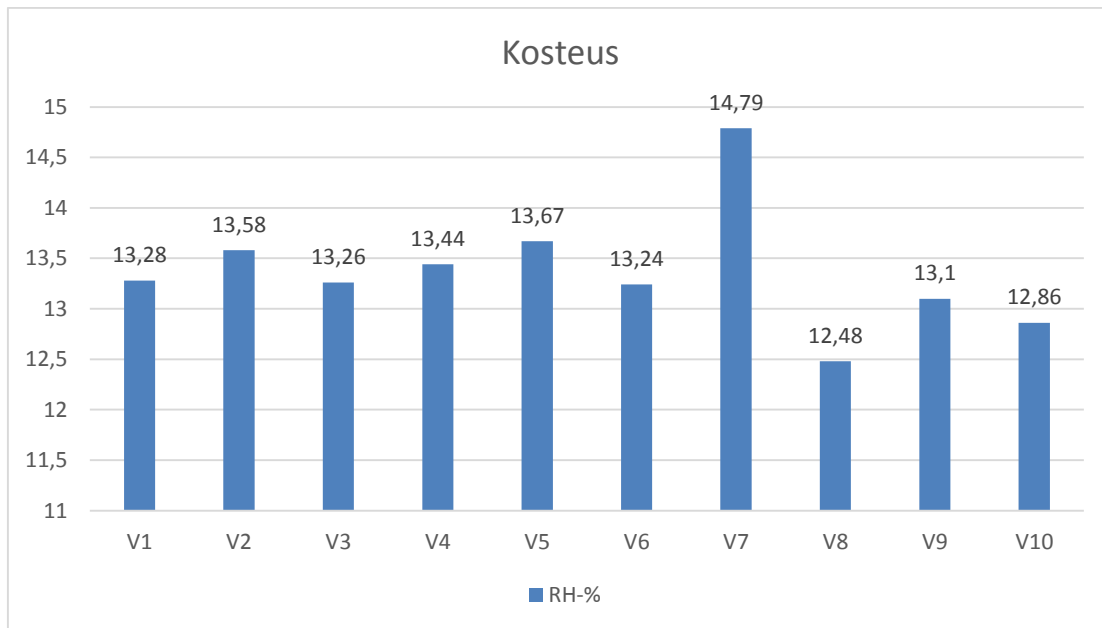
s = 0,31 %

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
V1	0,38	1,01	0,3969
V2	0,38	0,18	0,04
V3	0,38	0,21	0,0289
V4	0,38	0,08	0,09
V5	0,38	0,08	0,09
V6	0,38	0,18	0,04
V7	0,38	0,25	0,0169
V8	0,38	0,6	0,0484
V9	0,38	0,48	0,01
V10	0,38	0,73	0,1225
yhteensä			0,8836

Vetolujuustestauksen raportti

6 Koekappaleiden kosteudet

Kosteus mitattiin heti testin jälkeen yhdeksästä eri kohdasta koekappaletta.



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{V1+V2+\dots+V10}{n} = \frac{133,7 \text{ RH-\%}}{10} = 13,37 \text{ RH-\%}$$

Vaihteluväli:

$$12,48 - 14,79 \text{ RH-\%}$$

Välin pituus:

$$2,31 \text{ RH-\%}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{3,3176 \text{ RH-\%}}{10 - 1}}$$

$$s = 0,607 \text{ RH-\%}$$

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
V1	13,37	13,28	0,0081
V2	13,37	13,58	0,0441
V3	13,37	13,26	0,0121
V4	13,37	13,44	0,0049
V5	13,37	13,67	0,09
V6	13,37	13,24	0,0169
V7	13,37	14,79	2,0164
V8	13,37	12,48	0,7921
V9	13,37	13,1	0,0729
V10	13,37	12,86	0,2601
yhteensä			3,3176

Vetolujuustestauksen raportti**7 Keskiarvot ja hajonnat**

Voima	24,287 kN
Hajonta	3,67 kN
Muodonmuutos 10 %:n voimalla	0,0817 mm
Hajonta	0,038 mm
Muodonmuutos 40 %:n voimalla	1,0877 mm
Hajonta	0,21 mm
Muodonmuutos 100 %:n voimalla	3,085 mm
Hajonta	0,53 mm
Pituuden muutos	0,38 %
Hajonta	0,31 %
Koekappaleen kosteus	13,37 RH-%
Hajonta	0,607 RH-%

Vetolujuustestauksen raportti

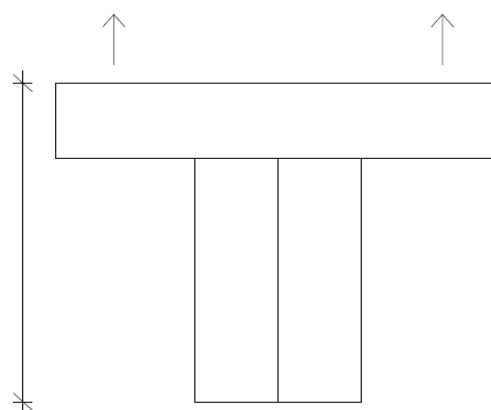
VETOTESTI

Koekappale

V1

Maksimi voima	30,74	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	4,00	mm
Testin kesto	24,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,215	mm
Ilman lämpötila	22,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,1	mm
Koekappaleen kosteus	13,28	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	2,93	mm
	1,01	%



Tappien kunto	Yhdessä tapissa oli pieni murtuma sekä tapeissa muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Vaneri oli ehjä.
Liimapuun kunto	Liimapuussa oli heti testauksen jälkeen havaittavissa selvä halkeama.
Muuta	Havaittavissa selvä siirtyminen liitettävien kappaleiden välillä.

Vetolujuustestauksen raportti



Kuva 44. Liimapuun halkeama. Liimapuussa havaittu halkeama heti testin jälkeen



Kuva 45. Poratappi. Poratappi on antanut myöden, jolloin vanerin ja tapin väliin on syntynyt rakoa

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 46. Vaneripala. Vaneri oli täysin ehjä testin jälkeen



Kuva 47. Poratapin murtuma. Yhdessä poratapissa oli murtuma

Vetolujuustestauksen raportti


SAVONIA
 UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

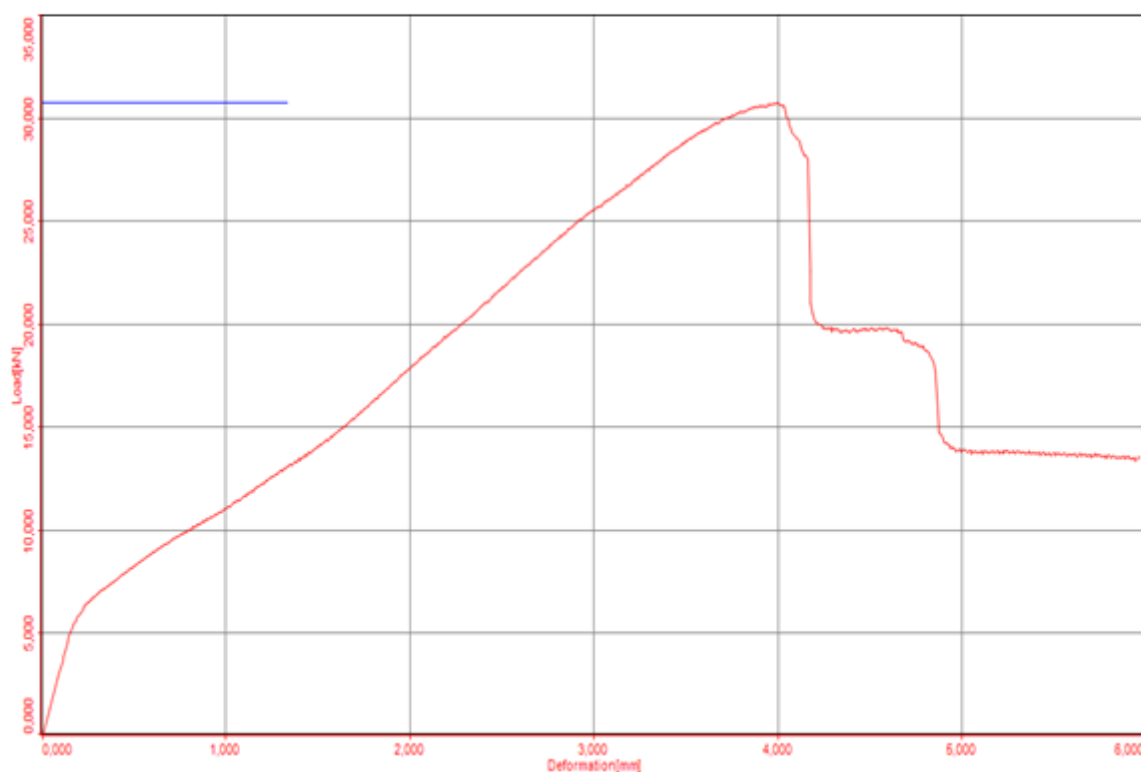
SampleDesignation:

SamplePreparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V1 / 546

Description	Result
Thickness x Width <small>ao x bo</small>	90,000 x 180,000 mm
Start Section <small>S₀</small>	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity <small>E</small>	0 GPa
Upper yield strenght <small>R_{eH}</small>	— MPa

C:\Program Data\Walter Bai\ Dion7\ Reports\Simple Protocol Ist



Vetolujuustestauksen raportti

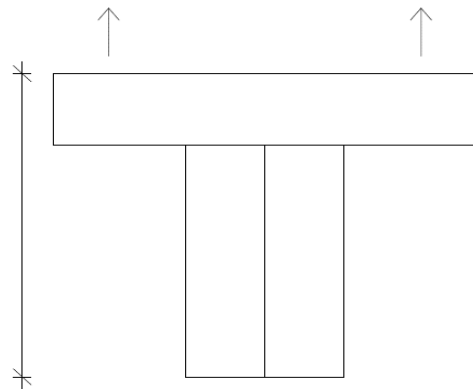
VETOTESTI

Koekappale

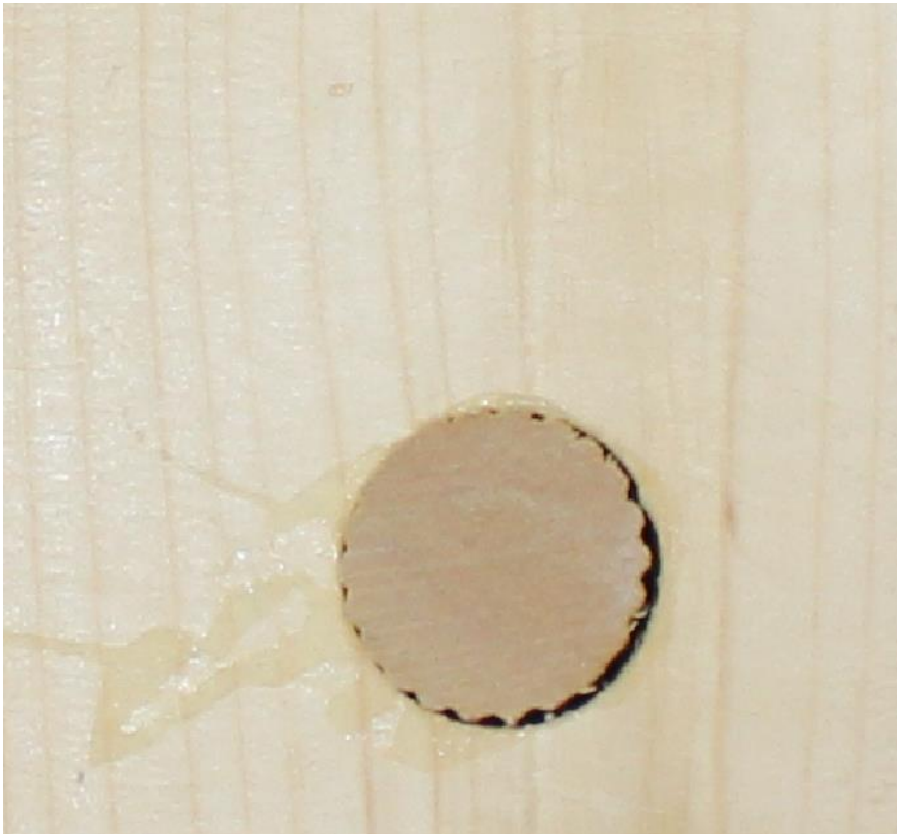
V2

Maksimi voima	21,52	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	2,92	mm
Testin kesto	20,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	0,83	mm
Ilman lämpötila	23,6	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,062	mm
Koekappaleen kosteus	13,58	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	0,51	mm
	0,18	%



Tappien kunto	Tapeissa pientä muodonmuutosta, mutta ei murtumaa
Vanerin kunto	Hyvin pientä murtumaa reiän reunassa.
Liimapuun kunto	Pientä muodonmuutosta kiinnitystappien kohdalla.
Muuta	

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 48. Liimapuun muodonmuutos. Liimapuussa on tapahtunut muodonmuutosta ja tästä syystä poratapin ja liimapuun väliin on syntynyt rako



Kuva 49. Liitoksen siirtymä. Liitoksessa havaittavissa pientä siirtymistä, joka ei ole tapahtunut tasaisesti

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 50. Vaneripala. Vaneri on pääosin kunnossa



Kuva 51. Vaneripalan reikä. Vanerissa on pientä murtumaa reiän reunalla

Vetolujuustestauksen raportti


SAVONIA
 UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

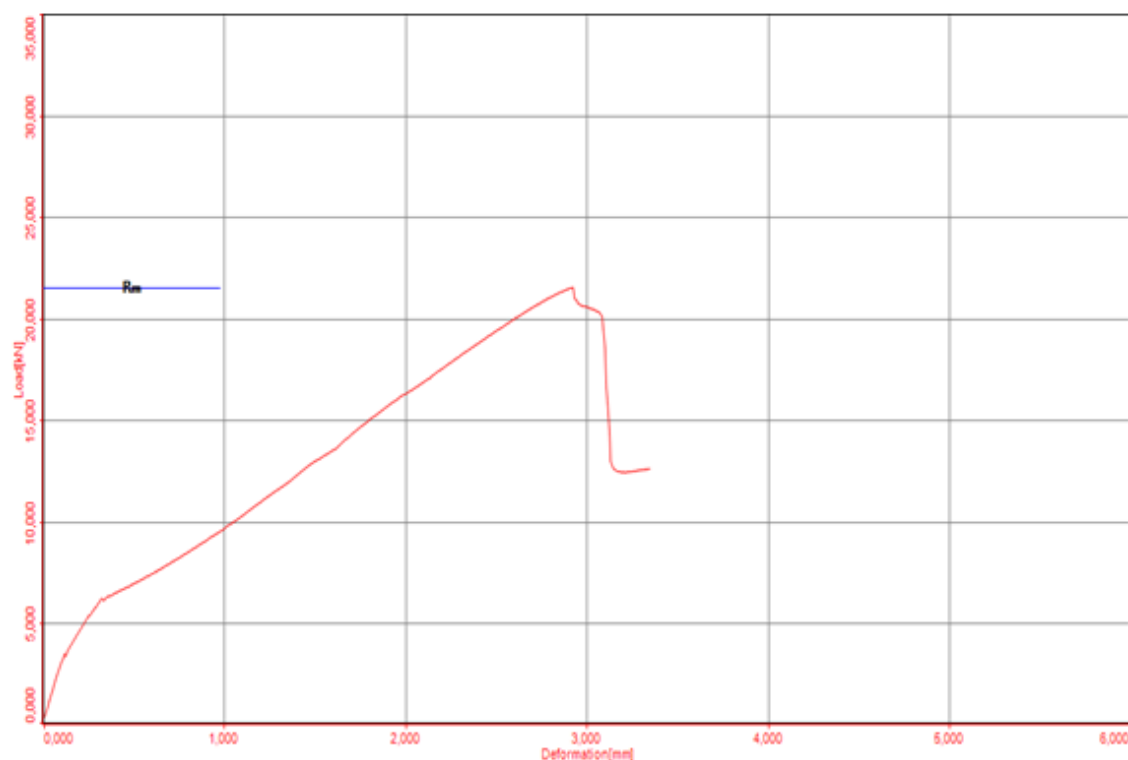
SampleDesignation:

SamplePreparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V2 / 548

Description	Result
Thickness x Width $a_0 \times b_0$	90,000 x 180,000 mm
Start Section S_0	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity E	0 GPa
Upper yield strength R_{eH}	— MPa
Lower yield strength R_{eL}	— MPa
0,020%/0,200% Proof Strength, Plastic Extension R_P	0 / 0 MPa
Tensile Strength R_m	1 MPa
Percentage Elongation after Fracture A	0,00 %
Percentage Reduction of Area Z	100,00 %
Maximum Force F_m	21,52 kN

C:\Program Data\Walter-Bail-Dion7\Reports\Simple Protocol List



Vetolujuustestauksen raportti

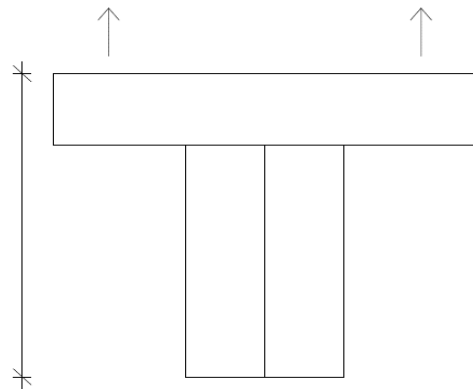
VETOTESTI

Koekappale

V3

Maksimi voima	23,49	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	2,55	mm
Testin kesto	15,30	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	0,82	mm
Ilman lämpötila	23,6	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,061	mm
Koekappaleen kosteus	13,26	RH-%			

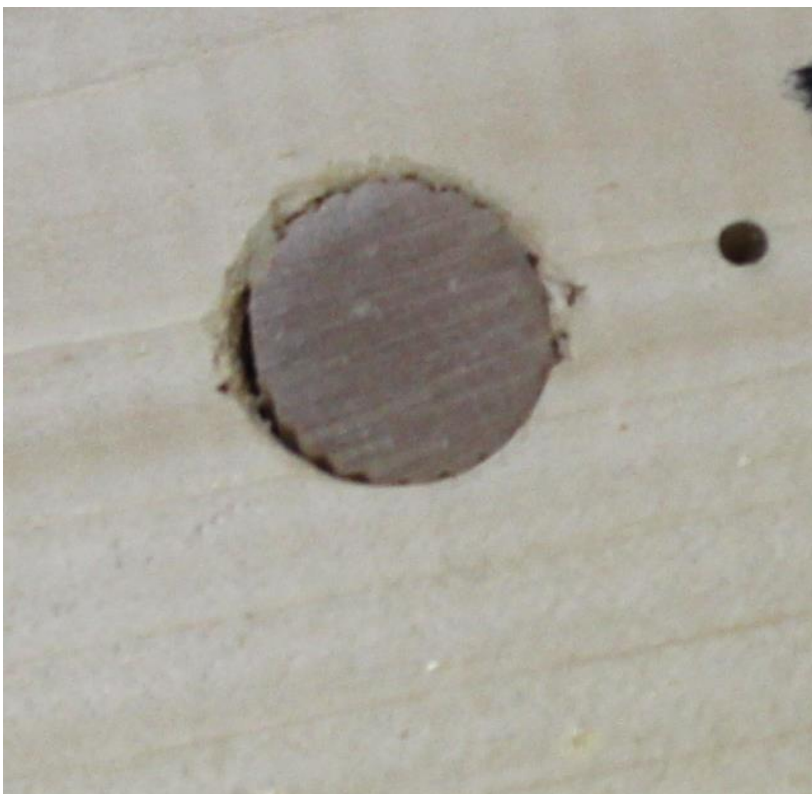
Koekappaleen pituuden muutos	0,6	mm
	0,21	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta. Yhdessä tapissa pieni murtuma.
Vanerin kunto	Pääosin kunnossa, mutta reikien kohdalla vanerin pinnalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Pientä muodonmuutosta kiinnitystappien kohdalla.
Muuta	Poikkeuksellisen suuri romahdus, jonka jälkeen kappale ei ottanut enään yhtään voimaa vastaan.

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 52. Liitoksen siirtymä. Liitos siirtynyt rasituksen johdosta



Kuva 53. Liimapuun muodonmuutos. Liimapuuhun on syntynyt muodonmuutosta poratapin kohdalle

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 54 Poratapin murtuma.



Kuva 55. Vaneripalan vaurio. Reiän kohdalla vaneripalassa on vauriota pintaviilussa

Vetolujuustestauksen raportti


SAVONIA
 UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

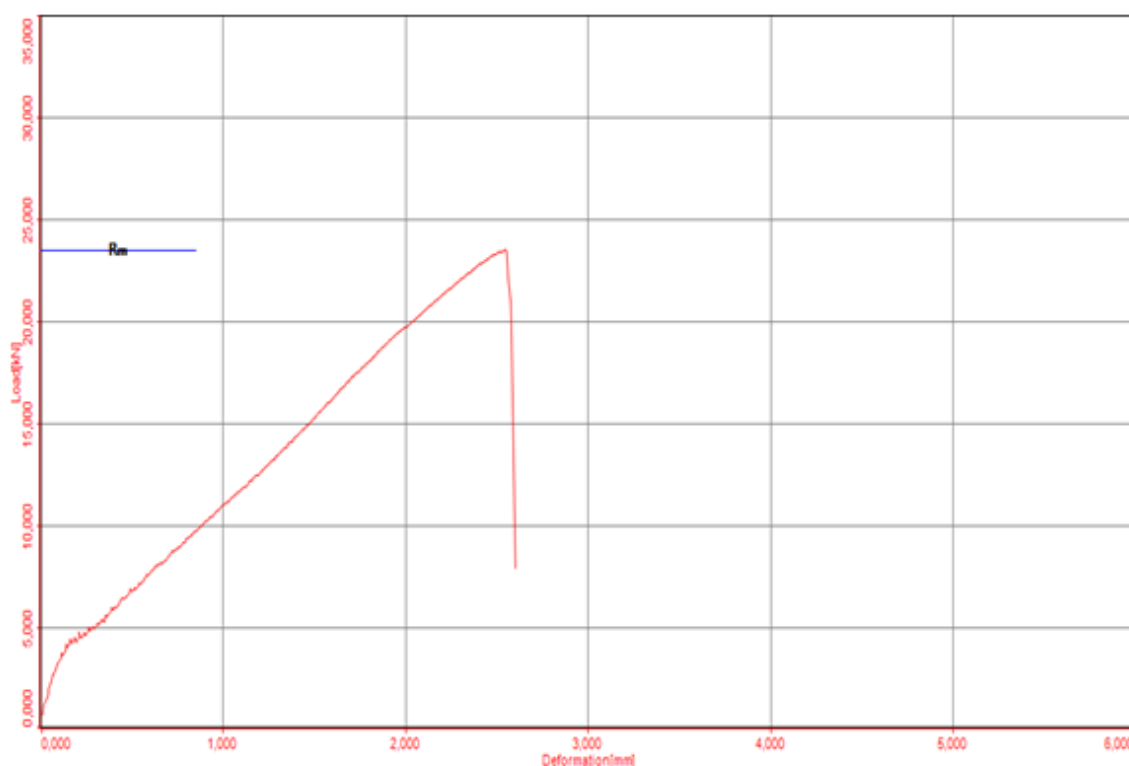
SampleDesignation:

SamplePreparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V3 / 550

Description	Result
Thickness x Width $a_0 \times b_0$	90,000 x 180,000 mm
Start Section S_0	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity E	0 GPa
Upper yield strength R_{eH}	— MPa
Lower yield strength R_{eL}	— MPa
0,020%/0,200% Proof Strength, Plastic Extension R_p	0 / 0 MPa
Tensile Strength R_m	1 MPa
Percentage Elongation after Fracture A	0,00 %
Percentage Reduction of Area Z	100,00 %
Maximum Force F_m	23,49 kN

C:\Program Data\Walter Bai\ Dion7\Reports\Simple Protocol list



Vetolujuustestauksen raportti

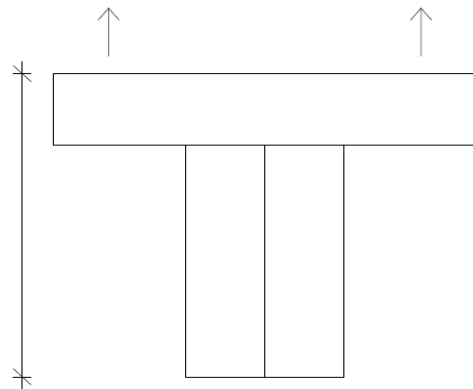
VETOTESTI

Koekappale

V4

Maksimi voima	20,44	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	2,94	mm
Testin kesto	17,65	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,149	mm
Ilman lämpötila	23,8	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,055	mm
Koekappaleen kosteus	13,44	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	0,25	mm
	0,08	%



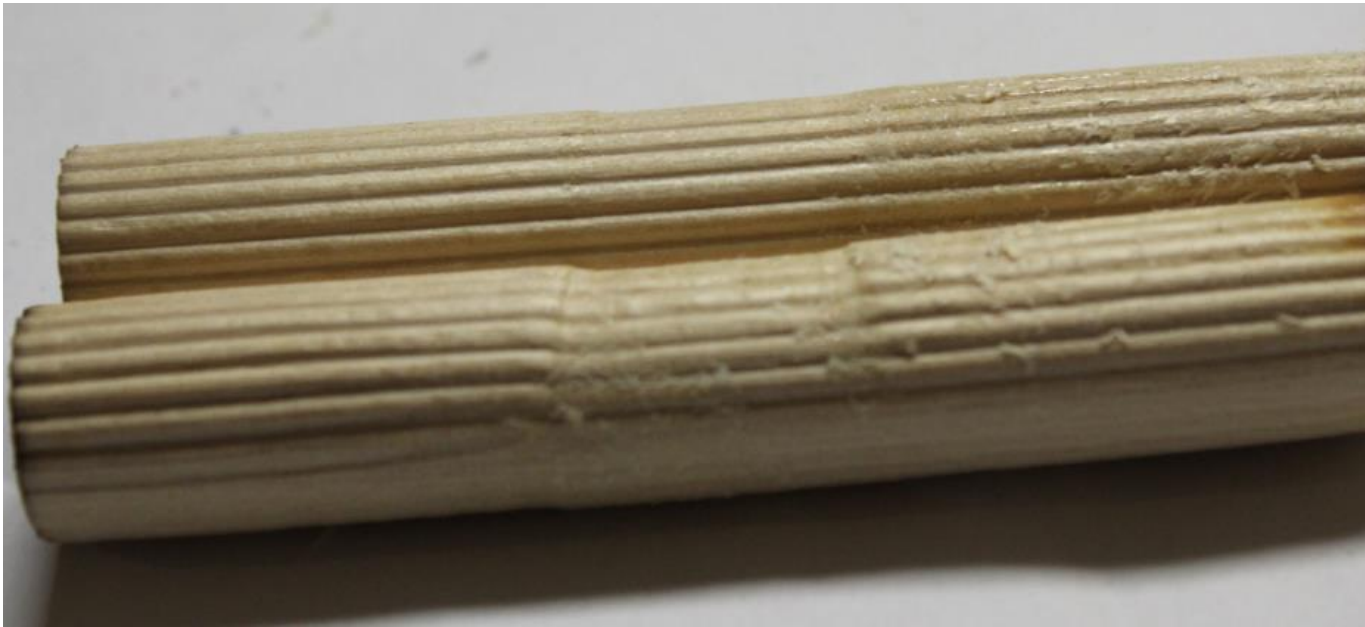
Tappien kunto	Kahdessa tapissa melko suuri muodonmuutos, mutta ei murtumaa.
Vanerin kunto	Pääosin kunnossa- Reikien kohdalla pieniä vaurioita. Lisäksi alareunassa pieni murtuma, joka oli vain yhden viilun paksuinen
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta.
Muuta	Saavutettuaan maksimivoiman, ei voimanpudotus ollut suuri kuten aiemmin vaan kappale jaksoi vielä noin 4.5 sekuntia vastustaa 18,5-20,0 kN:n voimia

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 56. Liitoksen siirtymä. Liimapuut ovat siirtyneet rasituksen johdosta.



Kuva 57. Vaneripalan vaurio. Vanerissa on reikien kohdalle syntynyt pientä vauriota

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 58. Poratappien vauriot. Poratappeihin on syntynyt plastista painumaa



Kuva 59. Vaneripalan vaurio. Vanerin reunaan on syntynyt murtuma

Vetolujuustestauksen raportti


SAVONIA
 UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

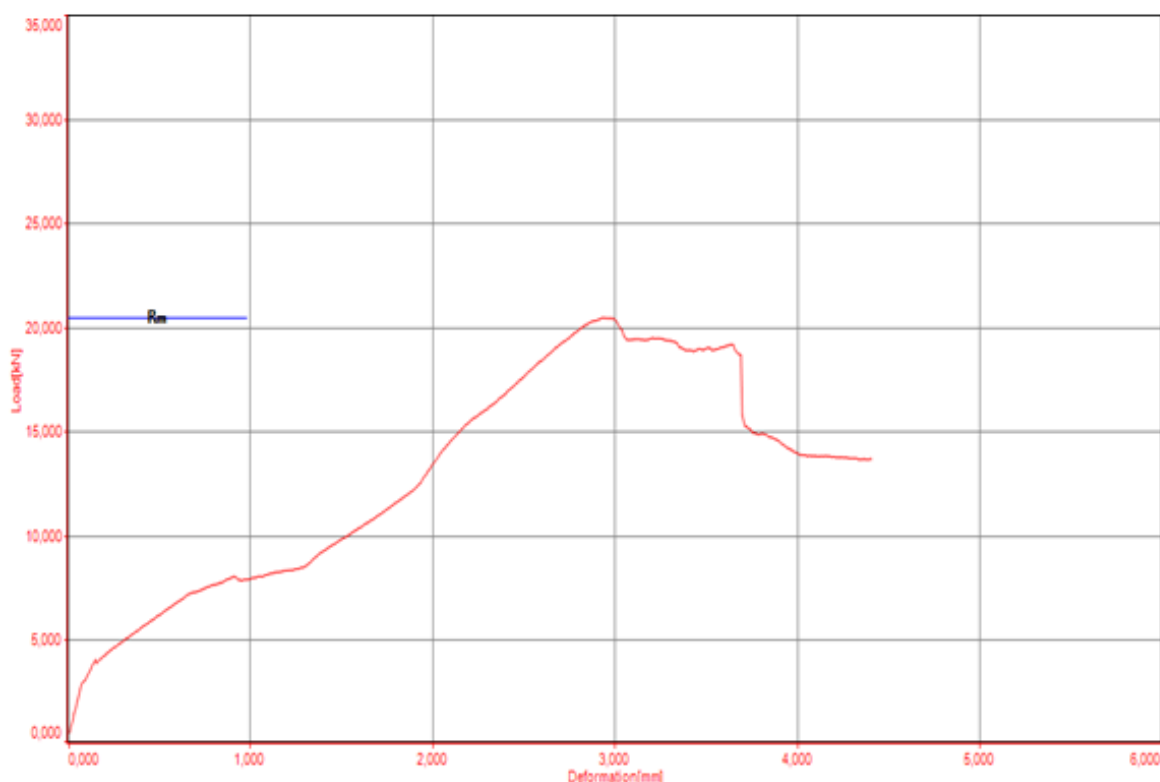
SampleDesignation:

SamplePreparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V4 / 552

Description	Result
Thickness x Width $a_0 \times b_0$	90,000 x 180,000 mm
Start Section S_0	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity E	0 GPa
Upper yield strenght R_{eH}	--- MPa
Lower yield strength R_{eL}	--- MPa
0,020% / 0,200% ProofStrength, PlasticExtension R_p	0 / 0 MPa
Tensile Strength R_m	1 MPa
Percentage Elongation after Fracture A	0,00 %
Percentage Reduction of Area Z	100,00 %
Maximum Force F_m	20,44 kN

C:\Program Data\Walter Bai\ Dion 7\ Reports\ Simple Protocol.1st



Vetolujuustestauksen raportti

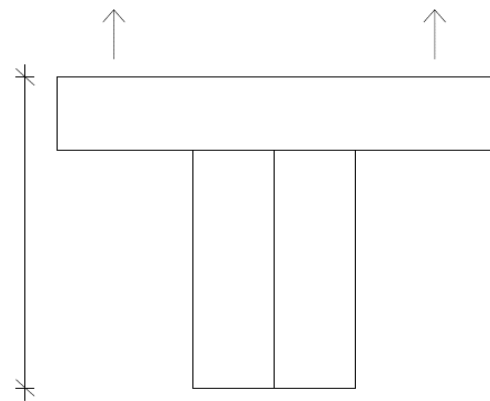
VETOTESTI

Koekappale

V5

Maksimi voima	25,84	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	2,72	mm
Testin kesto	16,30	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,22	mm
Ilman lämpötila	22,2	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,162	mm
Koekappaleen kosteus	13,67	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	0,23	mm
	0,08	%



Tappien kunto	Yhdessä tapissa pieni murtuma.
Vanerin kunto	Vaneri oli muuten kunnossa, mutta yhdessä kohtaa palan reunaa oli viilun paksuinen murtuma.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla oli muodonmuutoksia.
Muuta	Maksimivoiman jälkeen voima pysyi vielä 3,2 sekunnin ajan noin 23 kN:ssa, kunnes testi katkaistiin.

Vetolujuustestauksen raportti

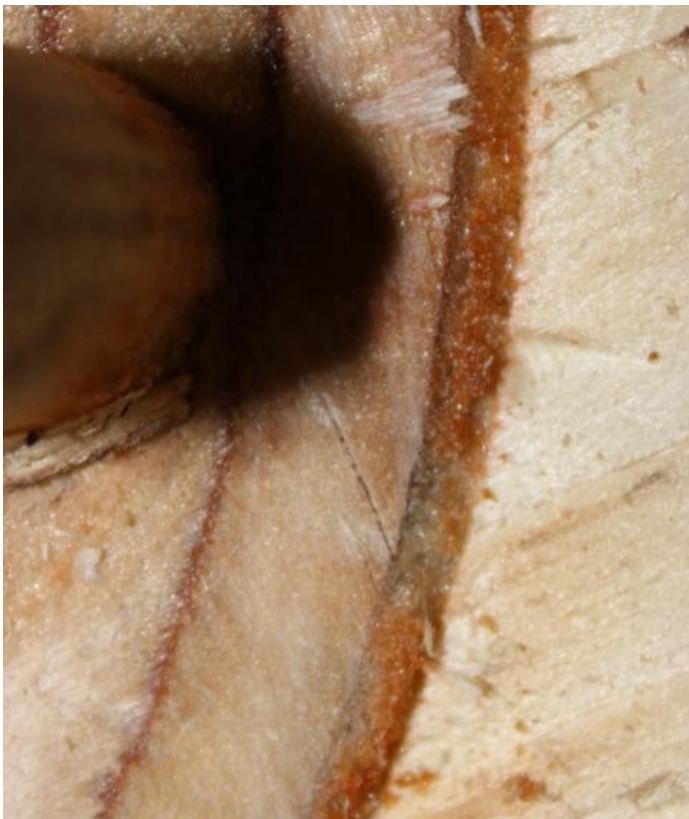
Kuva 60. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt hyvin pieni murtuma



Kuva 61. Liimapuun vaurio. Liimapuussa reiän kohdalla on murtuma

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 62. Liimapuun muodonmuutos. Liimapuussa on reiän kohdalla tapahtunut muodonmuutos



Kuva 63. Vaneripalan vaurio. Vanerin pintaviilussa on pieni halkeama

Vetolujuustestauksen raportti



SAVONIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

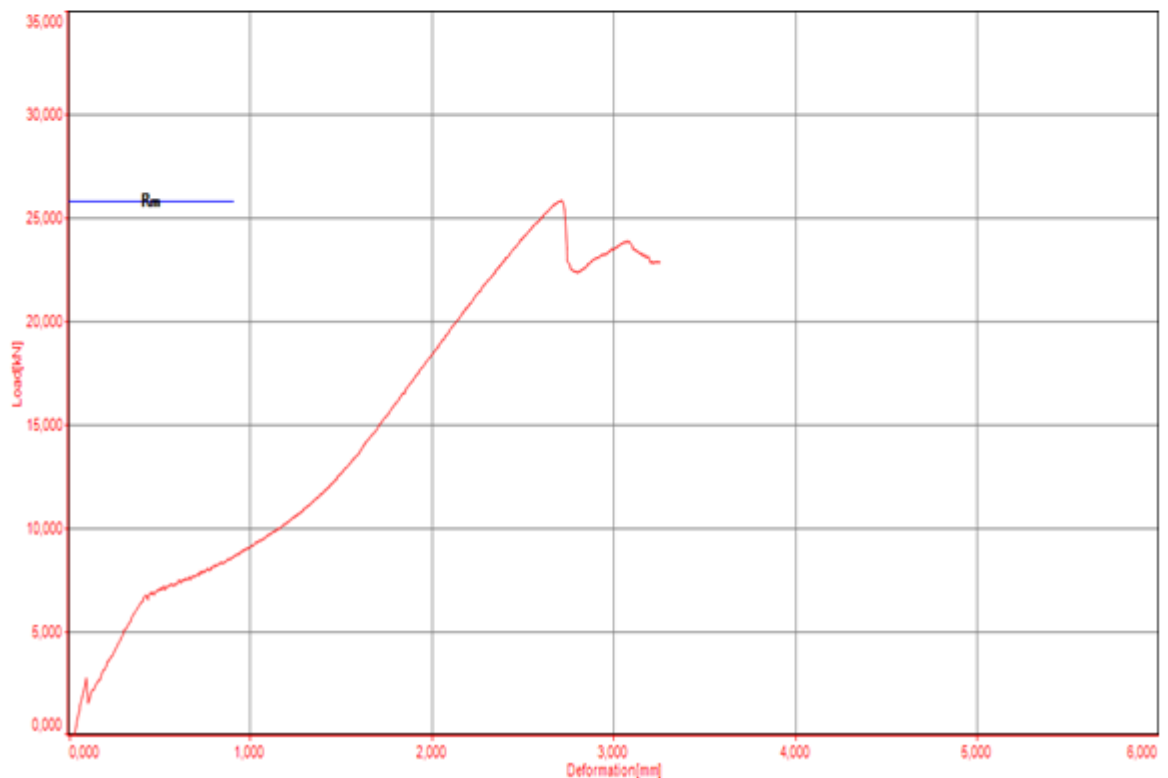
Sample Designation:

Sample Preparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V5 / 556

Description	Result
Thickness x Width $a_0 \times b_0$	90,000 x 180,000 mm
Start Section S_0	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity E	0 GPa
Upper yield strength R_{eH}	— MPa
Lower yield strength R_{eL}	— MPa
0,020%/0,200% Proof Strength, Plastic Extension R_P	0 / 0 MPa
Tensile Strength R_m	2 MPa
Percentage Elongation after Fracture A	0,00 %
Percentage Reduction of Area Z	100,00 %
Maximum Force F_m	25,84 kN

C:\ProgramData\Walter Bai\ Dion7\Reports\Simple Protocol.lst



Vetolujuustestauksen raportti

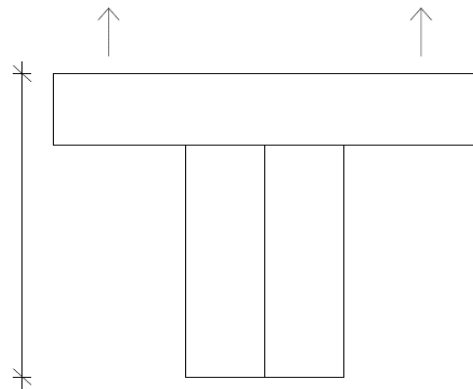
VETOTESTI

Koekappale

V6

Maksimi voima	24,96	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	3,38	mm
Testin kesto	20,25	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,292	mm
Ilman lämpötila	23,2	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,064	mm
Koekappaleen kosteus	13,24	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	0,52	mm
	0,18	%



Tappien kunto	Tapeissa pientä (ei merkittävää) muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Vaneri oli ehjä
Liimapuun kunto	Liimapuupalkin sisällä halkeamia.
Muuta	

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 64. Liimapuun murtuma. Liimapuun sisällä on murtumia. Ympyröity halkeama johtuu kosteusmittarin piikistä



Kuva 65. Liimapuun halkeama

Vetolujuustestauksen raportti



SAVONIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

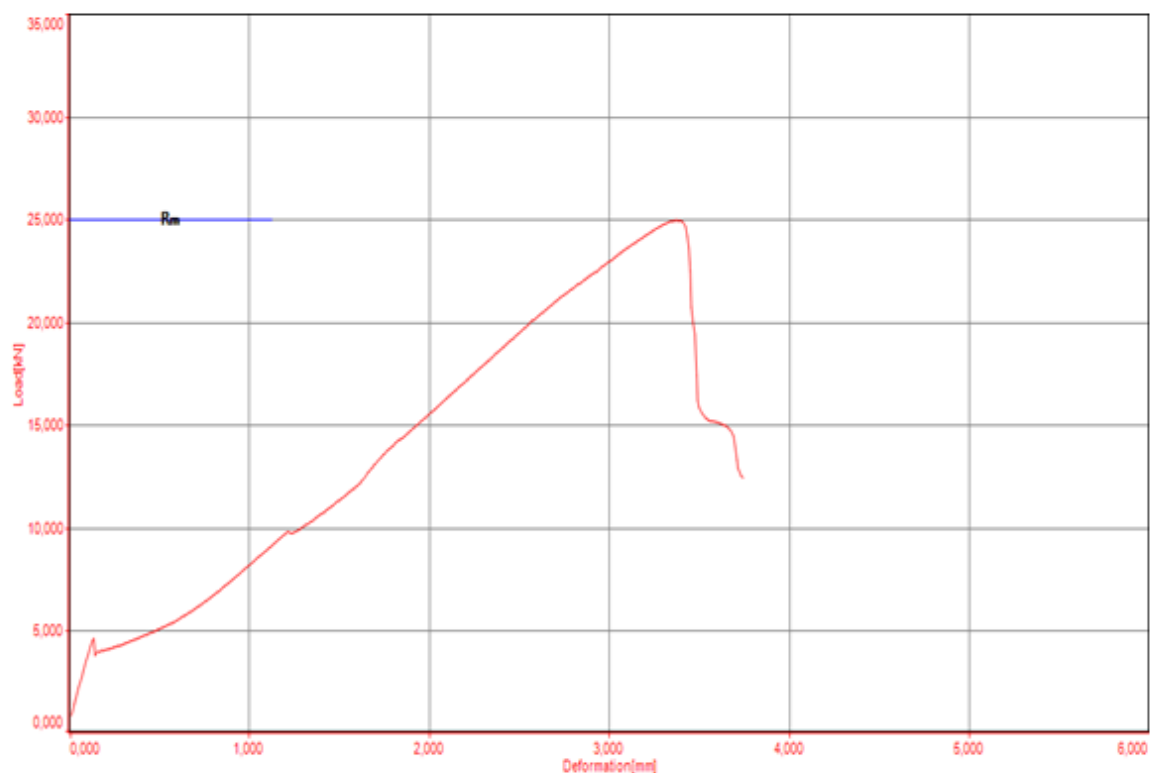
SampleDesignation:

SamplePreparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V6 / 554

Description	Result
Thickness x Width $a_0 \times b_0$	90,000 x 180,000 mm
Start Section S_0	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity E	0 GPa
Upper yield strength R_{eH}	-- MPa
Lower yield strength R_{eL}	-- MPa
0,020%/0,200% Proof Strength, Plastic Extension R_P	0 / 0 MPa
Tensile Strength R_m	2 MPa
Percentage Elongation after Fracture A	0,00 %
Percentage Reduction of Area Z	100,00 %
Maximum Force F_m	24,96 kN

C:\Program Data\Walter Bai\ Dion 7\ Reports\ Simple Protocol list



Vetolujuustestauksen raportti

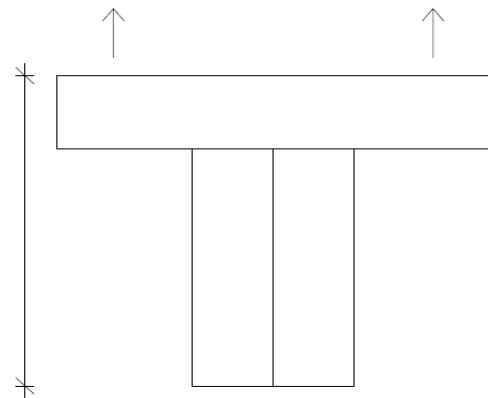
VETOTESTI

Koekappale

V7

Maksimi voima	29,6	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	7,78	mm
Testin kesto	46,75	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	4,796	mm
Ilman lämpötila	23,4	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,068	mm
Koekappaleen kosteus	14,79	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	0,72	mm
	0,25	%



Tappien kunto	Tapeissa hyvin vähäistä muodonmuutosta. Ei merkittäviä vaurioita
Vanerin kunto	Vaneri oli ehjä.
Liimapuun kunto	Tappien kohdalla muodonmuutosta. Sisäisiä murtumia sekä vertikaalisessa, että horisontaalisessa kappaleessa.
Muuta	Normaalista poikkeava voiman kehityskäyrä noin 4 mm:in asti kunnes alkaa käyttäytyä normaalisti.

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 66. Liimapuun vauriot. Liimapuussa olevia muodonmuutoksia sekä liitoskappaleiden siirtymää



Kuva 67. Sisäisiä murtumia. Ympyröity halkeama johtuu kosteusmittarin piikistä



Kuva 68. Liimapuun murtuminen. Liimapuu on murtunut sisältä

Vetolujuustestauksen raportti


SAVONIA
 UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Test Report

Order Number:

Operator: AT+LA

Work Card:

SurfaceType:

Melt:

Material Info:

Remarks:

Supplier:

Work Card:

Batch Number:

Date of Test: 21.11.2014

Sample Group:

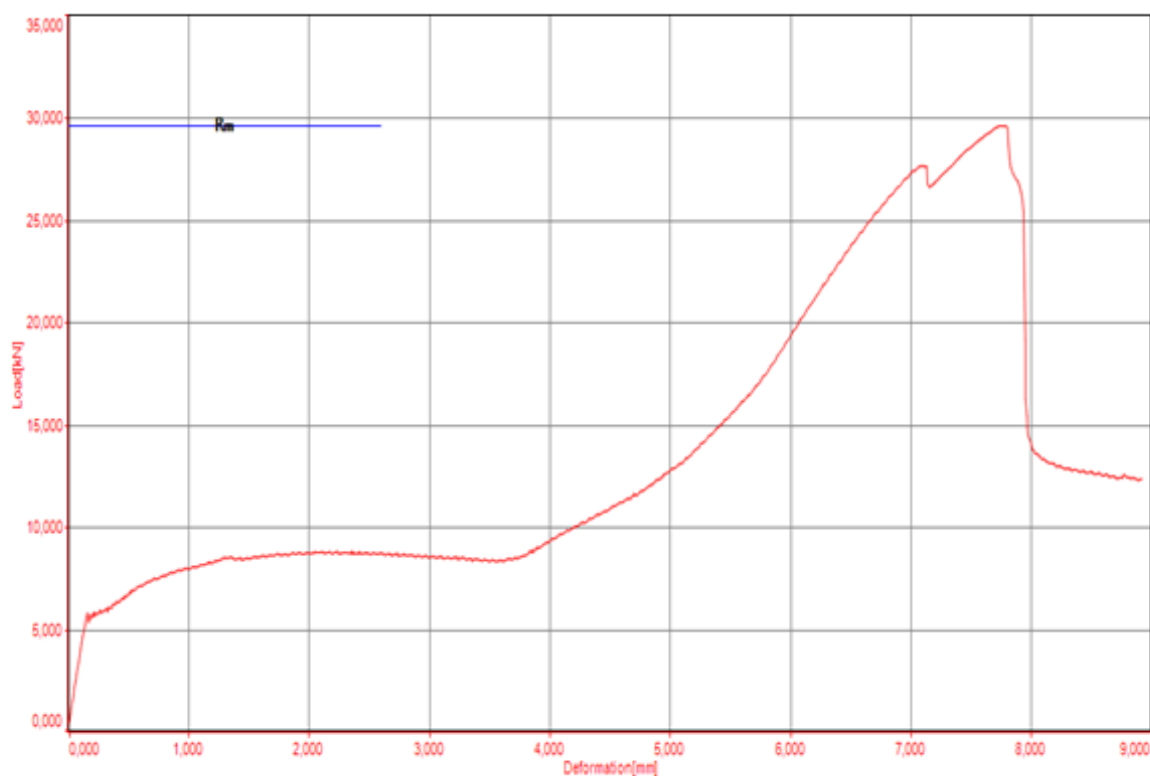
SampleDesignation:

SamplePreparation:

ID: palkin vetokoe 10mm/s V7 / 558

Description	Result
Thickness x Width $a_0 \times b_0$	90,000 x 180,000 mm
Start Section S_0	16 200,000 mm ²
Modulus of Elasticity E	0 GPa
Upper yield strenght R_{eH}	— MPa
Lower yield strength R_{eL}	— MPa
0,020% / 0,200% ProofStrength, PlasticExtension R_P	0 / 0 MPa
Tensile Strength R_m	2 MPa
Percentage Elongation after Fracture A	0,00 %
Percentage Reduction of Area Z	100,00 %
Maximum Force F_m	29,60 kN

C:\Program Data\Walter Baih Dion 7\Reports\Simple Protocol.1st



Vetolujuustestauksen raportti

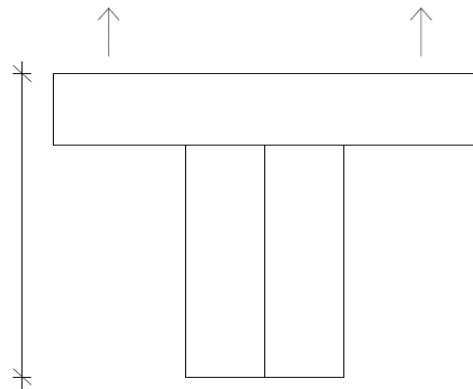
VETOTESTI

Koekappale

V8

Maksimi voima	23,7	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	10,89	mm
Testin kesto	76,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	6,67	mm
Ilman lämpötila	21,6	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	3,46	mm
Koekappaleen kosteus	12,48	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,73	mm
	0,6	%



Tappien kunto	Tapeissa muodonmuutoksia, mutta ei murtumia.
Vanerin kunto	Vanerissa isompi vaurio, mutta se on tullut melko varmuudella kappalaiden purkamisvaiheessa. Muuten vaneri oli kunnossa.
Liimapuun kunto	Liimapuussa reikien kohdalla muodonmuutoksia sekä liimapuu oli sisältä murtunut.
Muuta	Testikone vaihtui tässä testissä.

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 69. Liitoksen siirtymä. Liimapuut ovat siirtyneet toisiinsa nähden sekä reikien kohdalla on muodonmuutosta



Kuva 70. Vaneripalan vaurio. Vanerissa on vaurio pintaviilussa, joka on todennäköisesti tullut purkuvaiheessa

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 71. Liimapuun murtuminen. liimapuu on lähtenyt murtumaan vaneripalan reunalta

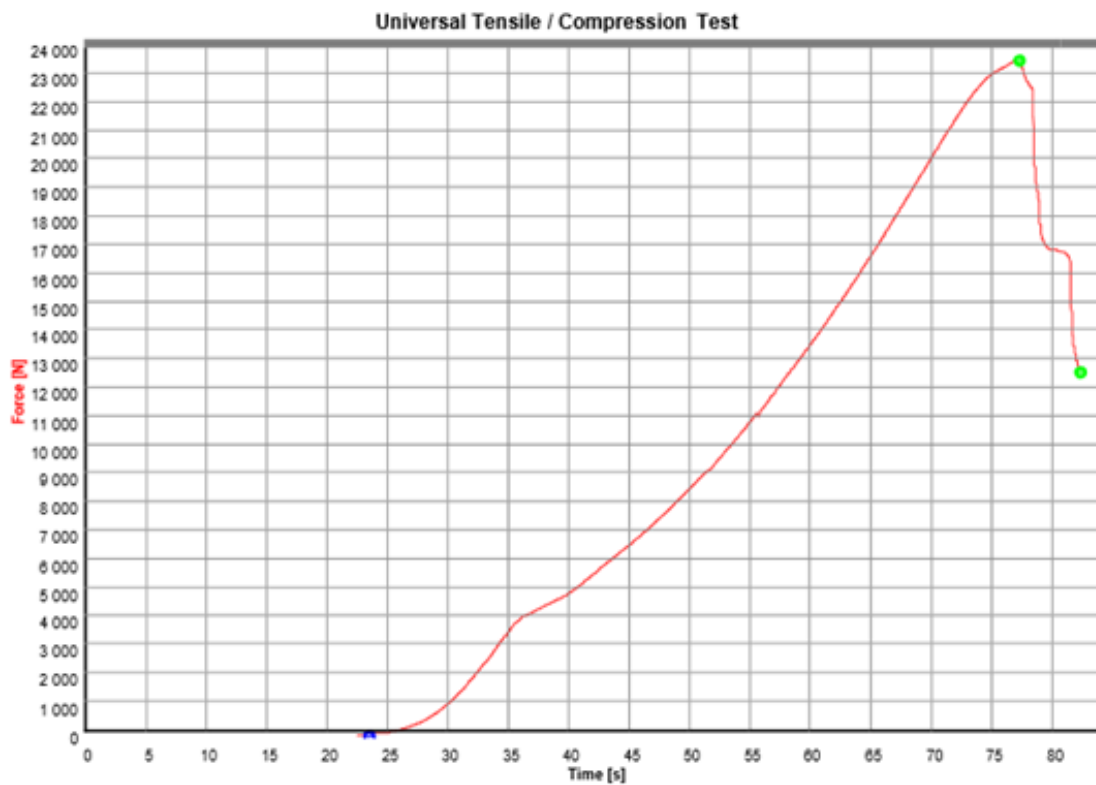
Vetolujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T_veto
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 14:49

Testparameters

Test: Universal Tensile / Compression Test
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: a = 172 mm; b = 24 mm; h = 1 mm; m = 100 g
 Length data: Le = 50 mm; Lc = 100 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 100 N
 End of test criteria: XHead = 50 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	FH N	RH N/mm ²	AH %	dLH mm	FB N
1	x	25.11.14	14:49			23707.40	5.74	17.23	8.95	12836.90

	RB N/mm ²	AB %	dLB mm
1	3.11	18.88	9.81

Vetolujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_veto
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 14:49

Statistics n = 1

	FH N	RH N/mm²	AH %	dLH mm	FB N	RB N/mm²	AB %	dLB mm
Average	23707.40	5.74	17.23	8.95	12836.90	3.11	18.88	9.81
Standard deviation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variation coeff.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Vetolujuustestauksen raportti

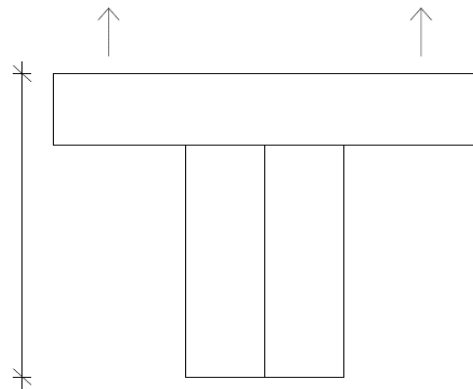
VETOTESTI

Koekappale

V9

Maksimi voima	23,18	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	11,20	mm
Testin kesto	67,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	6,96	mm
Ilman lämpötila	21,7	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	2	mm
Koekappaleen kosteus	13,1	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,39	mm
	0,48	%



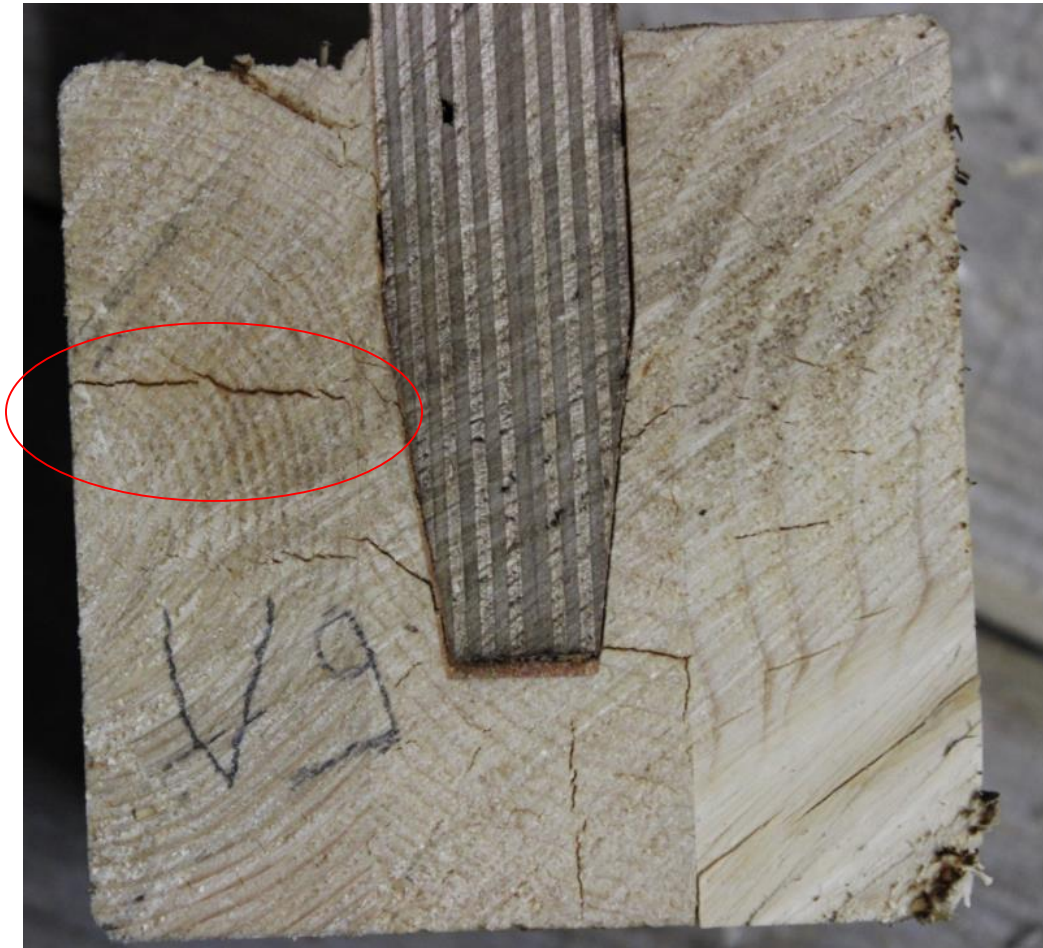
Tappien kunto	Selkeää muodonmuutosta havaittavissa, mutta ei kuitenkaan murtumia.
Vanerin kunto	Vaneri oli kunnossa.
Liimapuun kunto	Muodonmuutoksia reikienkohdalla. Murtunut sisältä
Muuta	

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 72. Liitoksen siirtymä. Liimapuut ovat siirtyneet toisiinsa nähden sekä reikien kohdalle on syntynyt muodonmuutosta



Kuva 73 Liimapuun halkeama. Halkeama liimapuun horisontaalisessa kappaleessa vetosuuntaan nähden

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 74. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia. Ympyröity halkeama johtuu kosteusmittarin piikistä



Kuva 75. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

Vetolujuustestauksen raportti

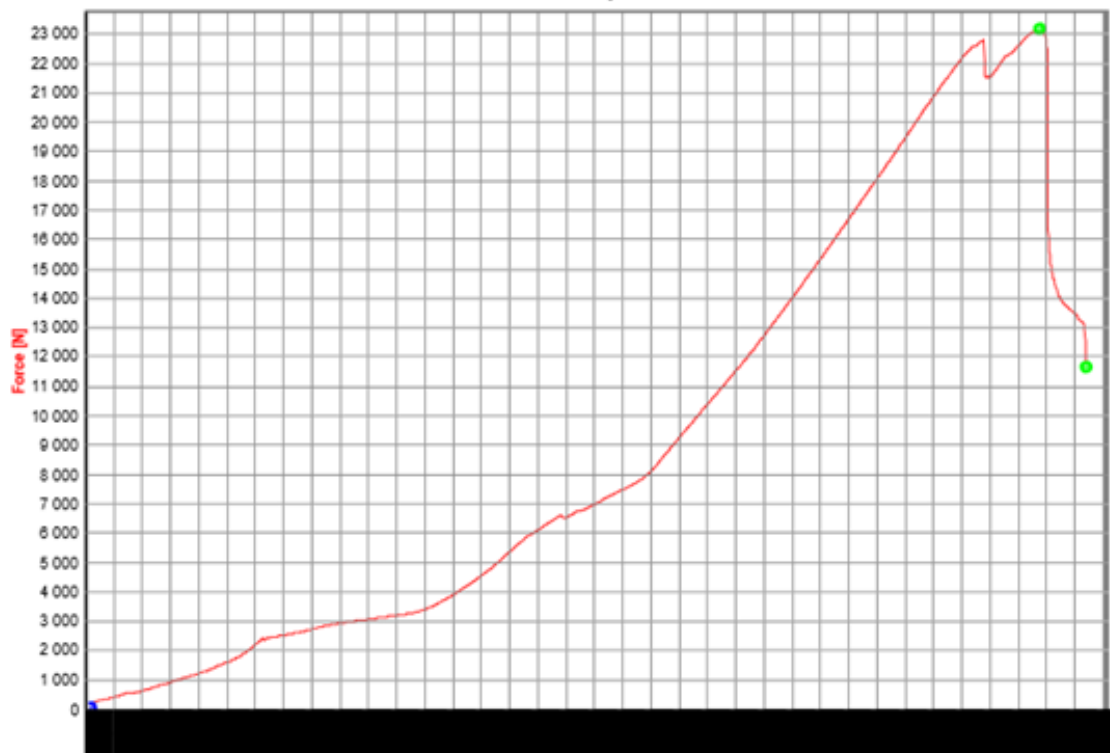
Operator: arbellius
 Material: tuki_T_veto
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 15:02

Testparameters

Test: Universal Tensile / Compression Test
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: a = 172 mm; b = 24 mm; h = 1 mm; m = 100 g
 Length data: Le = 50 mm; Lc = 100 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 100 N
 End of test criterions: XHead = 50 mm; dF = 50 %

Universal Tensile / Compression Test



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	FH N	RH N/mm ²	AH %	dLH mm	FB N
2	x	25.11.14	15:02			23183.50	5.62	22.37	11.19	11705.70

	RB N/mm ²	AB %	dLB mm
2	2.84	23.46	11.73

Vetolujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_veto
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 15:02

Statistics n = 2

	FH N	RH N/mm ²	AH %	dLH mm	FB N	RB N/mm ²	AB %	dLB mm
Average	23445.45	5.68	19.80	10.07	12271.30	2.97	21.17	10.77
Standard deviation	370.45	0.09	3.63	1.58	799.88	0.19	3.24	1.36
Variation coeff.	1.58	1.58	18.35	15.71	6.52	6.52	15.30	12.65

Vetolujuustestauksen raportti

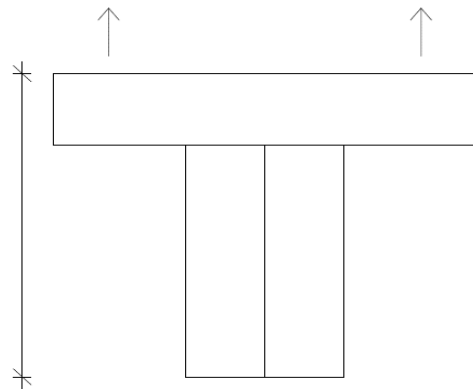
VETOTESTI

Koekappale

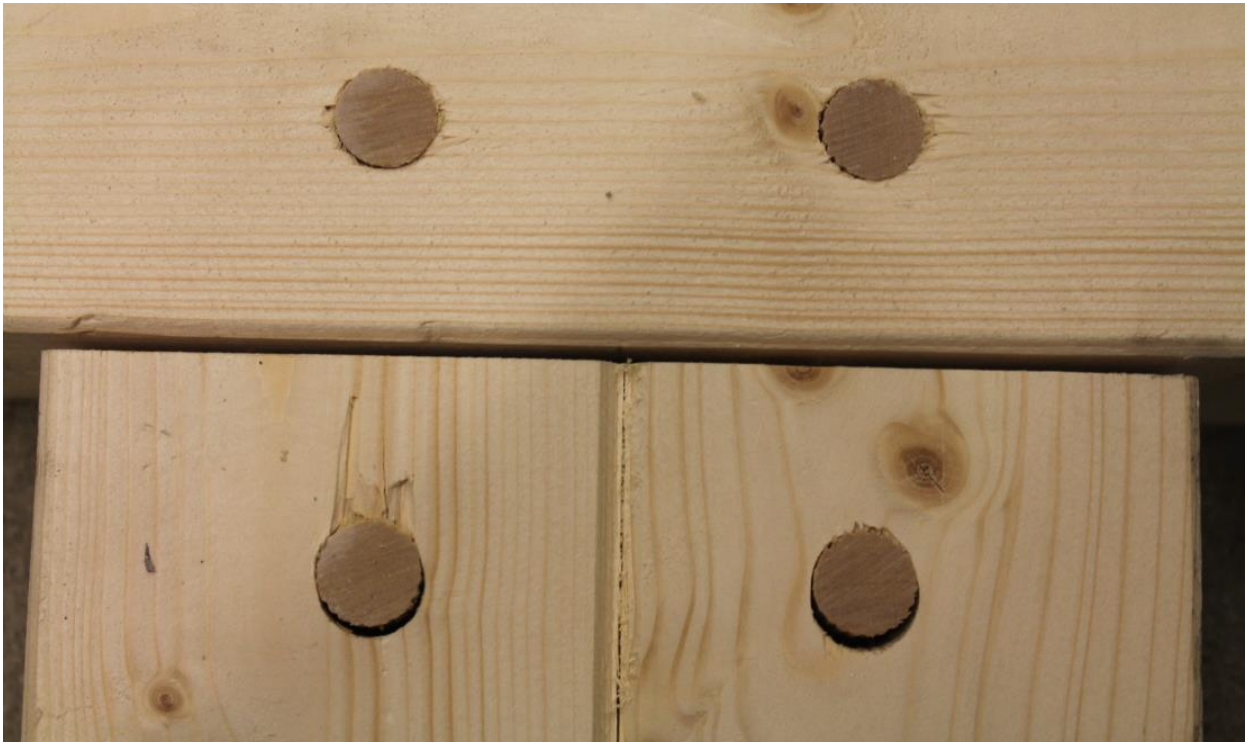
V10

Maksimi voima	19,4	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	10,18	mm
Testin kesto	61,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	5,88	mm
Ilman lämpötila	21,6	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,51	mm
Koekappaleen kosteus	12,86	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	2,11	mm
	0,73	%



Tappien kunto	Hyvin pientä, ei merkittävää muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Muodonmuutoksia reikien kohdalla. Pieniä sisäisiä murtumia.
Muuta	

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 76. Liitoksen siirtymä. Liimapuukappaleet ovat siirtyneet toisiinsa nähden sekä reikien kohdalla on tapahtunut muodonmuutosta



Kuva 77. Vaneripalan vaurio. Vaneriin on syntynyt pientä vauriota reiän kohdalle

Vetolujuustestauksen raportti

Kuva 78. Vaneripalan vaurio. Vanerissa olevan reiän kohdalle on syntynyt vauriota

Vetolujuustestauksen raportti

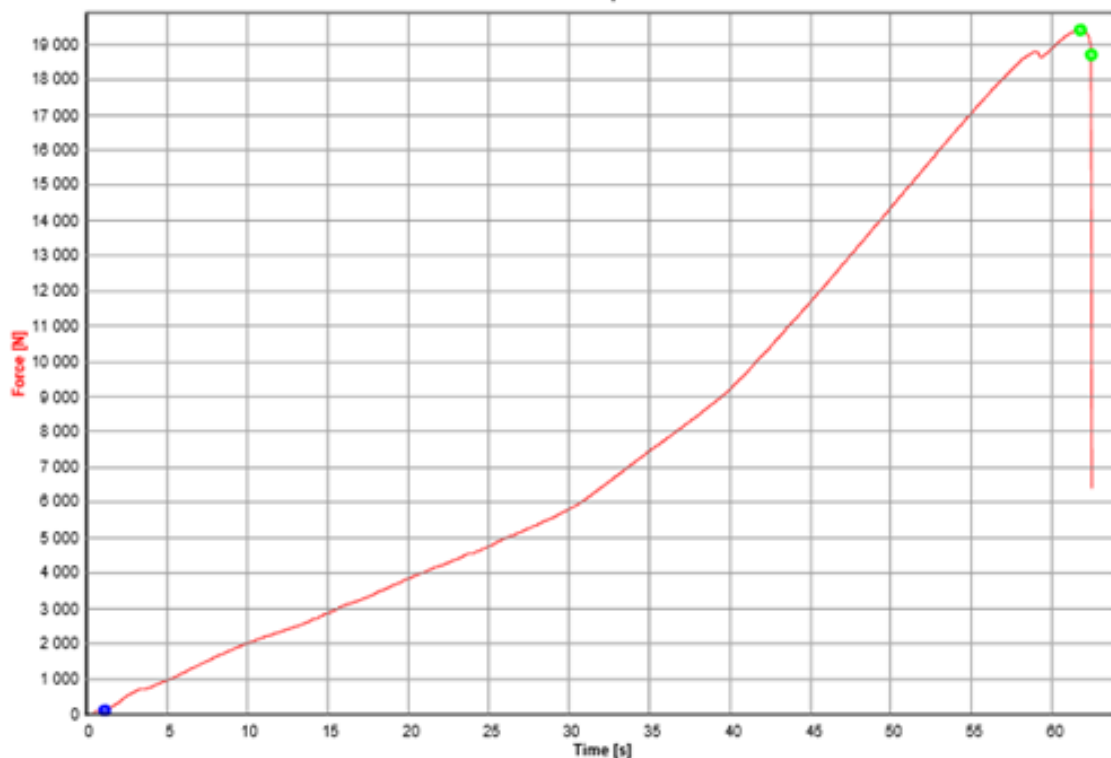
Operator: arbelius
 Material: tuki_T_veto
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 15:11

Testparameters

Test: Universal Tensile / Compression Test
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: a = 172 mm; b = 24 mm; h = 1 mm; m = 100 g
 Length data: Le = 50 mm; Lc = 100 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 100 N
 End of test criterions: XHead = 50 mm; dF = 50 %

Universal Tensile / Compression Test



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	FH N	RH N/mm ²	AH %	dLH mm	FB N
3	x	25.11.14	15:11			19406.10	4.70	20.15	10.09	18705.70

		RB N/mm ²	AB %	dLB mm
3		4.53	20.39	10.21

Vetolujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_veto
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 15:11

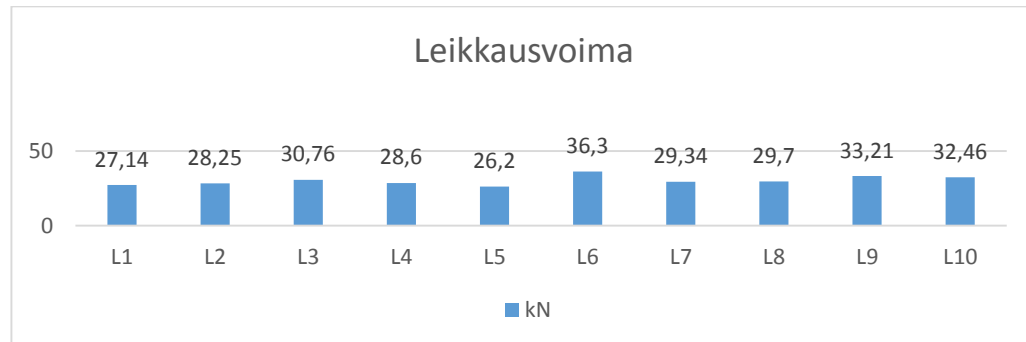
Statistics n = 3

	FH N	RH N/mm ²	AH %	dLH mm	FB N	RB N/mm ²	AB %	dLB mm
Average	22099.00	5.35	19.92	10.08	14416.10	3.49	20.91	10.58
Standard deviation	2346.79	0.57	2.58	1.12	3757.71	0.91	2.33	1.02
Variation coeff.	10.62	10.62	12.94	11.10	26.07	26.07	11.16	9.60

Leikkauslujuustestauksen raportti

1 Voimat

Leikkauslujuustestit suoritettiin rasittamalla koekappaletta 10 mm/s.



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{301,96 \text{ kN}}{10} = 30,196 \text{ kN}$$

Vaihteluväli:

$$26,2 - 36,3 \text{ kN}$$

Välin pituus:

$$10,1 \text{ kN}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

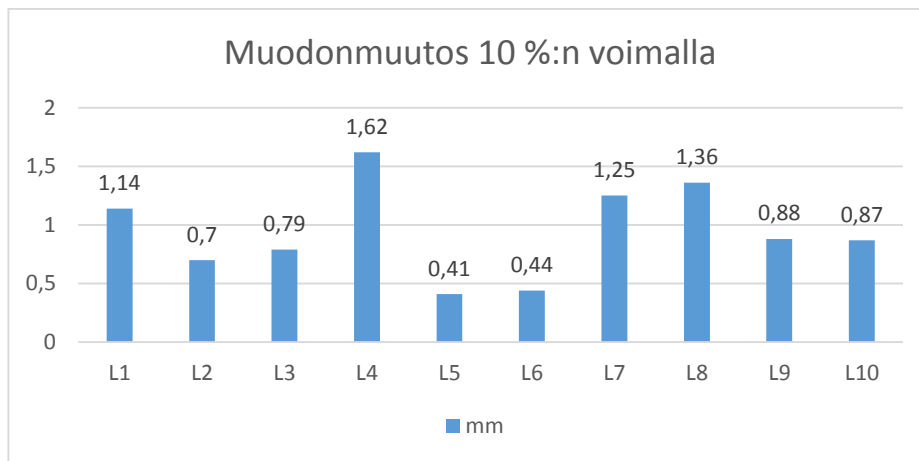
$$s = \sqrt{\frac{84,407 \text{ kN}}{10 - 1}}$$

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
L1	30,196	27,14	9,339136
L2	30,196	28,25	3,786916
L3	30,196	30,76	0,318096
L4	30,196	28,6	2,547216
L5	30,196	26,2	15,968016
L6	30,196	36,3	37,258816
L7	30,196	29,34	0,732736
L8	30,196	29,7	0,246016
L9	30,196	33,21	9,084196
L10	30,196	32,46	5,125696
yhteensä			84,40684

$$s = 3,06 \text{ kN}$$

2 Muodonmuutos 10 %:n voimalla

Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{9,46 \text{ mm}}{10} = 0,946 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

0,41 – 1,62 mm

Välin pituus:

1,21 mm

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

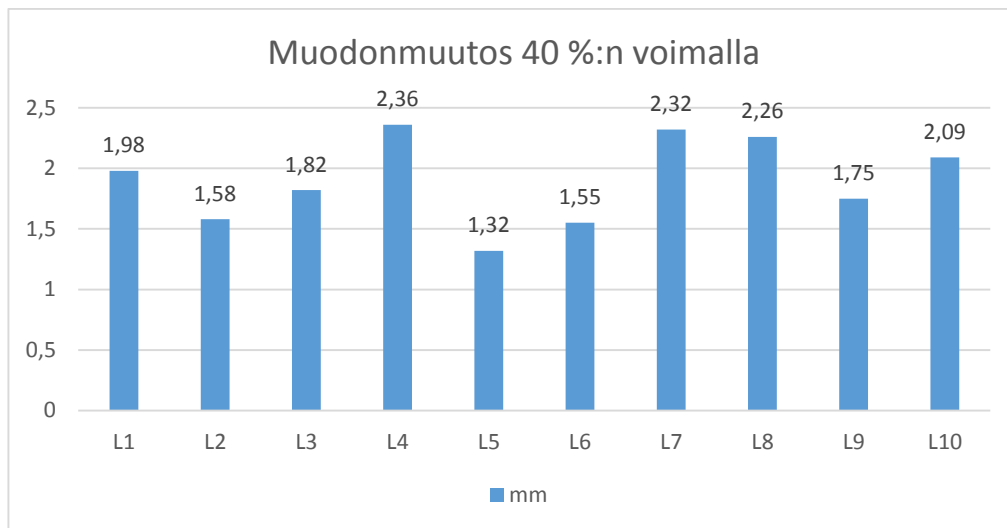
$$s = \sqrt{\frac{1,394 \text{ mm}}{10 - 1}}$$

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
L1	0,946	1,14	0,037636
L2	0,946	0,7	0,060516
L3	0,946	0,79	0,024336
L4	0,946	1,62	0,454276
L5	0,946	0,41	0,287296
L6	0,946	0,44	0,256036
L7	0,946	1,25	0,092416
L8	0,946	1,36	0,171396
L9	0,946	0,88	0,004356
L10	0,946	0,87	0,005776
yhteensä			1,39404

$s = 0,39 \text{ mm}$

3 Muodonmuutos 40 %:n voimalla

Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{19,03 \text{ mm}}{10} = 1,903 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

1,32 – 2,36 mm

Välin pituus:

1,04 mm

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

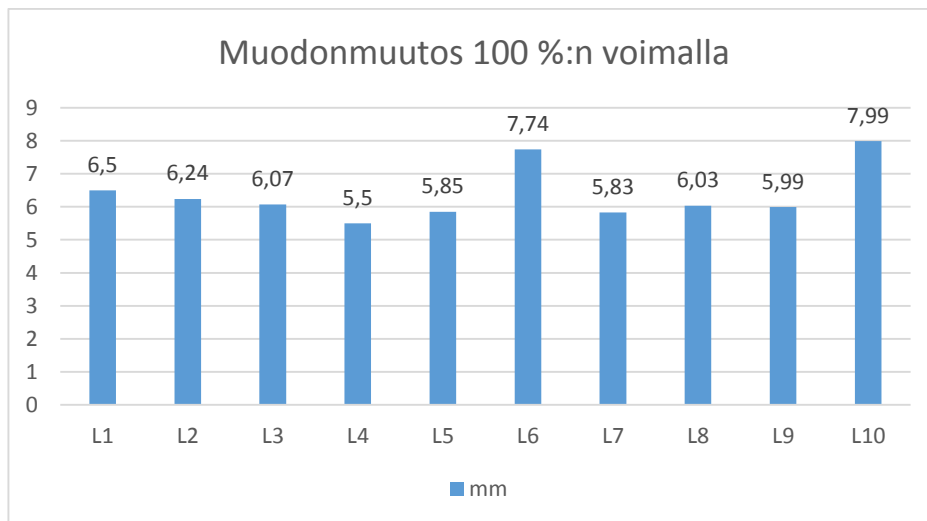
$$s = \sqrt{\frac{1,1502 \text{ mm}}{10 - 1}}$$

Kappale	x	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
L1	1,903	1,98	0,005929
L2	1,903	1,58	0,104329
L3	1,903	1,82	0,006889
L4	1,903	2,36	0,208849
L5	1,903	1,32	0,339889
L6	1,903	1,55	0,124609
L7	1,903	2,32	0,173889
L8	1,903	2,26	0,127449
L9	1,903	1,75	0,023409
L10	1,903	2,09	0,034969
yhteensä			1,15021

$s = 0,36 \text{ mm}$

4 Muodonmuutos 100 %:n voimalla

Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{63,74 \text{ mm}}{10} = 6,374 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

5,5 – 7,99 mm

Välin pituus:

2,49 mm

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{6,204 \text{ mm}}{10 - 1}}$$

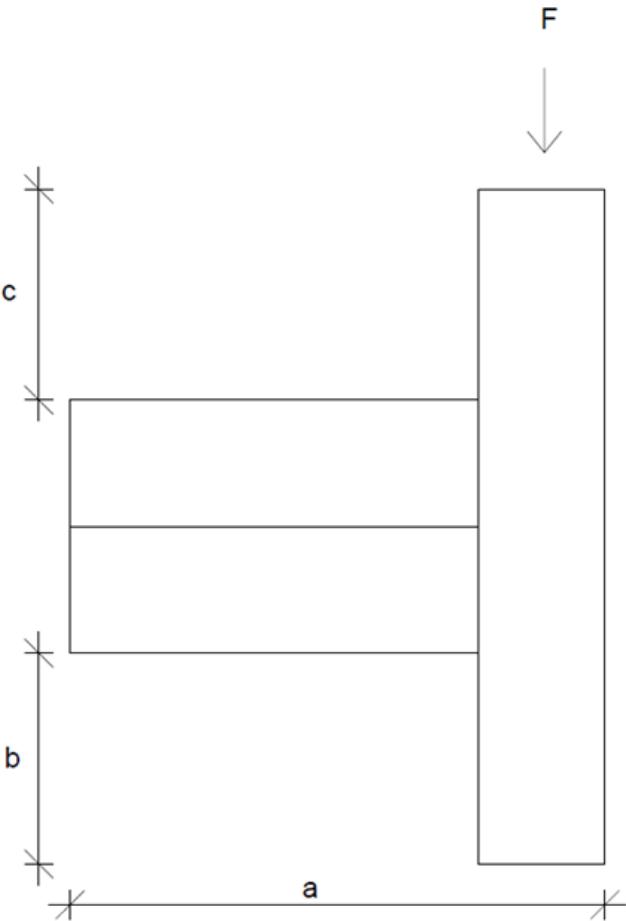
Kappale	x	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
L1	6,374	6,5	0,015876
L2	6,374	6,24	0,017956
L3	6,374	6,07	0,092416
L4	6,374	5,5	0,763876
L5	6,374	5,85	0,274576
L6	6,374	7,74	1,865956
L7	6,374	5,83	0,295936
L8	6,374	6,03	0,118336
L9	6,374	5,99	0,147456
L10	6,374	7,99	2,611456
yhteensä			6,20384

s = 0,83 mm

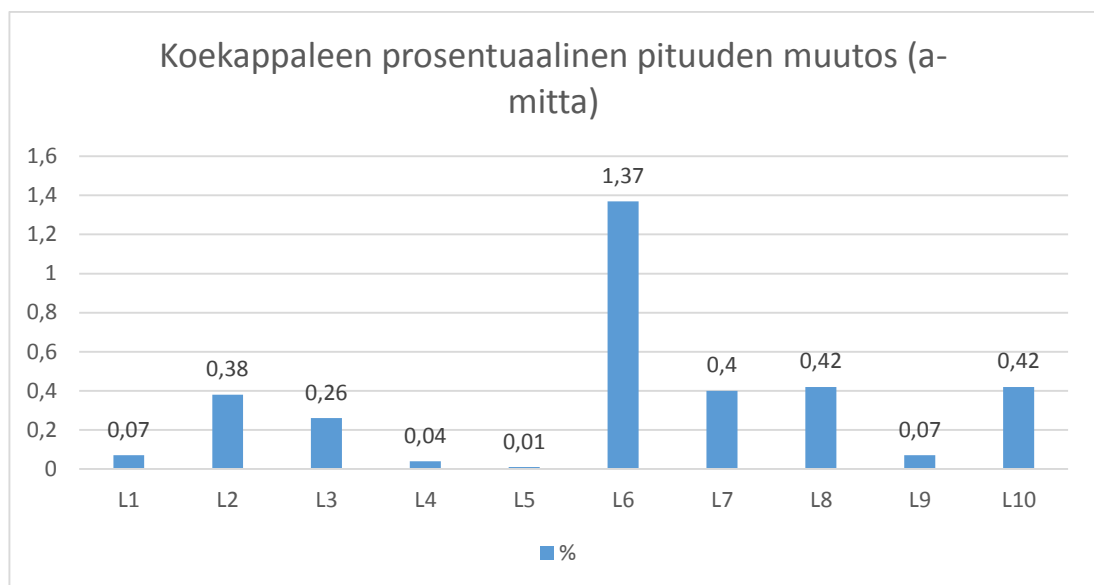
5 Koekappaleen pituuden muutos

Koekappaleesta otettiin ennen ja jälkeen testin mitat seuraavasti: a-mitta 6 kpl, b-mitta 3 kpl ja c-mitta 3 kpl.

Leikkauslujuustestauksen raportti



Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{3,44 \%}{10} = 0,344 \%$$

Vaihteluväli:

0,01 – 1,37 %

Välin pituus:

1,36 %

Keskihajonta:

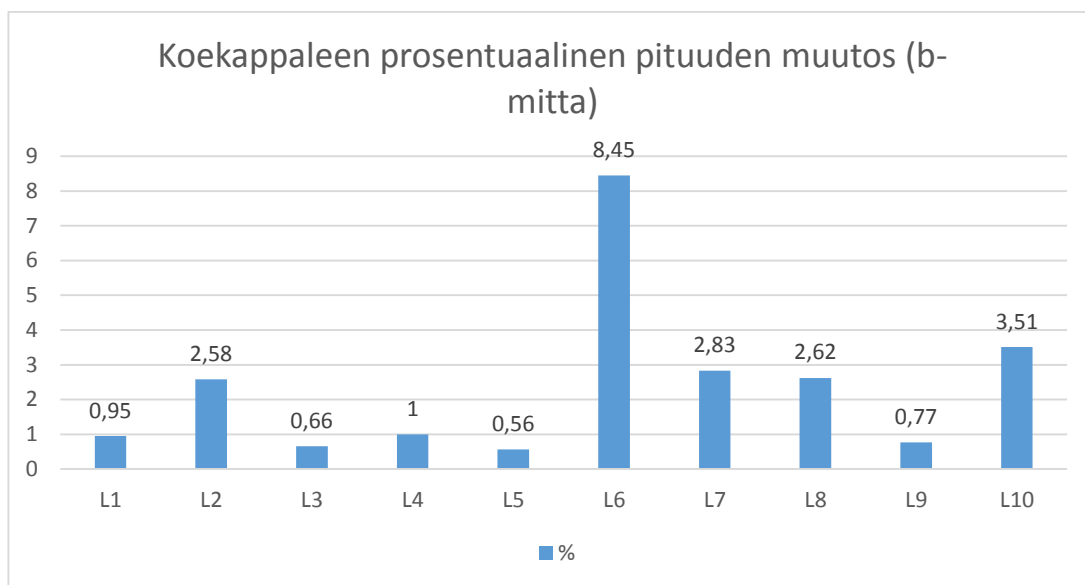
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{1,4298 \%}{10 - 1}}$$

s = 0,39 %

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
L1	0,344	0,07	0,075076
L2	0,344	0,38	0,001296
L3	0,344	0,26	0,007056
L4	0,344	0,04	0,092416
L5	0,344	0,01	0,111556
L6	0,344	1,37	1,052676
L7	0,344	0,4	0,003136
L8	0,344	0,42	0,005776
L9	0,344	0,07	0,075076
L10	0,344	0,42	0,005776
yhteensä			1,42984

Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{23,52\%}{10} = 2,352\%$$

Vaihteluväli:

0,56 – 8,45 %

Välin pituus:

7,89 %

Keskihajonta:

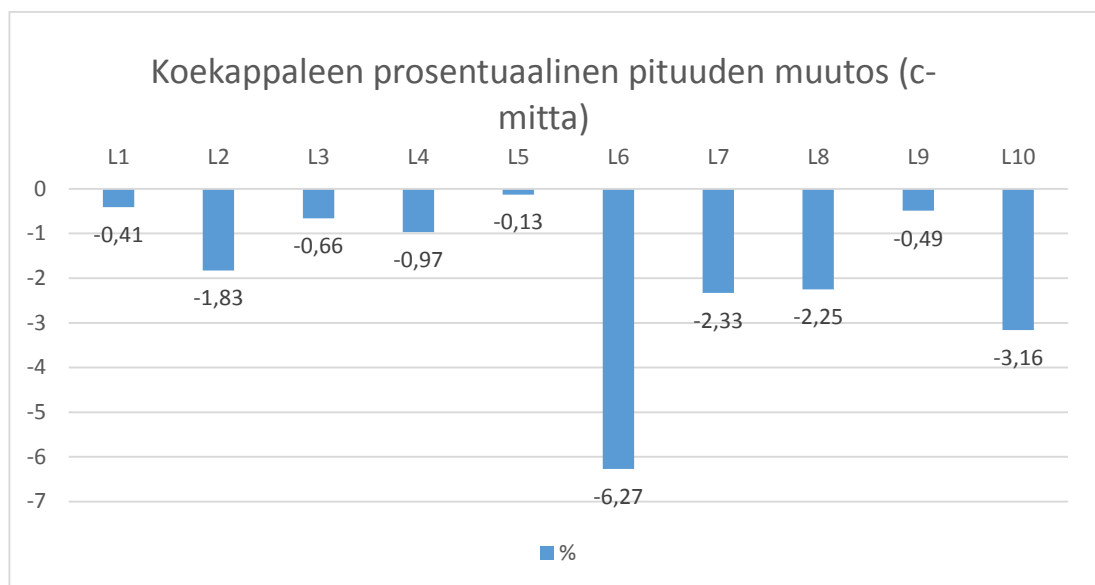
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{51,249\%}{10 - 1}}$$

s = 2,39 %

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
L1	2,352	0,95	1,965604
L2	2,352	2,58	0,051984
L3	2,352	0,66	2,862864
L4	2,352	1	1,827904
L5	2,352	0,56	3,211264
L6	2,352	8,45	37,185604
L7	2,352	2,83	0,228484
L8	2,352	2,62	0,071824
L9	2,352	0,77	2,502724
L10	2,352	3,51	1,340964
yhteensä			51,24922

Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{-18,5\%}{10} = -1,85\%$$

Vaihteluväli:

$$-0,13 - (-6,27)\%$$

Välin pituus:

$$6,14\%$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{30,715\%}{10 - 1}}$$

$$s = 1,85\%$$

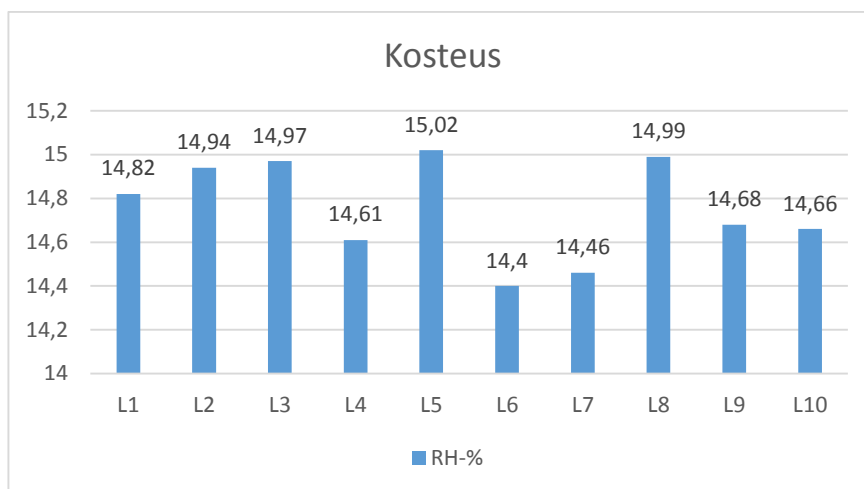
6 Koekappaleiden kosteudet

Kappale	x	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
L1	-1,85	-0,41	2,0736
L2	-1,85	-1,83	0,0004
L3	-1,85	-0,66	1,4161
L4	-1,85	-0,97	0,7744
L5	-1,85	-0,13	2,9584
L6	-1,85	-6,27	19,5364
L7	-1,85	-2,33	0,2304
L8	-1,85	-2,25	0,16
L9	-1,85	-0,49	1,8496
L10	-1,85	-3,16	1,7161
yhteensä			30,7154

Kosteus mitattiin heti testin
deksästä eri kohdasta koekappaleelta.

jälkeen yh-

Leikkauslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{L1+L2+\dots+L10}{n} = \frac{147,55 \text{ RH-\%}}{10} = 14,755 \text{ RH-\%}$$

Vaihteluväli:

14,4 – 15,02 RH-%

Välin pituus:

0,62 RH-%

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0,4589 \text{ RH-\%}}{10 - 1}}$$

s = 0,23 RH-%

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
L1	14,755	14,82	0,004225
L2	14,755	14,94	0,034225
L3	14,755	14,97	0,046225
L4	14,755	14,61	0,021025
L5	14,755	15,02	0,070225
L6	14,755	14,4	0,126025
L7	14,755	14,46	0,087025
L8	14,755	14,99	0,055225
L9	14,755	14,68	0,005625
L10	14,755	14,66	0,009025
yhteensä			0,45885

7 Keskiarvot ja hajonnat

Voima	30,196 kN
Hajonta	3,06 kN
Muodonmuutos 10 %:n voimalla	0,946 mm

Leikkauslujuustestauksen raportti

Hajonta	0,39 mm
Muodonmuutos 40 %:n voimalla	1,903 mm
Hajonta	0,36 mm
Muodonmuutos 100 %:n voimalla	6,374 mm
Hajonta	0,83 mm
Pituuden muutos a-mitta	0,344 %
Hajonta	0,39 %
Pituuden muutos b-mitta	2,352 %
Hajonta	2,39 %
Pituuden muutos c-mitta	-1,85 %
Hajonta	1,85 %
Koekappaleen kosteus	14,755 RH-%
Hajonta	0,23 RH-%

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

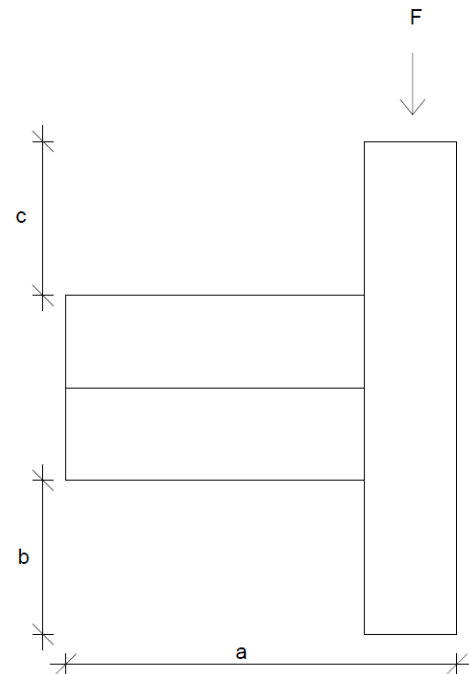
Koekappale

L1

Maksimi voima	27,14	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	6,50	mm
Testin kesto	43,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,98	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,14	mm
Koekappaleen kosteus	14,82	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	0,217	mm
	0,07	%
b-mitta	1,04	mm
	0,95	%
c-mitta	-0,45	mm
	-0,41	%



Tappien kunto	Pientä muodon muutosta.
Vanerin kunto	Pieniä vaurioita reikien kohdalla.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 79. Liimapuun muodonmuutos. Liimapuuhun on syntynyt muodonmuutosta reiän kohdalle



Kuva 80. Poratapin vaurio. Poratapissa on havaittavissa pientä plastista painumaa

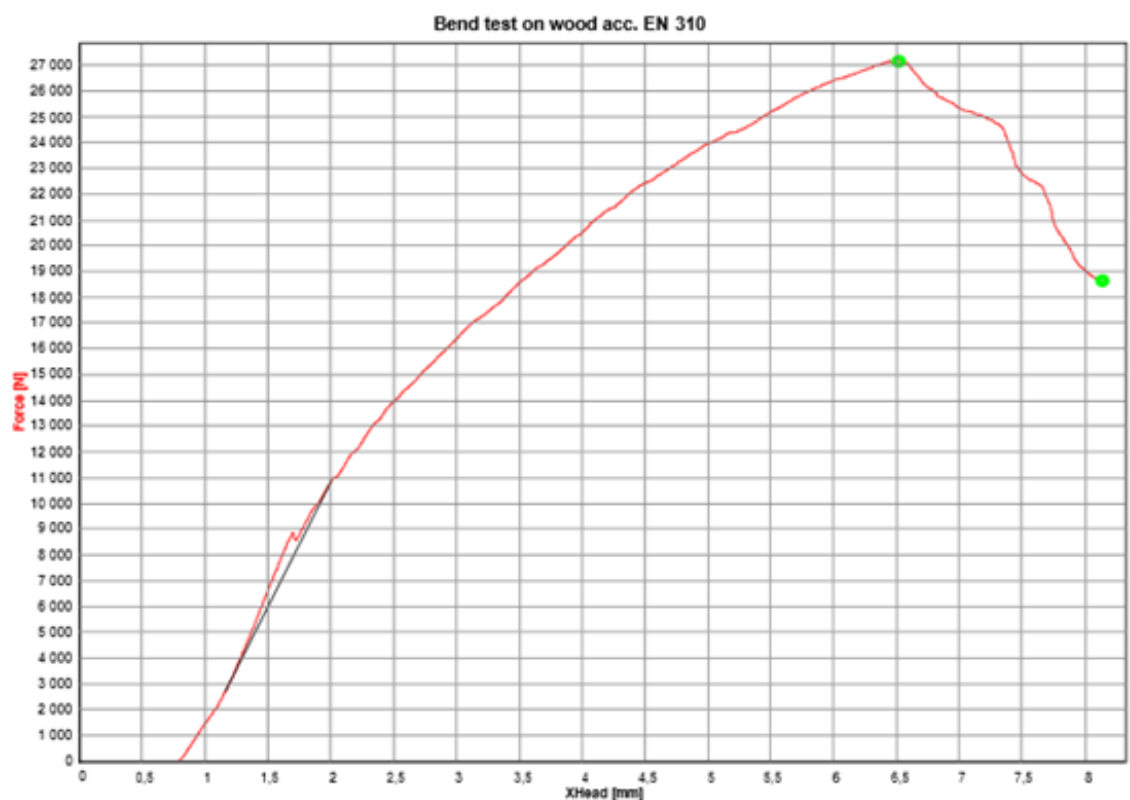
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T_L
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 12:10

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
 Length data: l1 = 1 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 20 N
 End of test criterions: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
5	x	25.11.14	12:10			0.01	27146.00	0.01	18643.20	0.00

	dL _m mm	dL _b mm	
5	5.80	7.41	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:10

Statistics n = 5

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	21577.03	0.02	19259.22	0.00	12.32	13.77
Standard deviation	0.00	4178.31	0.01	2158.43	0.00	6.33	5.81
Variation coeff.	19.92	19.36	32.47	11.21	33.87	51.34	42.21

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

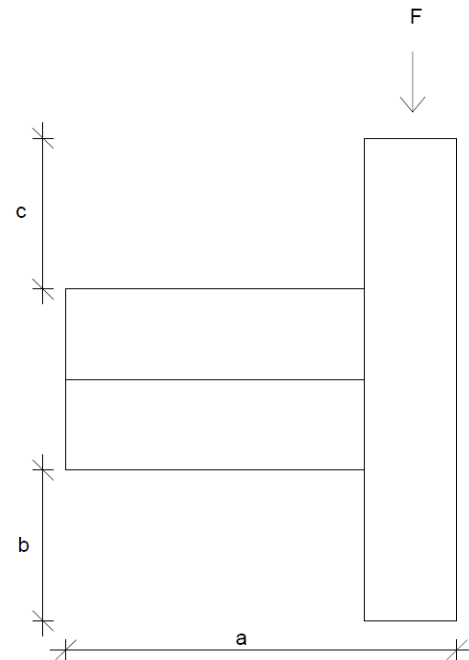
Koekappale

L2

Maksimi voima	28,25	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	6,24	mm
Testin kesto	38,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,58	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,7	mm
Koekappaleen kosteus	14,94	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	1,11	mm
	0,38	%
b-mitta	2,82	mm
	2,58	%
c-mitta	-2,05	mm
	1,83	%



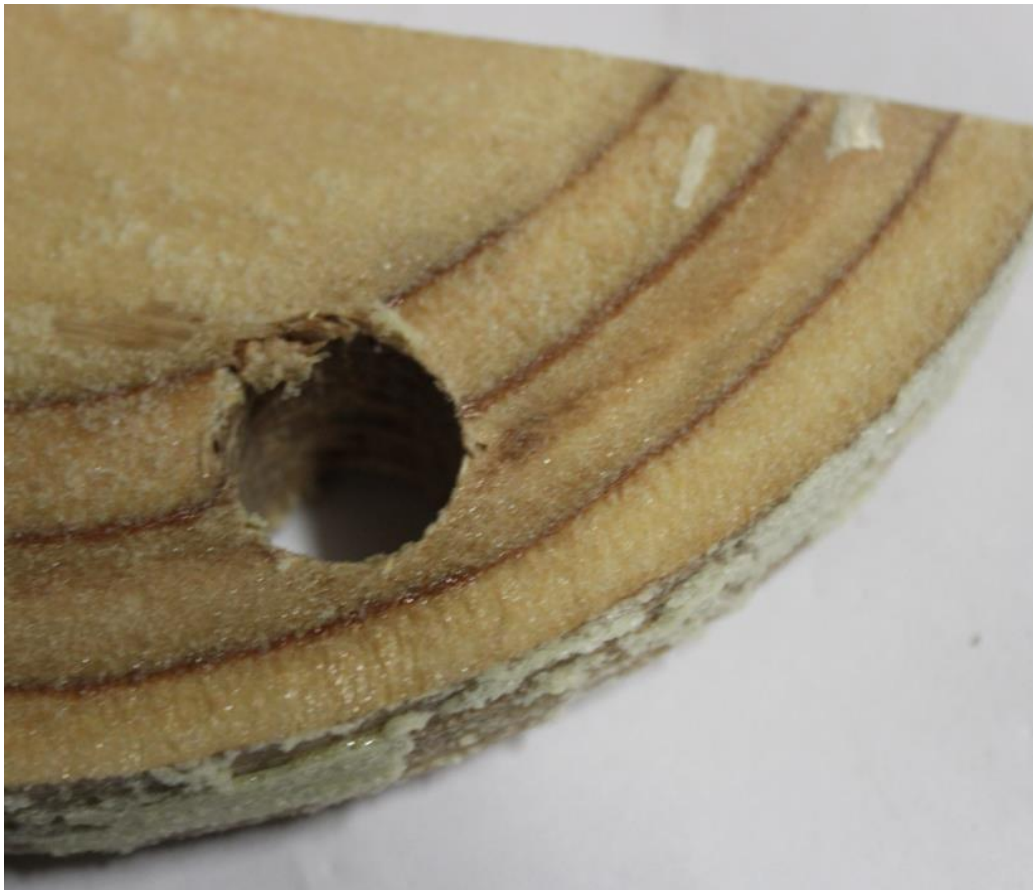
Tappien kunto	Suurta muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 81 Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 82. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painauma sekä pieni halkeama

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 83. Vanerin vaurio. Vanerissa on havaittavissa vaurio reiän kohdalla



Kuva 84. Testikappaleen poikkileikkaus. Tuella olleen kappaleen poikkileikkaus

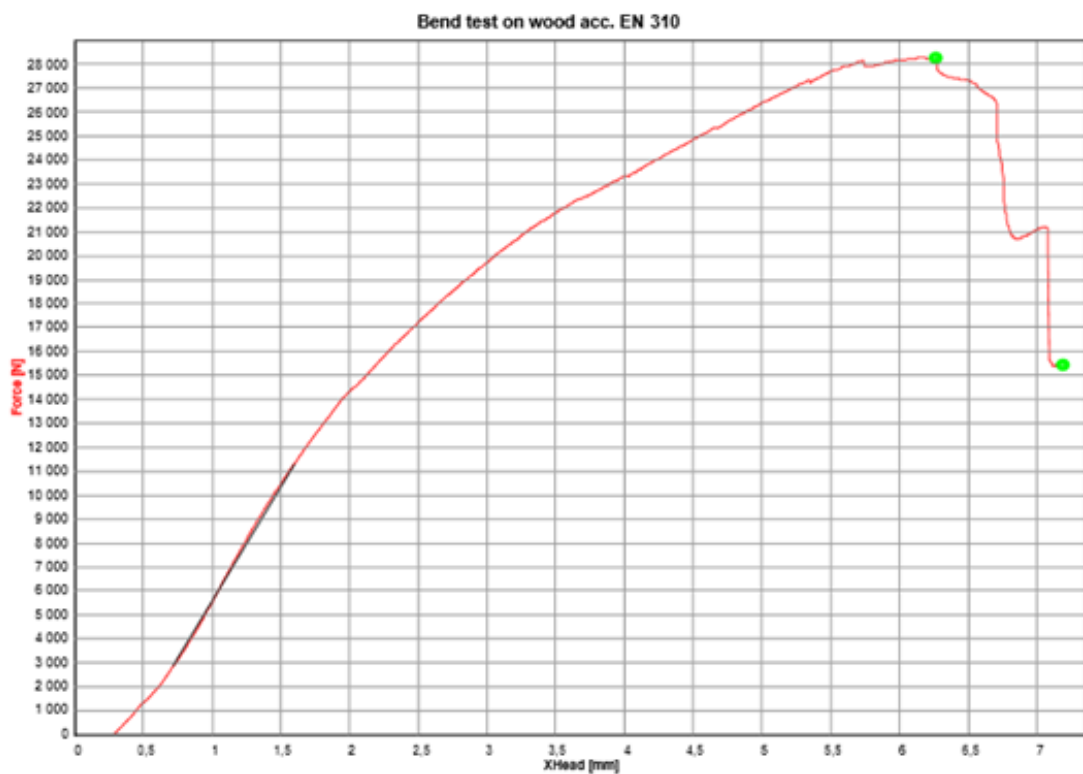
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:23

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
6	x	25.11.14	12:23			0.01	28259.70	0.01	15451.20	0.00

		dL _m mm	dL _b mm	
6		6.03	6.95	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:23

Statistics n = 6

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	22913.56	0.02	18497.62	0.00	11.06	12.41
Standard deviation	0.00	4693.11	0.01	2528.70	0.00	6.16	5.88
Variation coeff.	20.86	20.48	41.71	13.67	38.11	55.68	47.43

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

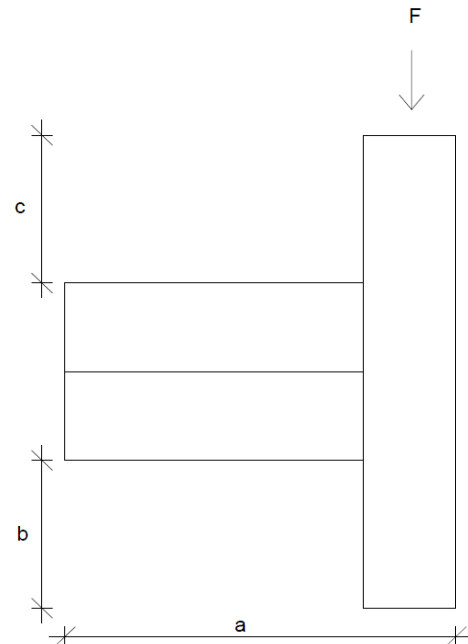
Koekappale

L3

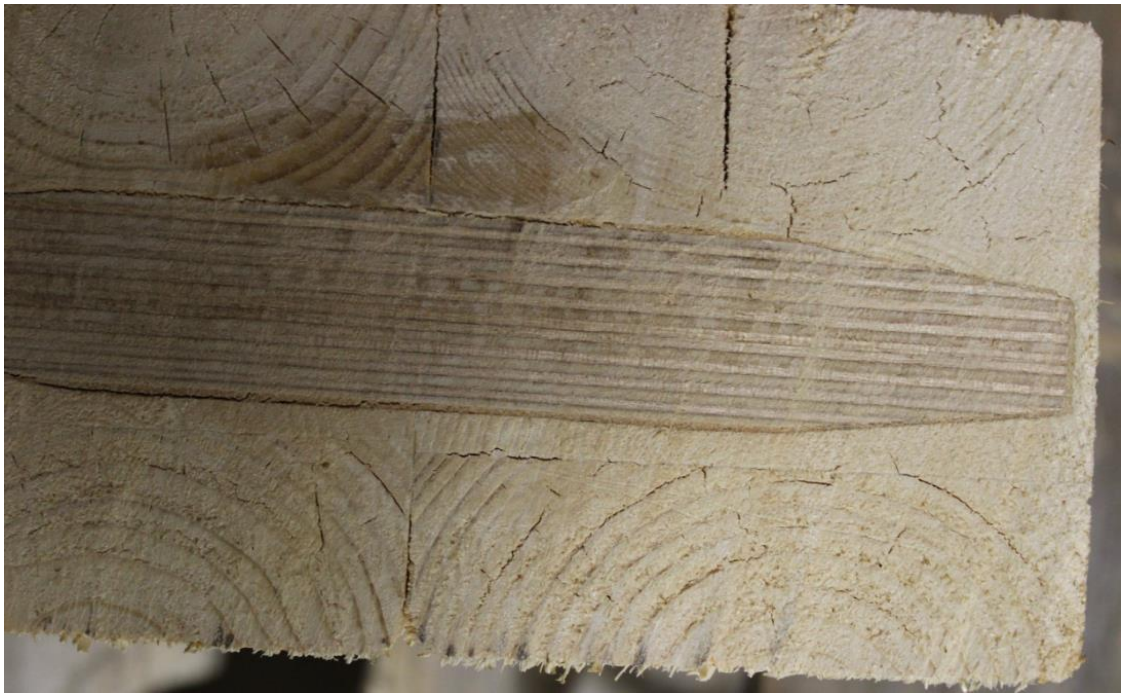
Maksimi voima	30,76	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	6,07	mm
Testin kesto	37,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,82	mm
Ilman lämpötila	21,4	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,79	mm
Koekappaleen kosteus	14,97	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	0,765	mm
	0,26	%
b-mitta	0,727	mm
	0,66	%
c-mitta	-0,733	mm
	-0,66	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta. Sisällä murtumia.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 85. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia. Ympyröity halkeama johtuu kosteusmittarin piikistä



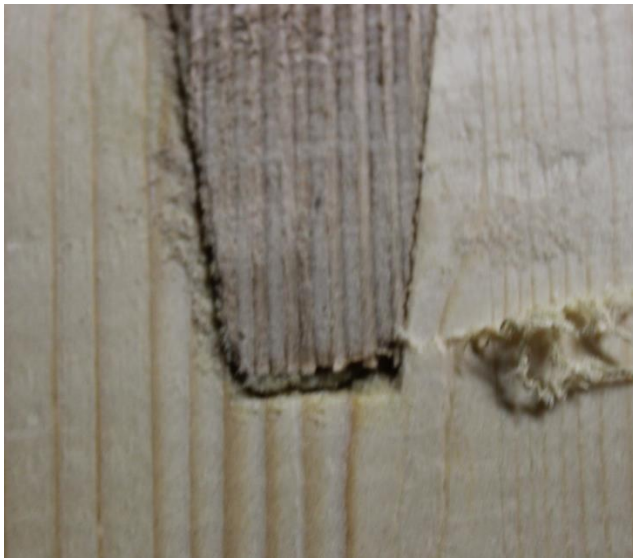
Kuva 86. Liimapuun muodonmuutos. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 87. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painauma



Kuva 88. Vaneripalan vaurio. Vaneripalaan on syntynyt vauriota reiän kohdalle

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 89. Liitoksen siirtyminen. Siirtymästä johtuen on vanerikappaleen ja liimapuun väliin syntynyt rako



Kuva 90. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

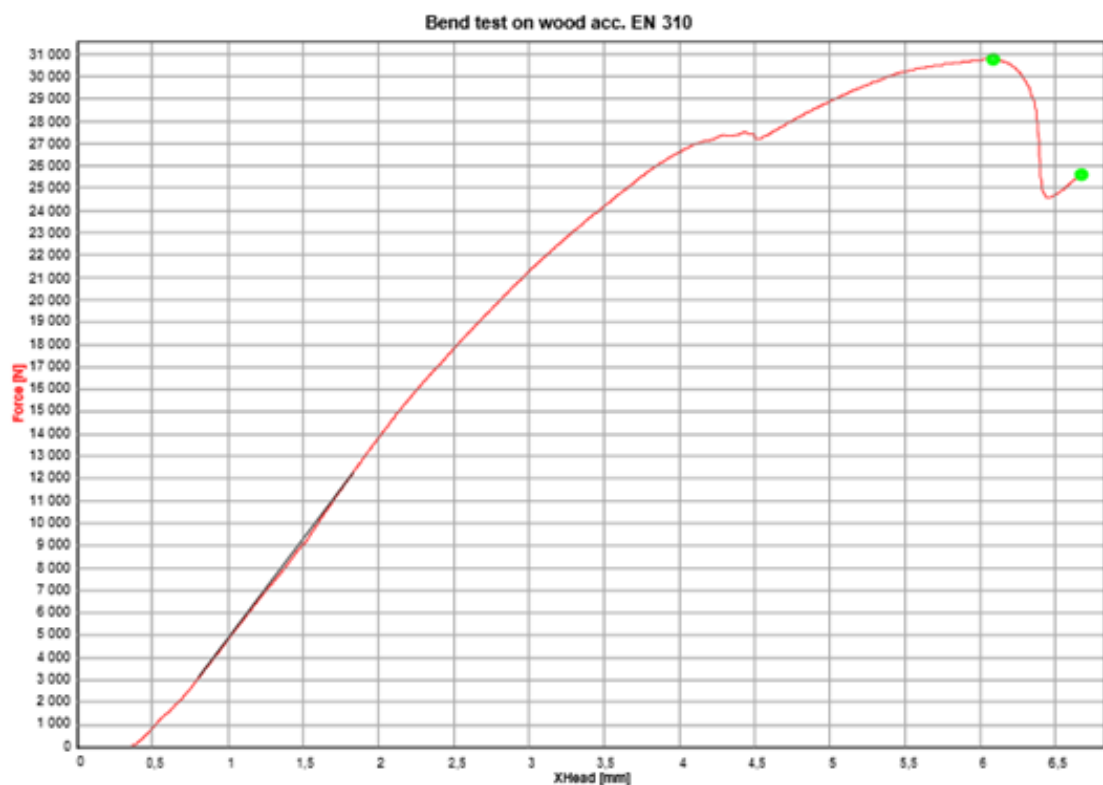
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:31

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
7	x	25.11.14	12:31			0.02	30758.90	0.01	25635.50	0.00

		dL _m mm	dL _b mm	
7		5.87	6.46	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:31

Statistics n = 7

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	24221.12	0.02	19687.27	0.00	10.20	11.42
Standard deviation	0.00	5280.01	0.01	3688.77	0.00	5.90	5.80
Variation coeff.	19.61	21.80	38.78	18.74	40.85	57.88	50.78

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

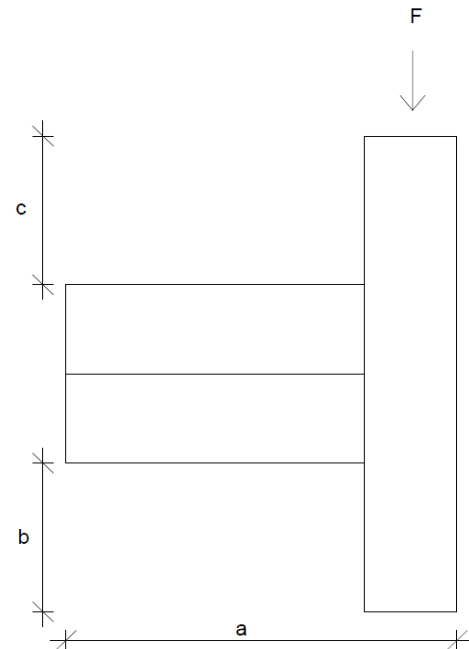
Koekappale

L4

Maksimi voima	28,6	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	5,50	mm
Testin kesto	38,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,36	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,62	mm
Koekappaleen kosteus	14,61	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	0,12	mm
	0,04	%
b-mitta	1,11	mm
	1	%
c-mitta	-1,07	mm
	-0,97	%



Tappien kunto	Hyvin pientä muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta sekä sisällä murtumia
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 91. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 92. Liimapuun murtuminen Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 93. Vaneripalan vaurio. Vaneriin on syntynyt reiän kohdalle vaurio



Kuva 94. Liimapuun poikkileikkaus. Liimapuu katkaistuna vanerin kohdalta

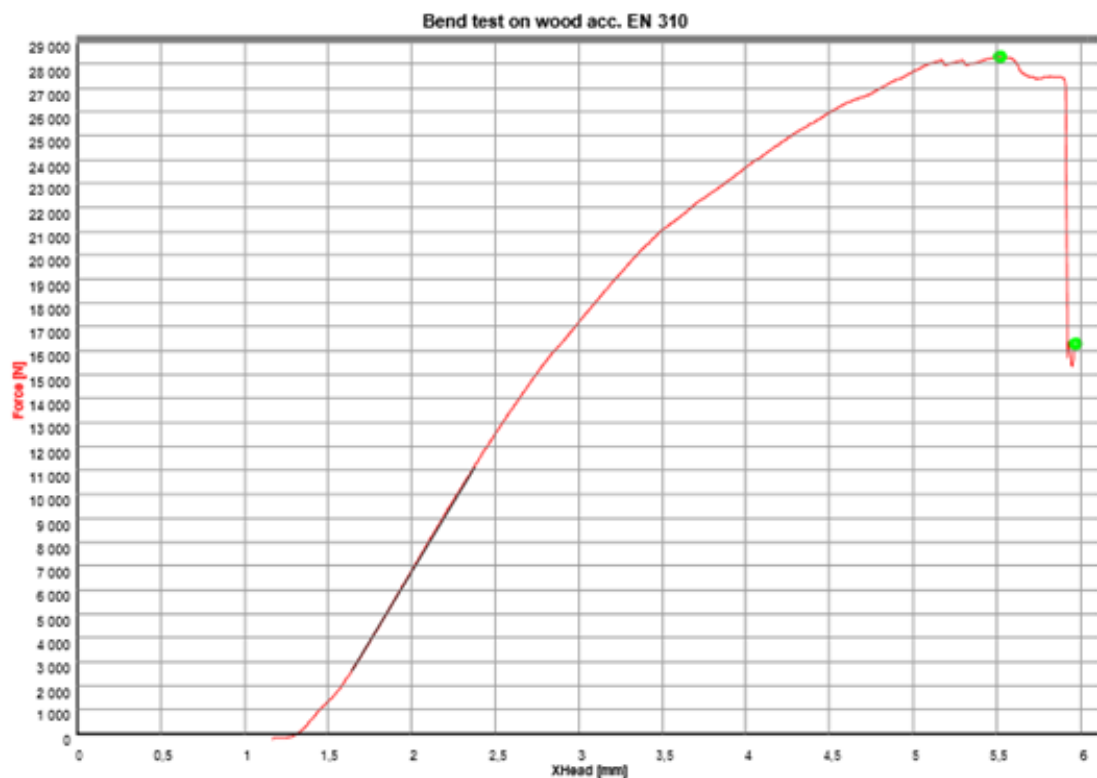
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T_L
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 12:36

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
 Length data: l1 = 1 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 20 N
 End of test criterions: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
8	x	25.11.14	12:36			0.01	28602.70	0.01	16606.60	0.00

		dL _m mm	dL _b mm	
8		4.51	4.97	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:36

Statistics n = 8

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	24847.06	0.01	19247.17	0.00	9.39	10.49
Standard deviation	0.00	5096.54	0.01	3563.00	0.00	5.80	5.83
Variation coeff.	19.35	20.51	41.63	18.51	38.91	61.81	55.52

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

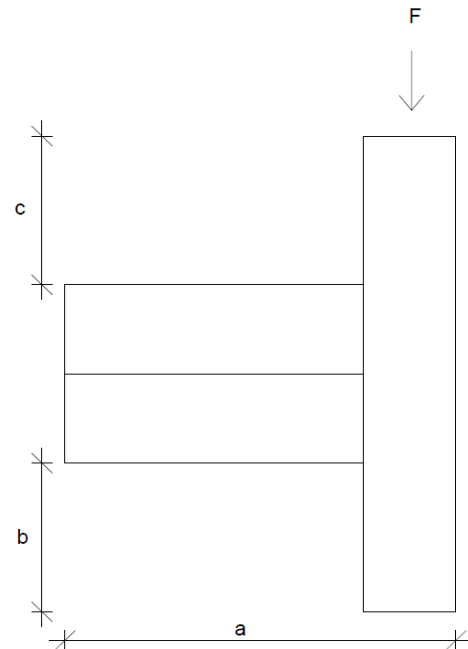
Koekappale

L5

Maksimi voima	26,2	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	5,85	mm
Testin kesto	35,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,32	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,41	mm
Koekappaleen kosteus	15,02	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	0,023	mm
	0,01	%
b-mitta	0,606	mm
	0,56	%
c-mitta	-0,14	mm
	-0,13	%



Tappien kunto	Ei vaurioita.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla vauriota, sisällä murtuma.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 95. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 96. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 97. Vanerikappaleen vaurio. Vanerissa on vaurio reiän kohdalla

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:42

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
9	x	25.11.14	12:42			0.01	26229.60	0.01	26229.60	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
9	5.85	5.85

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:42

Statistics n = 9

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	25019.88	0.01	20119.97	0.00	8.94	9.91
Standard deviation	0.00	4743.73	0.01	4120.16	0.00	5.51	5.64
Variation coeff.	19.95	18.96	38.82	20.48	40.28	61.66	56.88

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

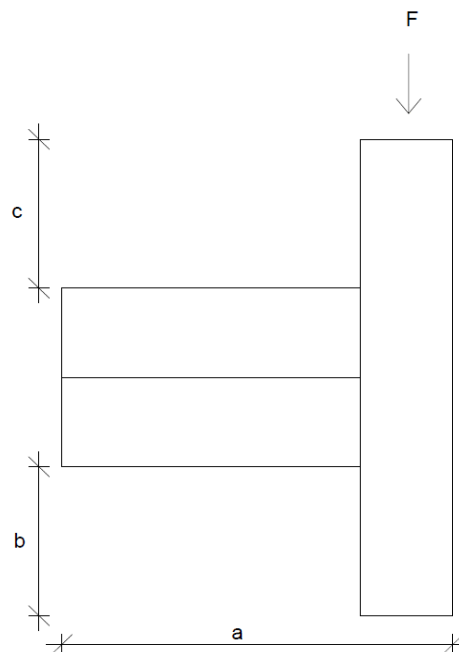
Koekappale

L6

Maksimi voima	36,3	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	7,74	mm
Testin kesto	45,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,55	mm
Ilman lämpötila	20,9	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,44	mm
Koekappaleen kosteus	14,4	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	3,97	mm
	1,37	%
b-mitta	9,25	mm
	8,45	%
c-mitta	-6,98	mm
	-6,27	%



Tappien kunto	Suuria muodonmuutoksia, yksi tappi murtunut.
Vanerin kunto	Pintaviilu revennyt.
Liimapuun kunto	Suuria muodonmuutoksia reiän kohdalla. Murtumia sisällä.
Muuta	Vanerin ja liimapuun väliin syntynyt iso rako.

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 98. Liimapuun vauriot. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle suurta muodonmuutosta sekä halkeama



Kuva 99. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt lohkeamaa osittain sen takia, että se on ollut vapaana tuelta

Leikkauslujuustestauksen raportti



Kuva 100. Liimapuun leikkautuminen



Kuva 101. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia sekä vaneri kappale on siirtynyt merkittävästi

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 102. Poratappien vauriot. Poratappeihin on syntynyt suuria muodonmuutoksia



Kuva 103. Poratapin vaurio. Poratappi on selvästi murtunut

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 104. Vanerikappaleen vaurio. Vanerin pintaviilu on repeytynyt

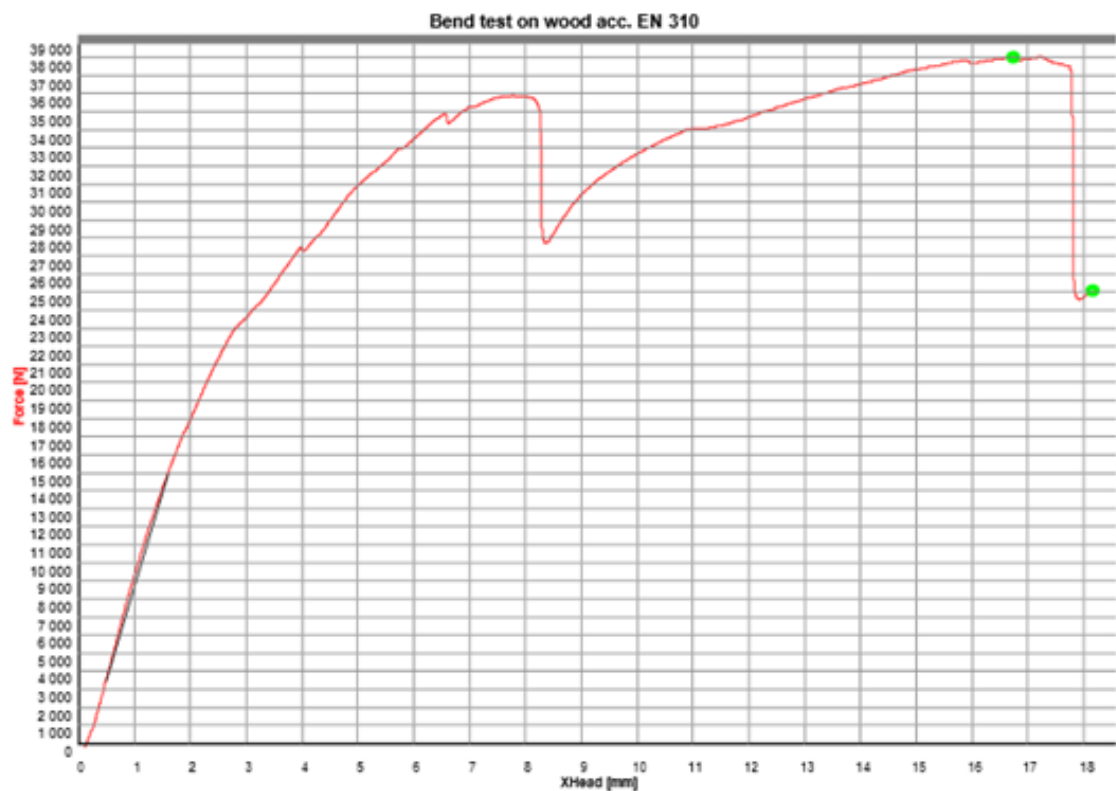
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:50

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criterions: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²
10	x	25.11.14	12:50			0.02	38483.40	0.01	25600.40	0.00

		dLm mm	dLb mm	
10		16.66	18.10	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:50

Statistics n = 10

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	26515.82	0.01	20728.91	0.00	9.80	10.82
Standard deviation	0.00	6311.16	0.01	4265.09	0.00	5.76	5.94
Variation coeff.	19.28	23.80	36.65	20.58	39.26	58.82	54.87

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

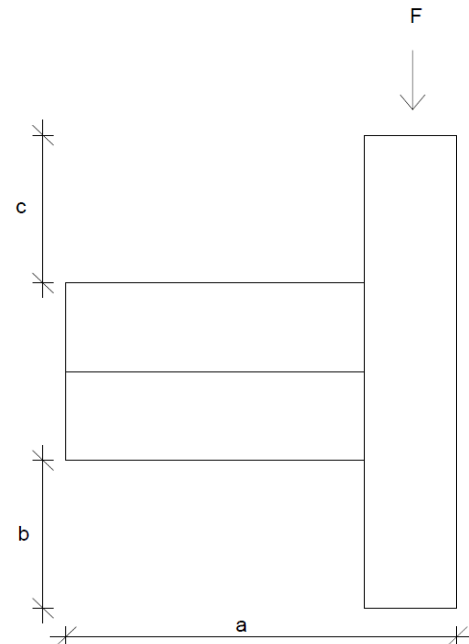
Koekappale

L7

Maksimi voima	29,34	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	5,83	mm
Testin kesto	38,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,32	mm
Ilman lämpötila	21,2	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,25	mm
Koekappaleen kosteus	14,46	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	1,16	mm
	0,4	%
b-mitta	3,15	mm
	2,83	%
c-mitta	-2,54	mm
	-2,33	%



Tappien kunto	Suuria muodonmuutoksia.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta. Sisällä murtumia.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 105. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 106. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 107. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 12:58

Statistics n = 11

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	26809.14	0.01	20933.59	0.00	9.68	10.65
Standard deviation	0.00	6022.08	0.00	4072.92	0.00	5.45	5.63
Variation coeff.	18.71	22.46	35.52	19.46	40.16	56.30	52.81

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

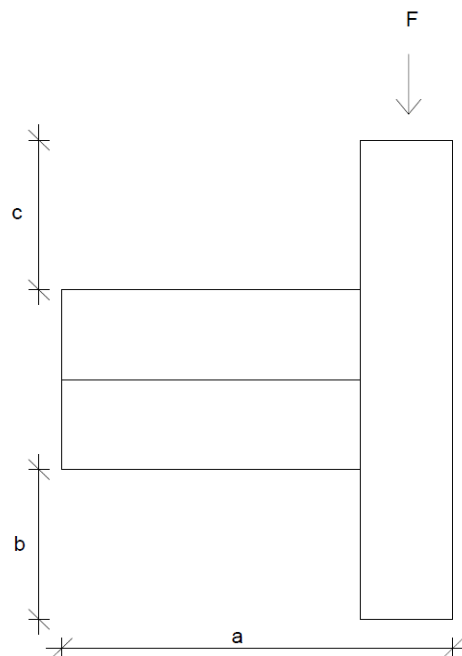
Koekappale

L8

Maksimi voima	29,7	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	6,03	mm
Testin kesto	40,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,26	mm
Ilman lämpötila	21,4	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,36	mm
Koekappaleen kosteus	14,99	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	1,2	mm
	0,42	%
b-mitta	2,91	mm
	2,62	%
c-mitta	-2,46	mm
	-2,25	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla vauriota
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta, sisällä murtumia.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 108. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia



Kuva 109. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 110. Vaneripalan siirtymä

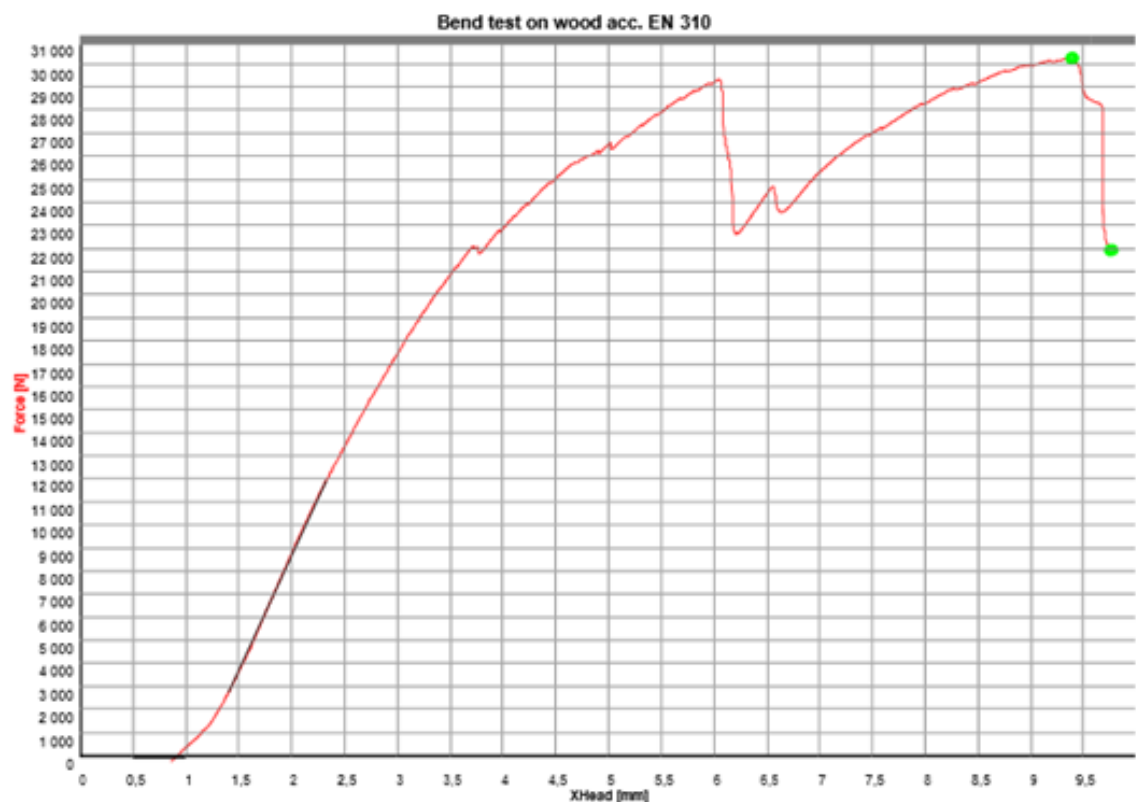
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T_L
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 13:03

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
 Length data: l1 = 1 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 20 N
 End of test criterions: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
12	x	25.11.14	13:03			0.02	30633.90	0.01	22291.20	0.00

		dL _m mm	dL _b mm
12		8.57	8.94

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 13:03

Statistics n = 12

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	27156.85	0.01	21057.01	0.00	9.58	10.50
Standard deviation	0.00	5828.28	0.00	3885.53	0.00	5.18	5.36
Variation coeff.	17.96	21.46	34.60	18.45	39.29	54.09	51.09

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

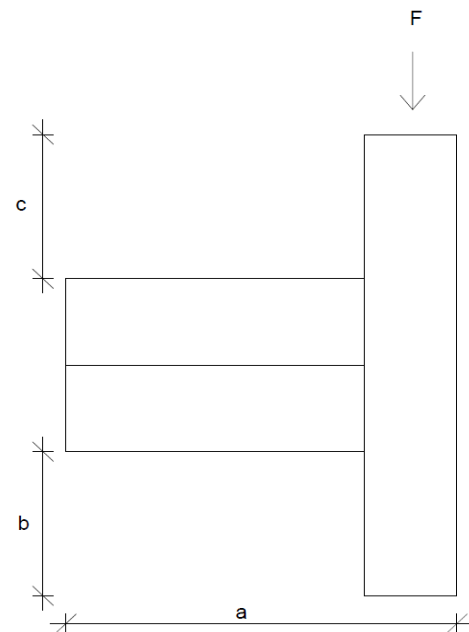
Koekappale

L9

Maksimi voima	33,21	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	5,99	mm
Testin kesto	37,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,75	mm
Ilman lämpötila	21,4	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,88	mm
Koekappaleen kosteus	14,68	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	0,21	mm
	0,07	%
b-mitta	0,85	mm
	0,77	%
c-mitta	-0,53	mm
	-0,49	%



Tappien kunto	Muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta, sisällä murtumia.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 111. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 112. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 113. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia



Kuva 114. Liimapuun vaurio. Liimapuu on lohjennut reunasta

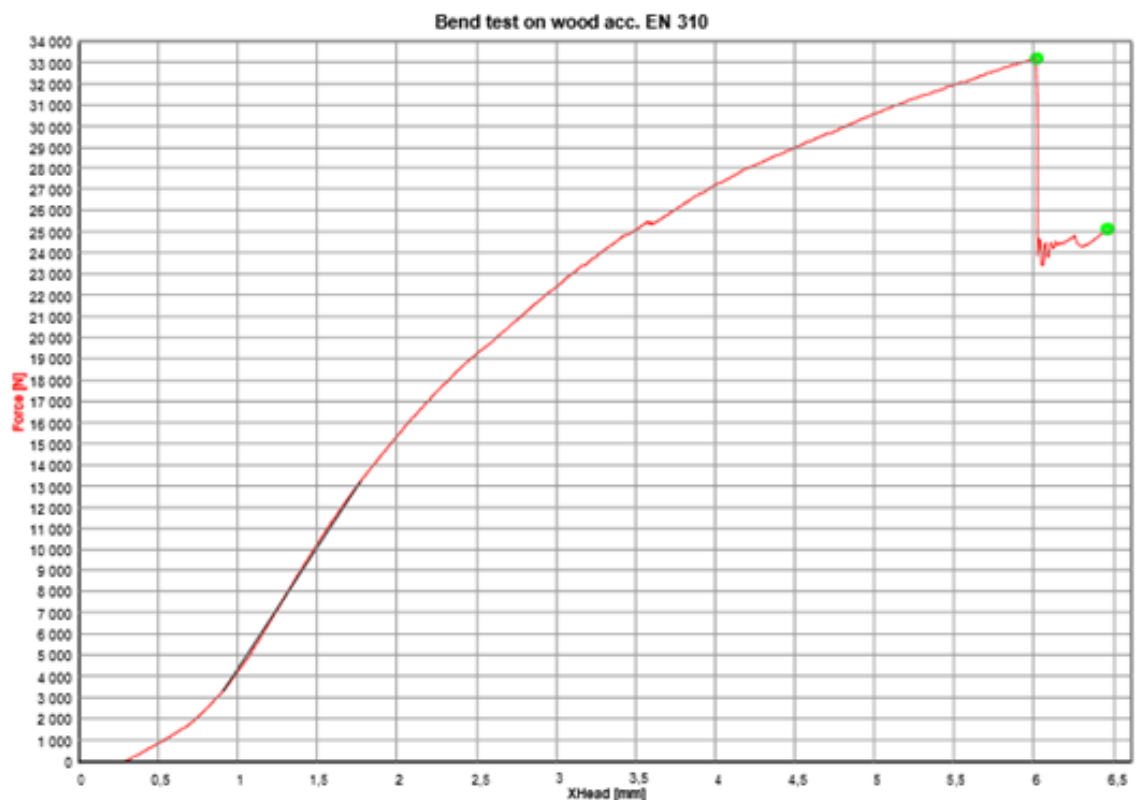
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 13:08

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²
13	x	25.11.14	13:08			0.02	33216.40	0.01	25175.10	0.00

		dLm mm	dLb mm
13		5.77	6.22

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 13:08

Statistics n = 13

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	27661.81	0.01	21400.18	0.00	9.26	10.14
Standard deviation	0.00	5825.86	0.00	3890.77	0.00	5.06	5.26
Variation coeff.	17.10	21.06	33.14	18.18	37.72	54.64	51.87

Leikkauslujuustestauksen raportti

LEIKKAUSTESTI

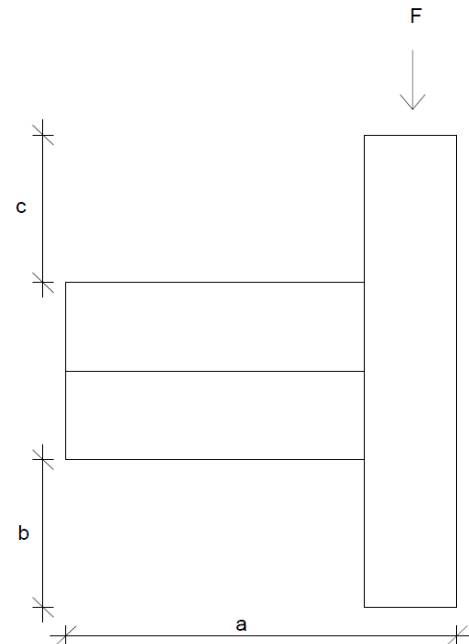
Koekappale

L10

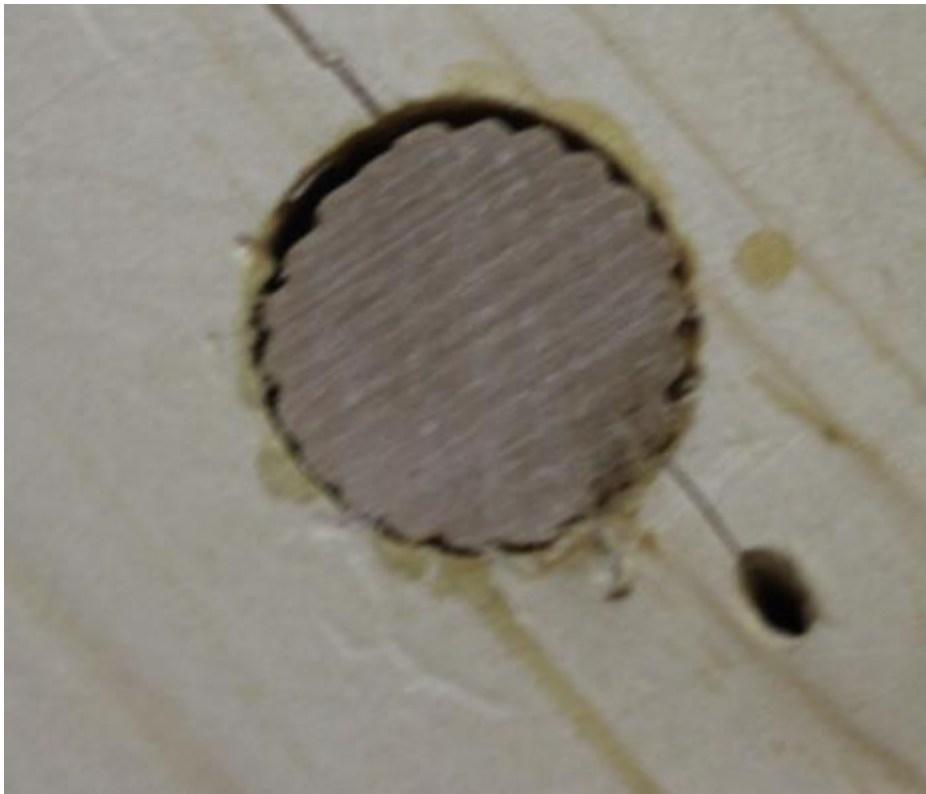
Maksimi voima	32,46	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	7,99	mm
Testin kesto	48,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,09	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,87	mm
Koekappaleen kosteus	14,66	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos

a-mitta	1,21	mm
	0,42	%
b-mitta	3,84	mm
	3,51	%
c-mitta	-3,5	mm
	-3,16	%



Tappien kunto	Suurta muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla vauriota.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta, sisällä murtumia.
Muuta	

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 115. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 116. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

Leikkauslujuustestauksen raportti

Kuva 117. Vanerikappaleen vaurio. Vaneriin on syntynyt vauriota reiän kohdalle



Kuva 118. Liimapuun murtuma

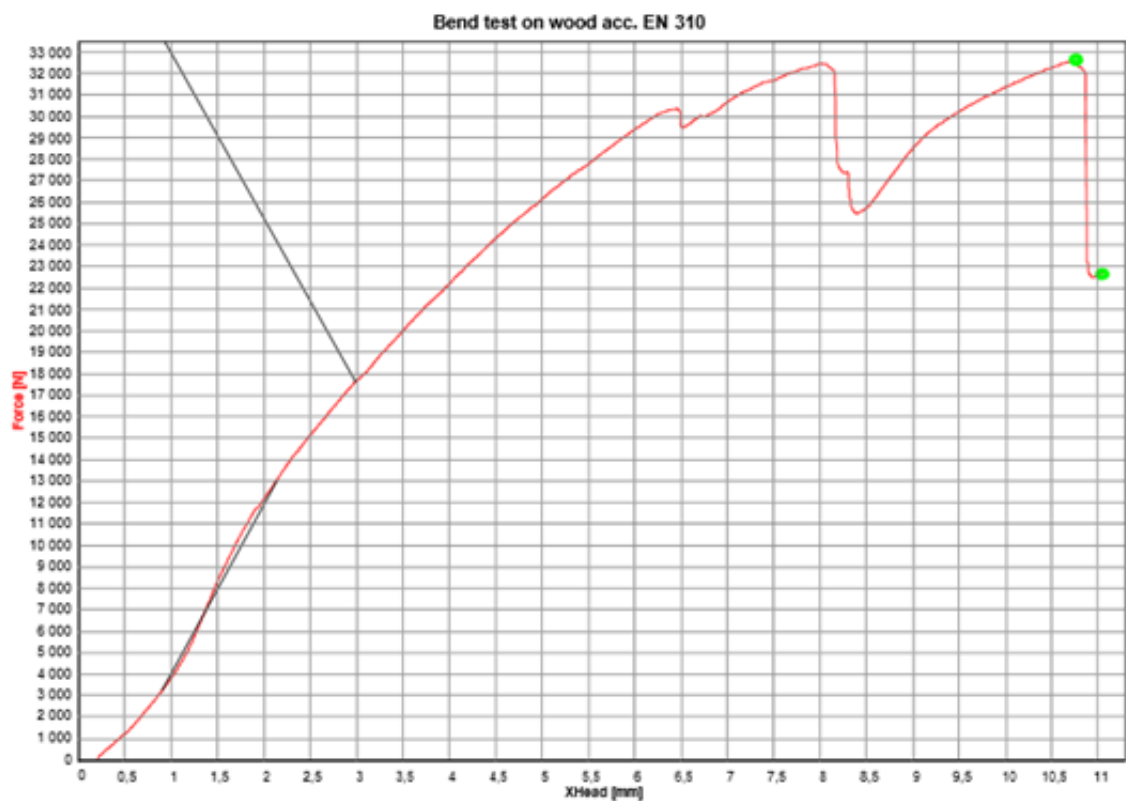
Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T_L
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 13:12

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: b = 90 mm; t = 180 mm; h = 1 mm; m = 1 g
 Length data: l1 = 1 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 20 N
 End of test criteria: XHead = 25 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
14	x	25.11.14	13:12			0.02	32648.60	0.01	22700.00	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
14	10.59	10.87

Leikkauslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T_L
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 13:12

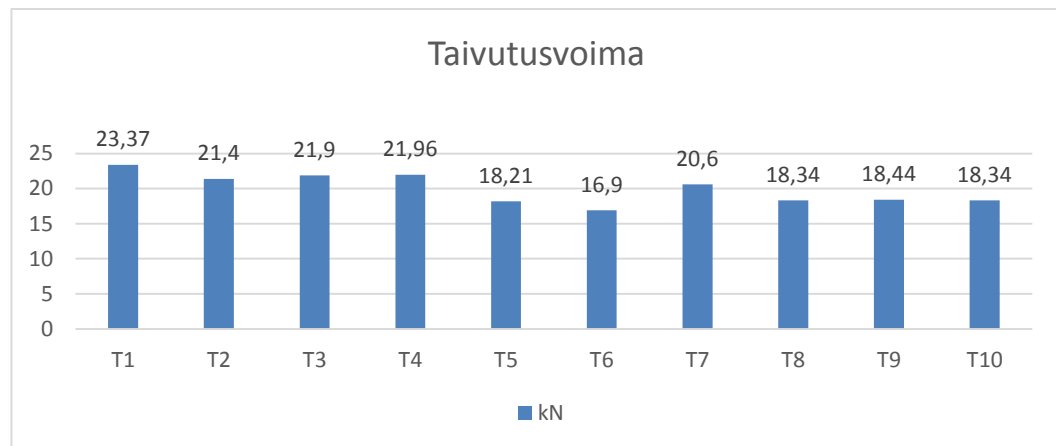
Statistics n = 14

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	28045.41	0.01	21500.17	0.00	9.36	10.20
Standard deviation	0.00	5746.75	0.00	3742.53	0.00	4.86	5.04
Variation coeff.	16.37	20.49	32.29	17.41	38.40	51.89	49.43

Taivutuslujuustestauksen raportti

1 Voimat

Taivutustestit suoritettiin rasittamalla koekappaletta 10 mm/s



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{T1+T2+\dots+T10}{n} = \frac{199,46 \text{ kN}}{10} = 19,946 \text{ kN}$$

Vaihteluväli:

16,9 – 23,37 kN

Välin pituus:

6,47 kN

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

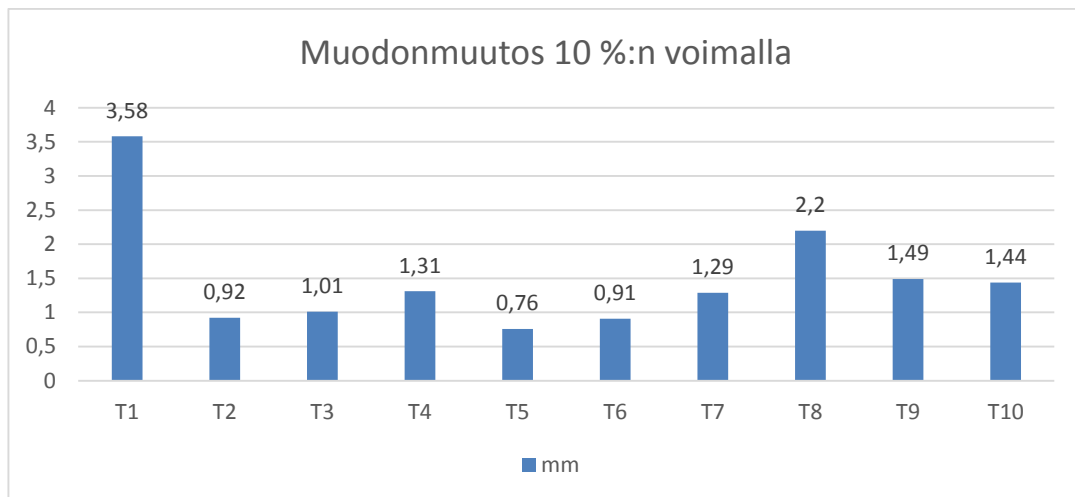
$$s = \sqrt{\frac{41,858 \text{ kN}}{10 - 1}}$$

$s = 2,16 \text{ kN}$

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
T1	19,946	23,37	11,723776
T2	19,946	21,4	2,114116
T3	19,946	21,9	3,818116
T4	19,946	21,96	4,056196
T5	19,946	18,21	3,013696
T6	19,946	16,9	9,278116
T7	19,946	20,6	0,427716
T8	19,946	18,34	2,579236
T9	19,946	18,44	2,268036
T10	19,946	18,34	2,579236
yhteensä			41,85824

2 Muodonmuutos 10 %:n voimalla

Taivutuslujuustestauksen raportti



Seuraavista laskuista on jätetty pois kappale T1, koska kappale pääsi liikkumaan tuella ja tällöin saatiin liian suuri taipuman arvo.

Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{T2+T3+\dots+T10}{n} = \frac{11,33 \text{ mm}}{9} = 1,259 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

0,76 – 2,2 mm

Välin pituus:

1,44 mm

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

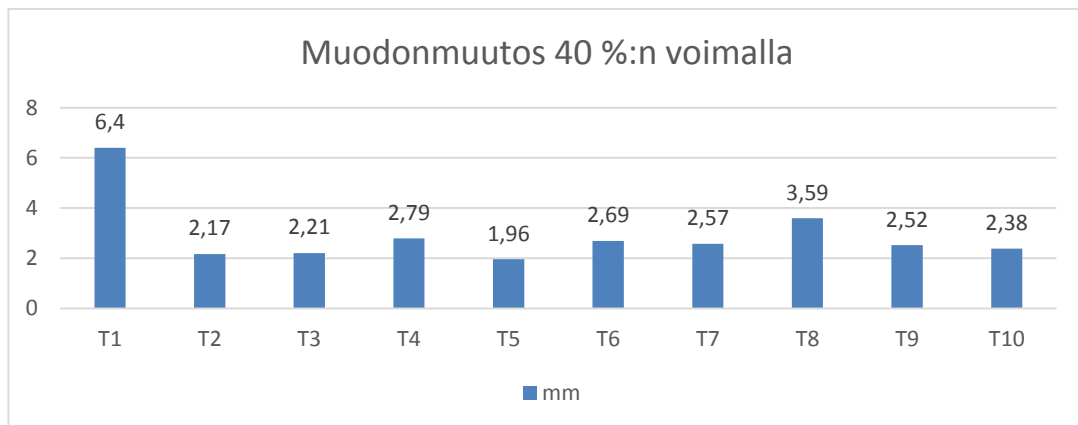
$$s = \sqrt{\frac{1,5229 \text{ mm}}{9 - 1}}$$

s = 0,44 mm

Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
T2	1,259	0,92	0,114921
T3	1,259	1,01	0,062001
T4	1,259	1,31	0,002601
T5	1,259	0,76	0,249001
T6	1,259	0,91	0,121801
T7	1,259	1,29	0,000961
T8	1,259	2,2	0,885481
T9	1,259	1,49	0,053361
T10	1,259	1,44	0,032761
yhteensä			1,522889

3 Muodonmuutos 40 %:n voimalla

Taivutuslujuustestauksen raportti



Seuraavista laskuista on jätetty pois kappale T1, koska kappale pääsi liikkumaan tuella ja tällöin saatiin liian suuri taipuman arvo.

Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{T2+T3+\dots+T10}{n} = \frac{22,88 \text{ mm}}{9} = 2,542 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

$$1,96 - 3,59 \text{ mm}$$

Välin pituus:

$$1,63 \text{ mm}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

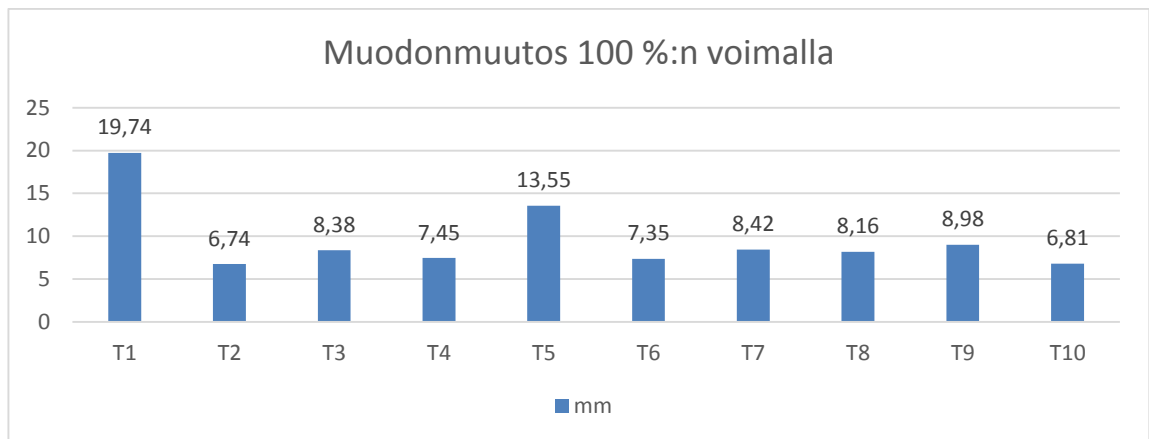
$$s = \sqrt{\frac{1,7966 \text{ mm}}{9 - 1}}$$

Kappale	x	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
T2	2,542	2,17	0,138384
T3	2,542	2,21	0,110224
T4	2,542	2,79	0,061504
T5	2,542	1,96	0,338724
T6	2,542	2,69	0,021904
T7	2,542	2,57	0,000784
T8	2,542	3,59	1,098304
T9	2,542	2,52	0,000484
T10	2,542	2,38	0,026244
yhteensä			1,796556

$$s = 0,47 \text{ mm}$$

4 Muodonmuutos 100 %:n voimalla

Taivutuslujuustestauksen raportti



Seuraavista laskuista on jätetty pois kappaleet T1 sekä T5, koska kappale pääsi liikkumaan tuella ja tällöin saatiin liian suuri taipuman arvo.

Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{T2+T3+T4+T6...+T10}{n} = \frac{62,29 \text{ mm}}{8} = 7,789 \text{ mm}$$

Vaihteluväli:

$$6,74 - 8,98 \text{ mm}$$

Välin pituus:

$$2,24 \text{ mm}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{4,67 \text{ mm}}{8 - 1}}$$

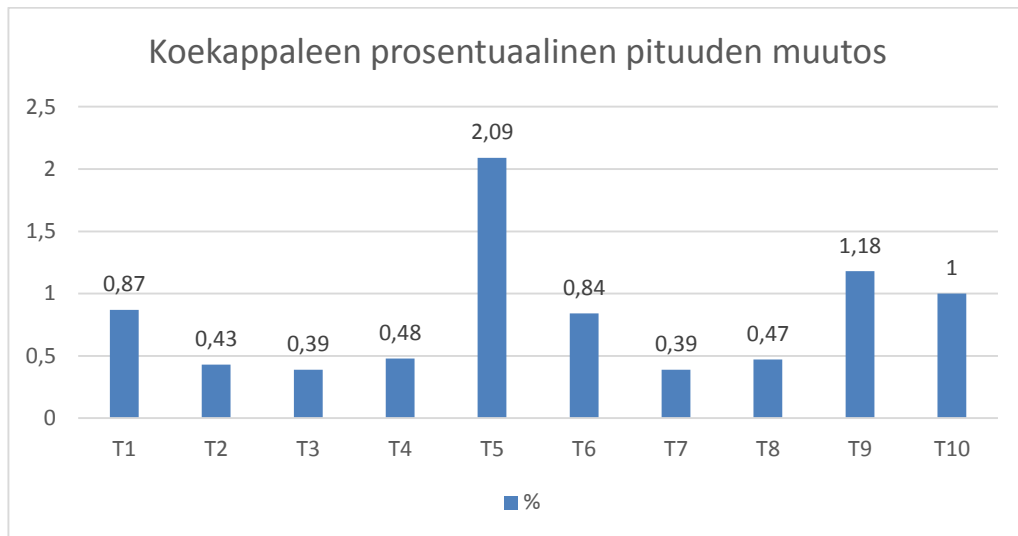
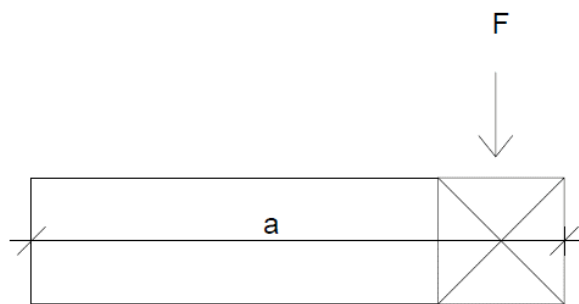
Kappale	\bar{x}	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
T2	7,789	6,74	1,100401
T3	7,789	8,38	0,349281
T4	7,789	7,45	0,114921
T6	7,789	7,35	0,192721
T7	7,789	8,42	0,398161
T8	7,789	8,16	0,137641
T9	7,789	8,98	1,418481
T10	7,789	6,81	0,958441
yhteensä			4,670048

$$s = 0,82 \text{ mm}$$

5 Koekappaleen pituuden muutos

Koekappale mitattiin juuri ennen testiä kuudesta eri kohdasta ja samoista kohdista välittömästi testin jälkeen ja näistä laskettiin keskiarvo.

Taivutuslujuustestauksen raportti



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{T1+T2+\dots+T10}{n} = \frac{8,14 \%}{10} = 0,814 \%$$

Vaihteluväli:

$$0,39 - 2,09 \%$$

Välin pituus:

$$1,7 \%$$

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
T1	0,814	0,87	0,003136
T2	0,814	0,43	0,147456
T3	0,814	0,39	0,179776
T4	0,814	0,48	0,111556

Taivutuslujuustestauksen raportti

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{2,5374}{10 - 1}}$$

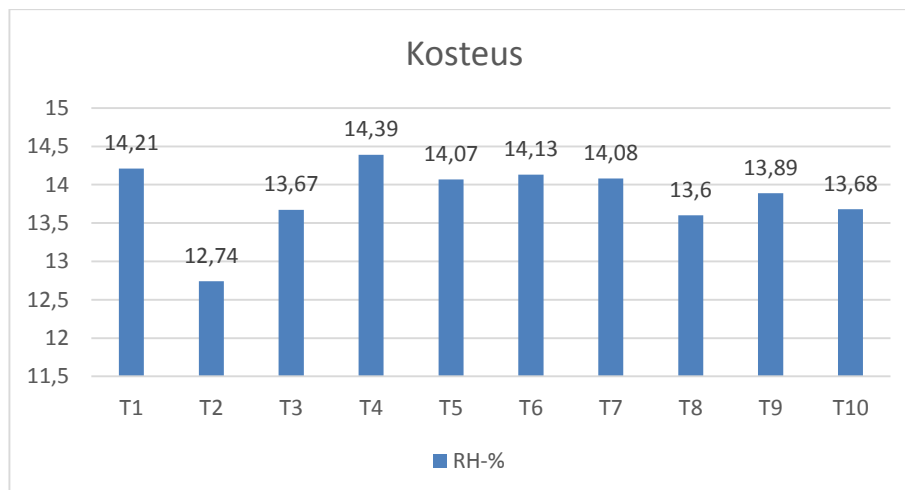
T5	0,814	2,09	1,628176
T6	0,814	0,84	0,000676
T7	0,814	0,39	0,179776
T8	0,814	0,47	0,118336
T9	0,814	1,18	0,133956
T10	0,814	1	0,034596
yhteensä			2,53744

s = 0,53 %

Taivutuslujuustestauksen raportti

6 Koekappaleen kosteudet

Kosteus mitattiin heti testin jälkeen yhdeksästä eri kohdasta koekappaletta ja näistä laskettiin keskiarvo.



Keskiarvo:

$$\bar{x} = \frac{T1+T2+\dots+T10}{n} = \frac{138,46 \text{ RH-\%}}{10} = 13,846 \text{ RH-\%}$$

Vaihteluväli:

$$12,74 - 14,39 \text{ RH-\%}$$

Välin pituus:

$$1,65 \text{ RH-\%}$$

Keskihajonta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{1,9582 \text{ RH-\%}}{10 - 1}}$$

Kappale	x	x _i	(x _i -x) ²
T1	13,846	14,21	0,132496
T2	13,846	12,74	1,223236
T3	13,846	13,67	0,030976
T4	13,846	14,39	0,295936
T5	13,846	14,07	0,050176
T6	13,846	14,13	0,080656
T7	13,846	14,08	0,054756
T8	13,846	13,6	0,060516
T9	13,846	13,89	0,001936
T10	13,846	13,68	0,027556
yhteensä			1,95824

$$s = 0,47 \text{ RH-\%}$$

7 Keskiarvot ja hajonta

Voima	19,946 kN
-------	-----------

Taivutuslujuustestauksen raportti

Hajonta	2,16 kN
Muodonmuutos 10 %:n voimalla	1,259 mm
Hajonta	0,44 mm
Muodonmuutos 40 %:n voimalla	2,542 mm
Hajonta	0,47 mm
Muodonmuutos 100 %:n voimalla	7,789 mm
Hajonta	0,82 mm
Pituuden muutos	0,814 %
Hajonta	0,53 %
Koekappaleen kosteus	13,846 RH-%
Hajonta	0,47 RH-%

Taivutuslujuustestauksen raportti

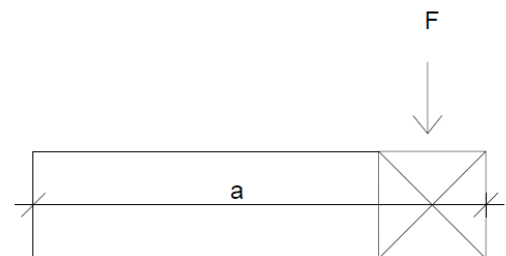
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T1

Maksimi voima	23,37	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	19,74	mm
Testin kesto	131,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	6,4	mm
Ilman lämpötila	21,5	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	3,58	mm
Koekappaleen kosteus	14,21	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	2,52	mm
	0,87	%



Tappien kunto	Muodonmuutoksia , mutta ei murtumaa.
Vanerin kunto	Pieniä vaurioita reikien kohdalla.
Liimapuun kunto	Muodonmuutoksia reikien kohdalla. Kappaleeseen johon voima kohdistunut on sisäisiä murtumia.
Muuta	Testikappale nousi muutaman millin tuetulta kohdalta.

Taivutuslujuustestauksen raportti

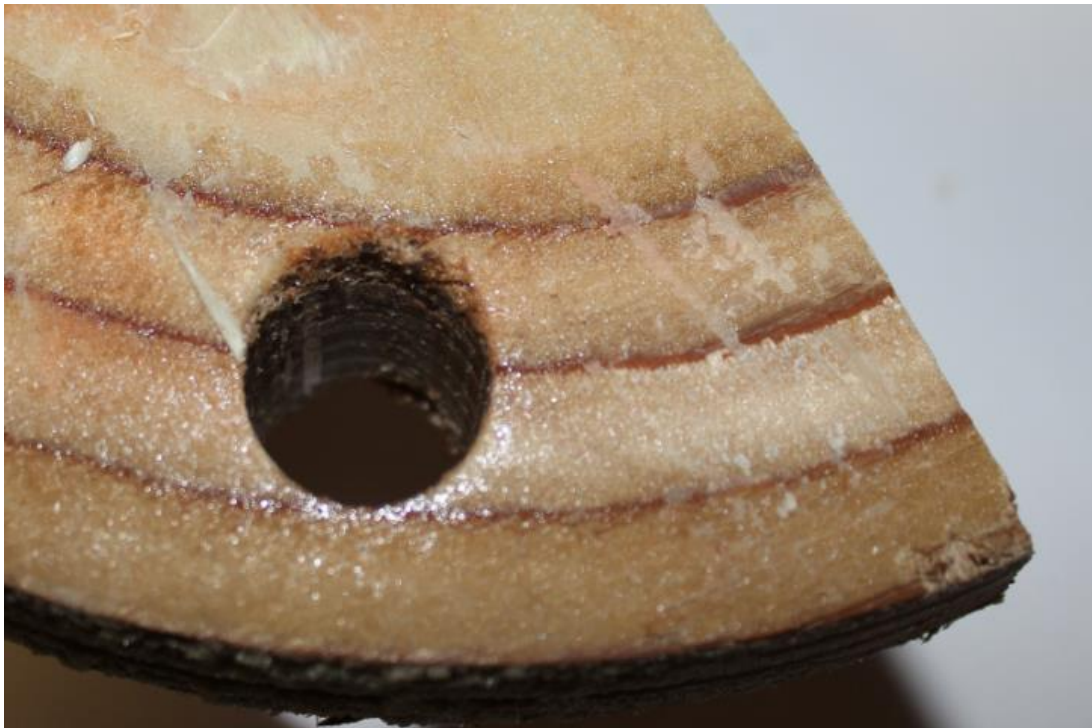
Kuva 119. Liitoksen siirtymä. Liimapuukappaleet ovat siirtyneet toisiinsa nähden



Kuva 120. Liitoksen siirtymä. Liimapuukappaleet ovat siirtyneet toisiinsa nähden

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 121. Liimapuun murtuminen Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia



Kuva 122. Vanerikappaleen vaurio. Vaneriin on syntynyt vauriota reiän kohdalle

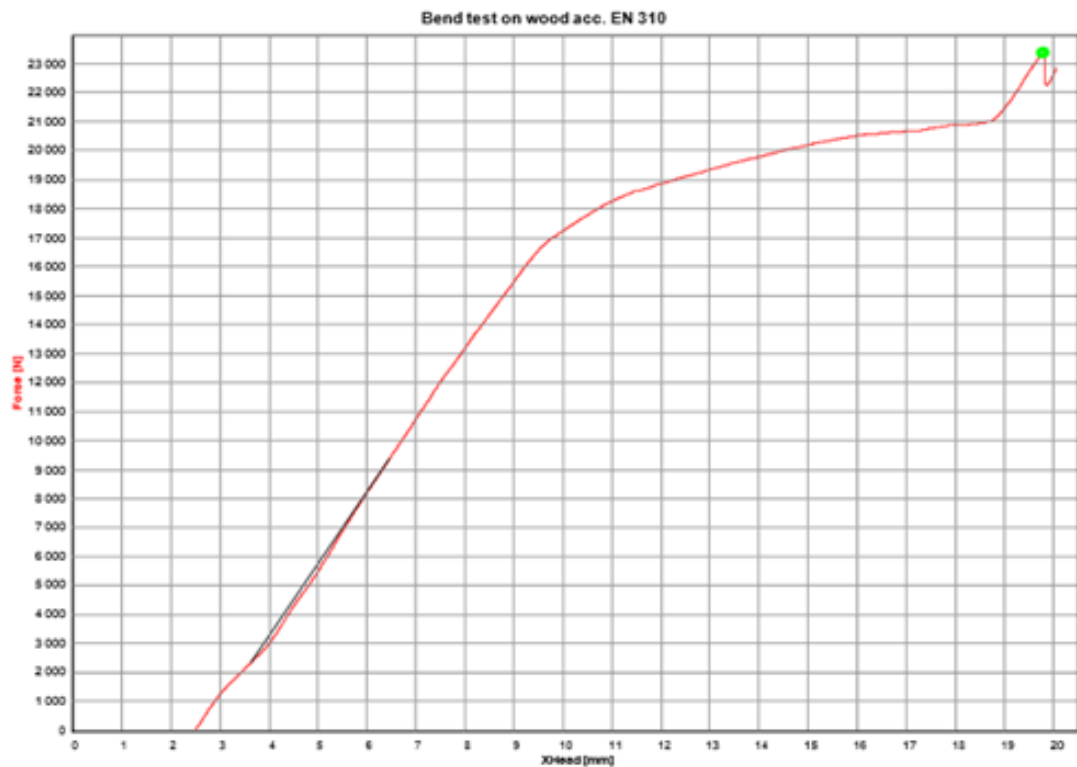
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:20

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switch points: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 20 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
3	x	25.11.14	08:20			0.02	23380.60	0.00	0.00	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
3	17.53	0.00

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:20

Statistics n = 3

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	15315.93	0.00	1007.40	0.00	9.25	0.58
Standard deviation	0.01	12424.95	0.00	0.00	0.00	8.48	0.00
Variation coeff.	81.12	81.12	0.00	0.00	24.17	91.73	0.00

Taivutuslujuustestauksen raportti

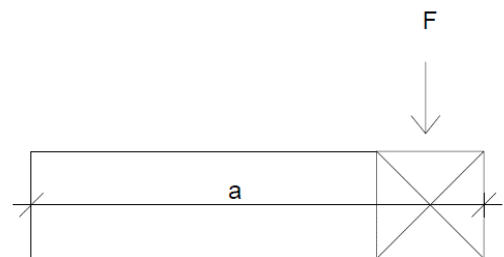
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T2

Maksimi voima	21,4	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	6,74	mm
Testin kesto	41,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,17	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,92	mm
Koekappaleen kosteus	12,74	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,25	mm
	0,43	%



Tappien kunto	Suuria muodonmuutoksia, mutta ei murtumaa
Vanerin kunto	Pieniä vaurioita reikien kohdalla.
Liimapuun kunto	Muodonmuutoksia reikien kohdalla. Kappaleeseen johon voima kohdistunut on sisäisiä murtumia.
Muuta	Saavutettuaan maksivoiman, voima tippui vain vajaan 1 kN:n, jonka jälkeen kappale otti vastaan lähes saman voiman kuin ennen ensimmäistä murtumista. Tämän jälkeen voima tippui noin 3,5 kN.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 123. Liimapuun vauriot. Liimapuuhun on syntynyt muodonmuutoksia reikien kohdalle



Kuva 124. Kappaleiden siirtymä

Taivutuslujuustestauksen raportti



Kuva 125. Poratapin vauriot. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa



Kuva 126. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 127. Vanerikappaleen vaurio. Vaneriin on syntynyt pieni vaurio reiän kohdalle

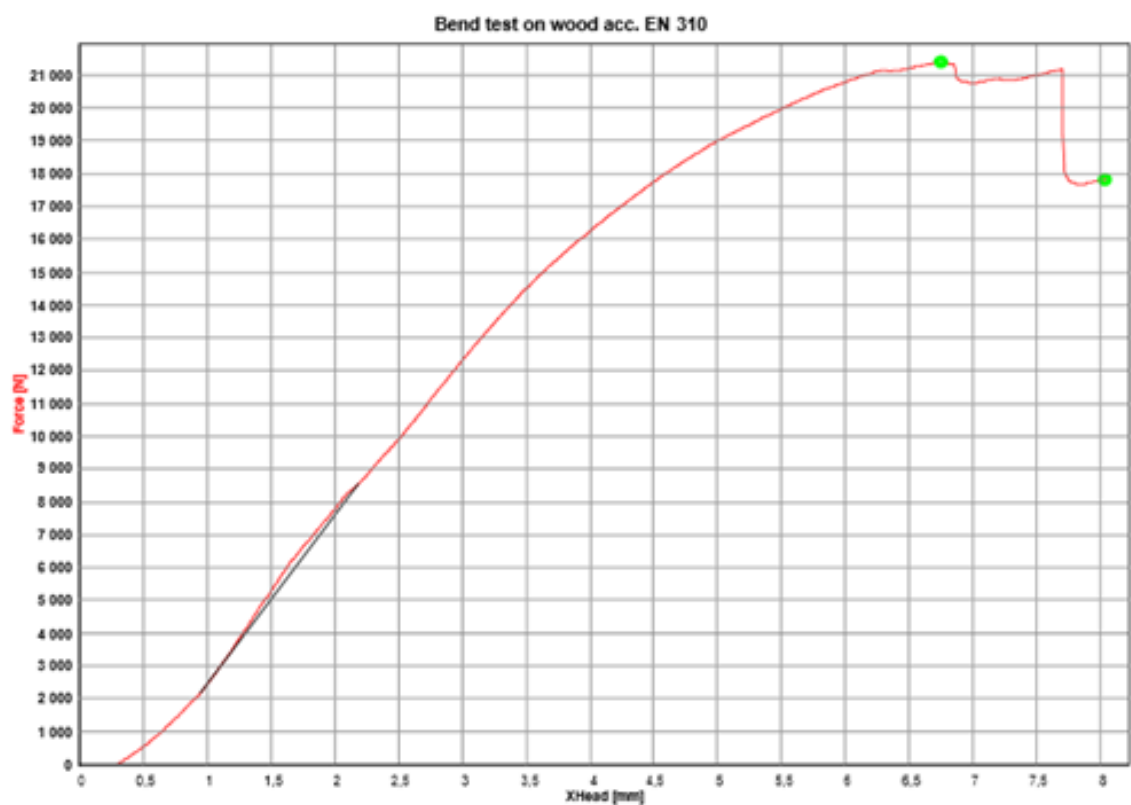
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:32

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switch points: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
4	x	25.11.14	08:32			0.02	21409.70	0.02	17819.80	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
4	6.55	7.83

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
 Material: tuki_T
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 08:32

Statistics n = 4

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	16839.38	0.01	9413.60	0.00	8.57	4.20
Standard deviation	0.01	10592.60	0.01	11888.16	0.00	7.06	5.13
Variation coeff.	62.90	62.90	126.29	126.29	31.53	82.32	122.03

Taivutuslujuustestauksen raportti

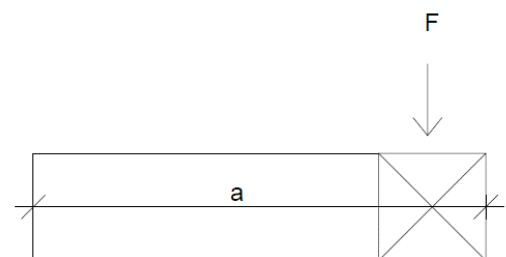
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T3

Maksimi voima	21,9	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	8,38	mm
Testin kesto	52,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,21	mm
Ilman lämpötila	21,3	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,01	mm
Koekappaleen kosteus	13,67	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,14	mm
	0,39	%



Tappien kunto	Ei merkittävää muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Vaneri oli kunnossa.
Liimapuun kunto	Liimapuuhun oli tullut halkeama oksan kohdalle. Tappien kohdalla oli muodonmuutosta. Sisällä murtumia.
Muuta	Vaneri ja liimapuun väliin syntynyt rakoa tuella olleessa kappaleessa.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 128. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt oksan lähelle halkeama



Kuva 129. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 130 Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia



Kuva 131. Liimaliitoksen murtuminen. Liimapuun ja vanerikappaleen välinen liimaliitos on murtunut

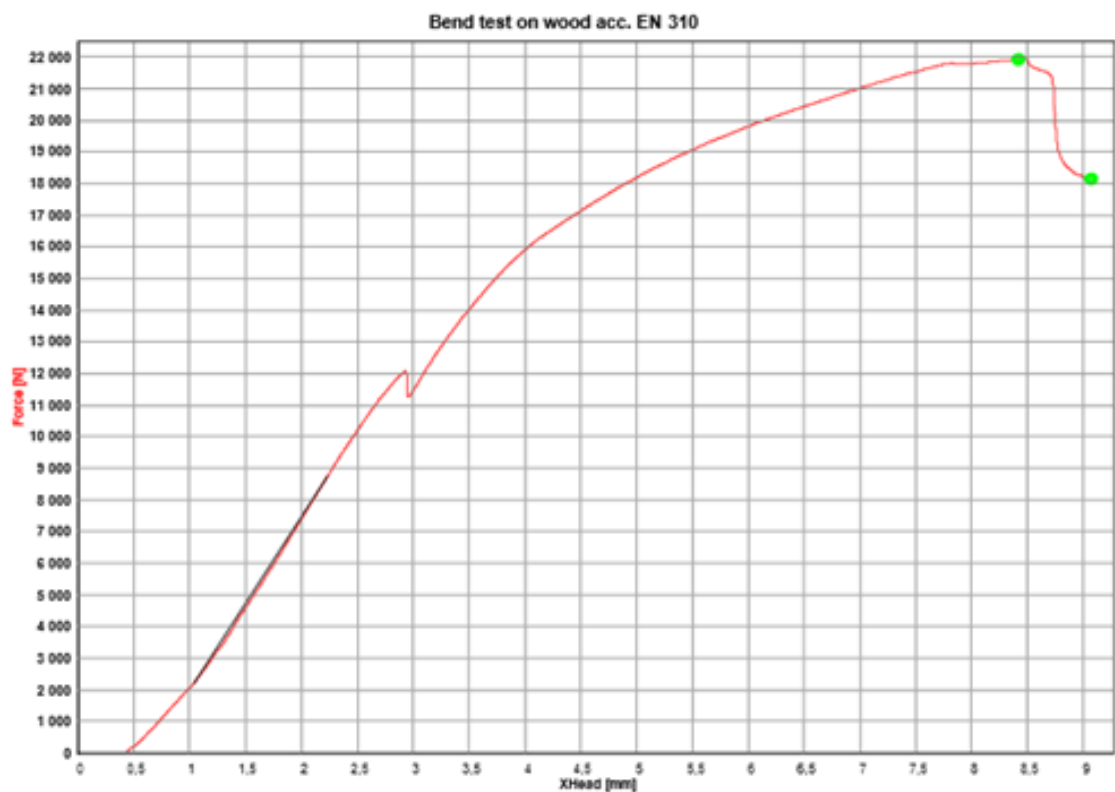
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:45

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criterions: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
5	x	25.11.14	08:45			0.02	21928.20	0.02	18141.10	0.00

		dL _m mm	dL _b mm
5		8.01	8.67

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:45

Statistics n = 5

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	17857.14	0.01	12322.77	0.00	8.46	5.69
Standard deviation	0.01	9451.54	0.01	9800.71	0.00	6.12	4.45
Variation coeff.	52.93	52.93	79.53	79.53	31.86	72.30	78.18

Taivutuslujuustestauksen raportti

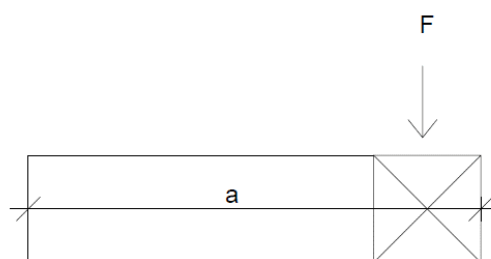
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T4

Maksimi voima	21,96	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	7,45	mm
Testin kesto	48,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,79	mm
Ilman lämpötila	21,1	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,31	mm
Koekappaleen kosteus	14,39	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,4	mm
	0,48	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta, mutta ei murtumaa.
Vanerin kunto	Pientä vauriota pintaviilussa reiän kohdalla.
Liimapuun kunto	Pieni halkeama lähellä oksaa tuetulla kappaleella. Reikien kohdalla suuria muodonmuutoksia. Sisällä murtumia.
Muuta	

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 132. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt halkeama lähelle oksaa



Kuva 133. Liimapuun halkeama

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 134. Liimapuun vauriot. Liimapuuhun on syntynyt reikien kohdalle muodonmuutosta



Kuva 135. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 136. Vaneripalan vaurio. Vaneriin on syntynyt pieni vaurio reiän kohdalle



Kuva 137. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

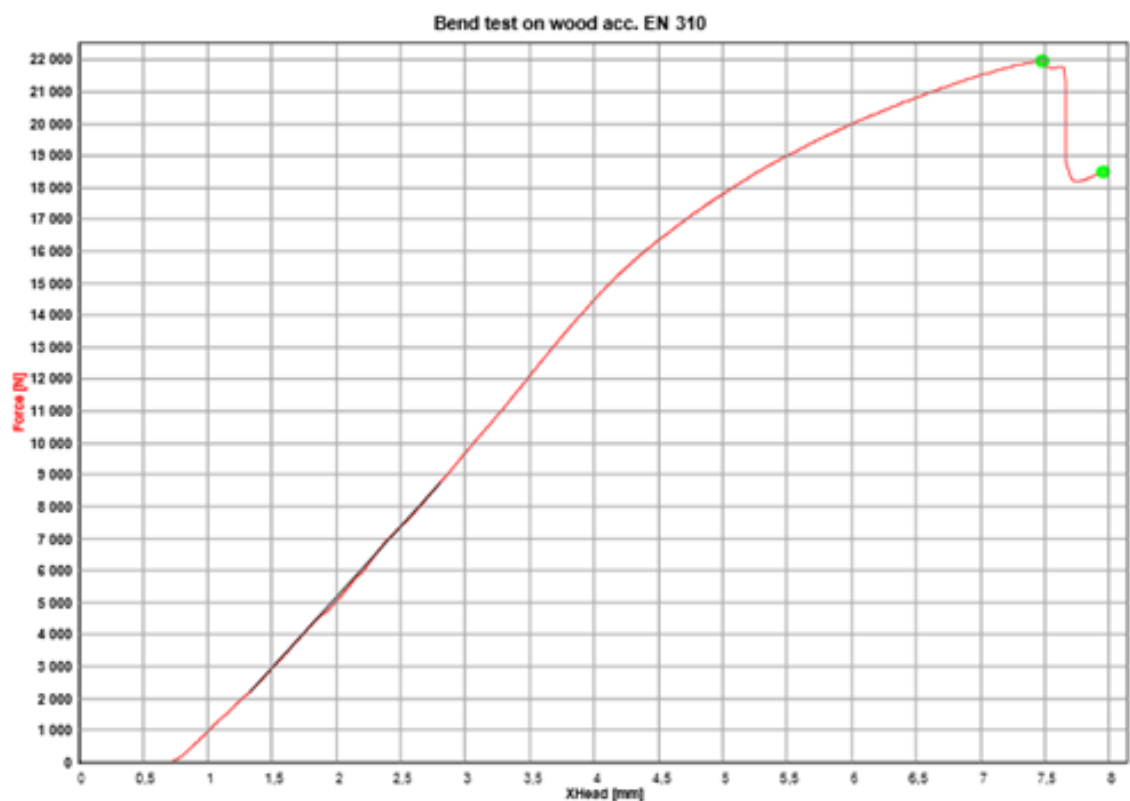
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:51

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switch points: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
6	x	25.11.14	08:51			0.02	21968.80	0.02	18482.00	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
6	6.83	7.31

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 08:51

Statistics n = 6

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	18542.42	0.01	13862.58	0.00	8.19	6.09
Standard deviation	0.01	8618.75	0.01	8574.38	0.00	5.51	3.72
Variation coeff.	46.48	46.48	61.85	61.85	28.31	67.30	61.06

Taivutuslujuustestauksen raportti

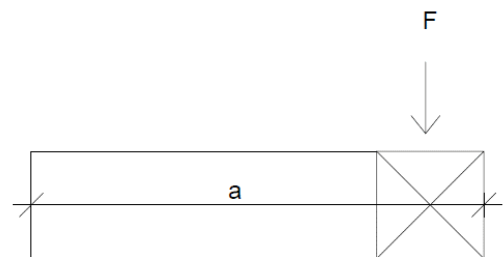
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T5

Maksimi voima	18,21	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	13,55	mm
Testin kesto	82,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	1,96	mm
Ilman lämpötila	21,2	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,76	mm
Koekappaleen kosteus	14,07	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	6,05	mm
	2,09	%



Tappien kunto	Suuria muodon muutoksia tapeissa. Yhdessä tapissa pieni murtuma.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla vaurioita.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutoksia. Tuetulla kappaleella halkeama. Sisällä murtumia.
Muuta	Poikkeuksellinen käyrästä. N. 13,7 kN:n kohdalla noin 3,5 kN:n pudotus jonka jälkeen voima lähti nousuun, mutta suurta pudotusta ei enään tullut.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 138. Liitoksen siirtymä. Liimapuukappaleet ovat siirtyneet merkittävästi toisiinsa nähden



Kuva 139. Liimapuun halkeama ja siirtymä

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 140. Liimapuun vaurio. Tuella olleeseen kappaleeseen on syntynyt halkeama



Kuva 141. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta

Taivutuslujuustestauksen raportti

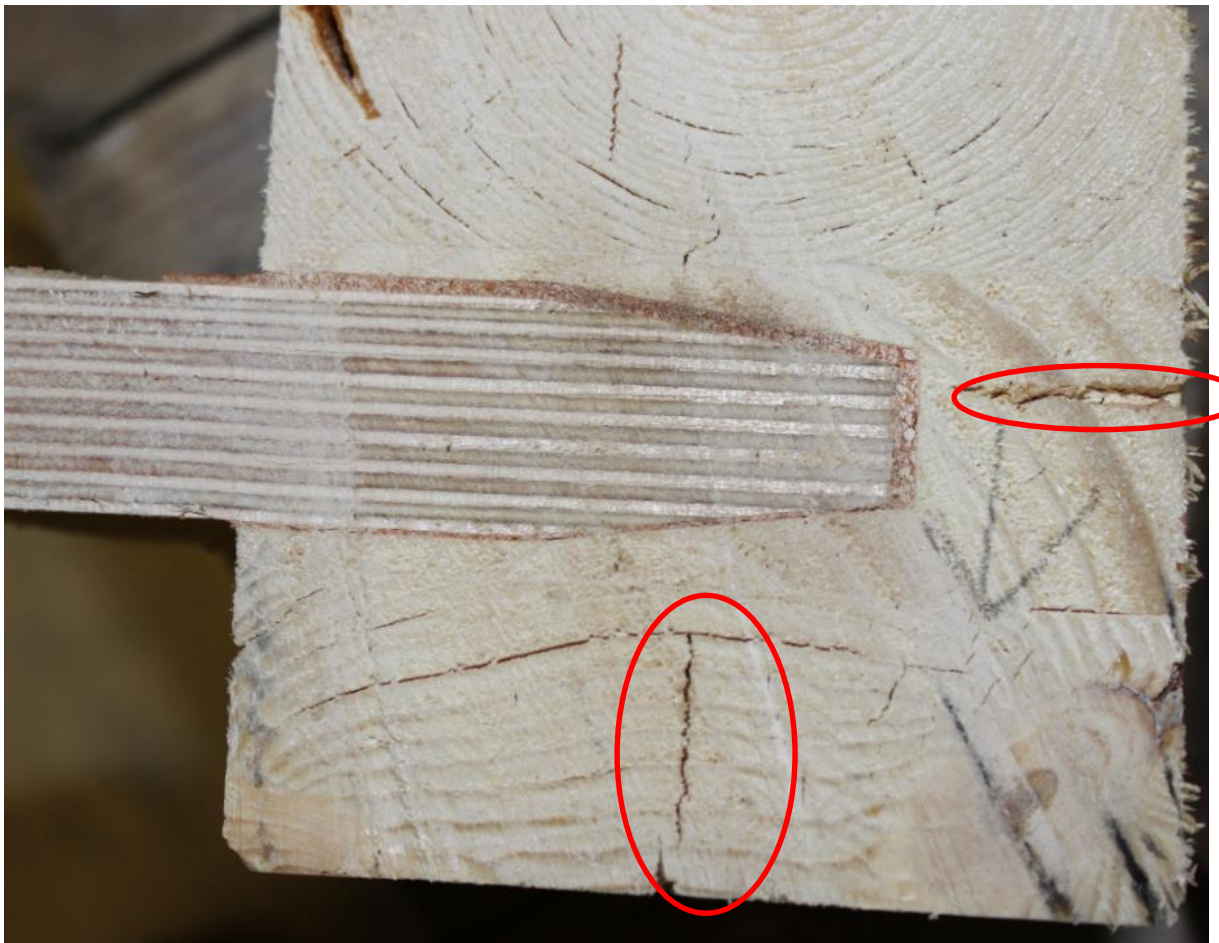
Kuva 142. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa



Kuva 143. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt pieni murtuma

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 144. Vanerikappaleen vaurio. Vaneriin on syntynyt vaurio reikien kohdalle



Kuva 145. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia. Ympyröidyt halkeamat johtuvat kosteusmittarin piikeistä.

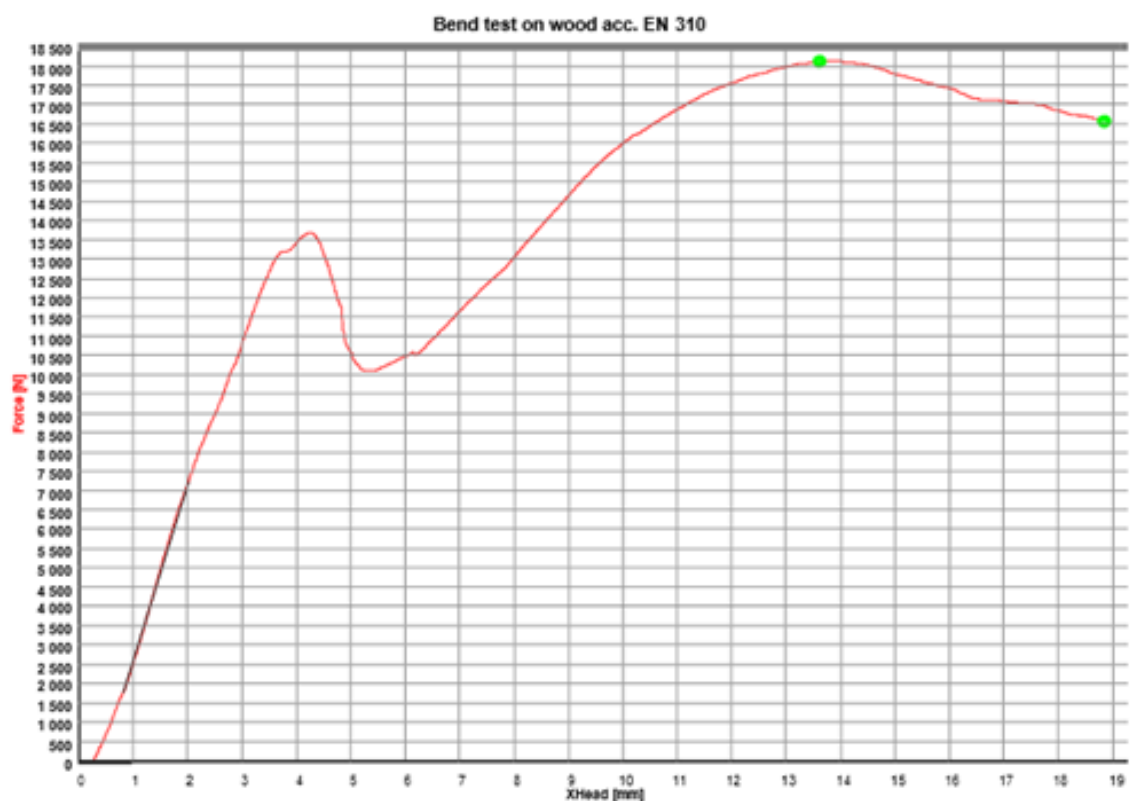
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 09:00

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criterions: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
7	x	25.11.14	09:00			0.02	18210.10	0.02	16648.10	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
7	13.39	18.63

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
 Material: tuki_T
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 09:00

Statistics n = 7

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	18494.94	0.01	14419.68	0.00	8.93	8.60
Standard deviation	0.01	7868.81	0.01	7529.40	0.00	5.40	6.47
Variation coeff.	42.55	42.55	52.22	52.22	25.78	60.47	75.19

Taivutuslujuustestauksen raportti

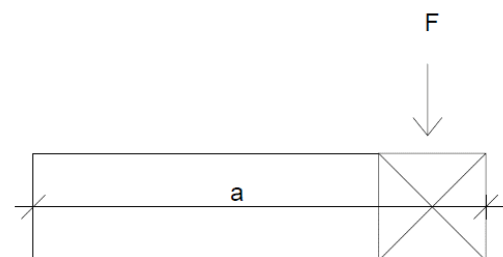
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T6

Maksimi voima	16,9	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	7,35	mm
Testin kesto	45,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,69	mm
Ilman lämpötila	20,9	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	0,91	mm
Koekappaleen kosteus	14,13	RH-%			

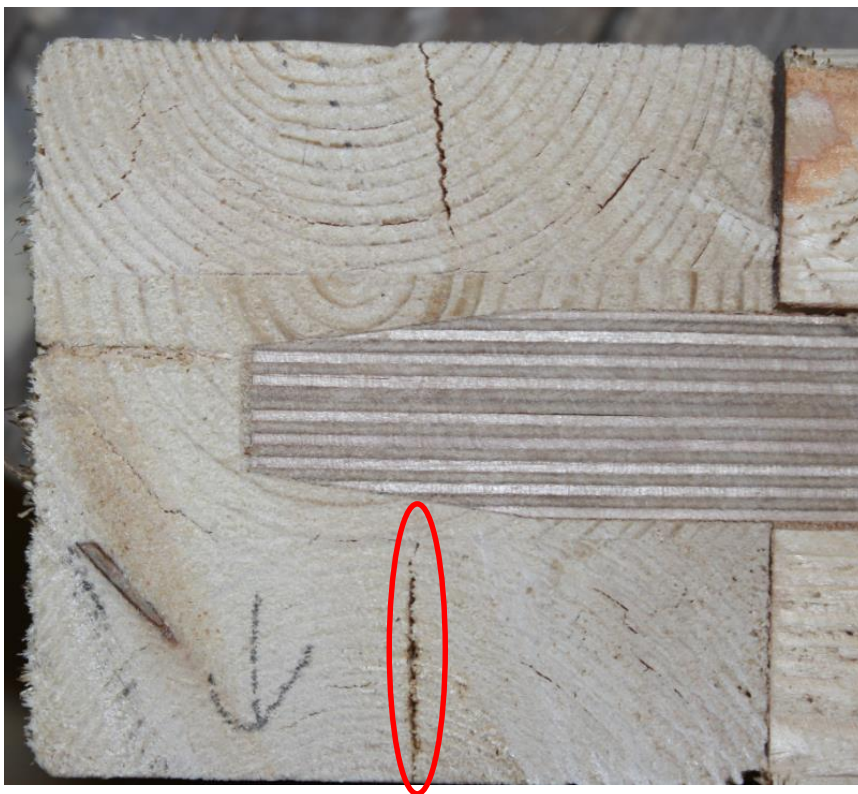
Koekappaleen pituuden muutos	2,42	mm
	0,84	%



Tappien kunto	Pientä, ei merkittävää muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Hyvin pientä vauriota reikien kohdalla.
Liimapuun kunto	Halkeama tuella olleessa kappaleessa. Murtumia sisällä
Muuta	Vanerin ja liimapuun väliin syntynyt selvä väli.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 146. Liimapuun halkeama. Halkeama on syntynyt tuella olleeseen kappaaleeseen



Kuva 147. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia. Ympyröity halkeama johtuu kosteusmittarin piikistä

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 148. Liimaliitoksen murtuminen. Vanerikappaleen ja liimapuun välinen liimaliitos on murtunut

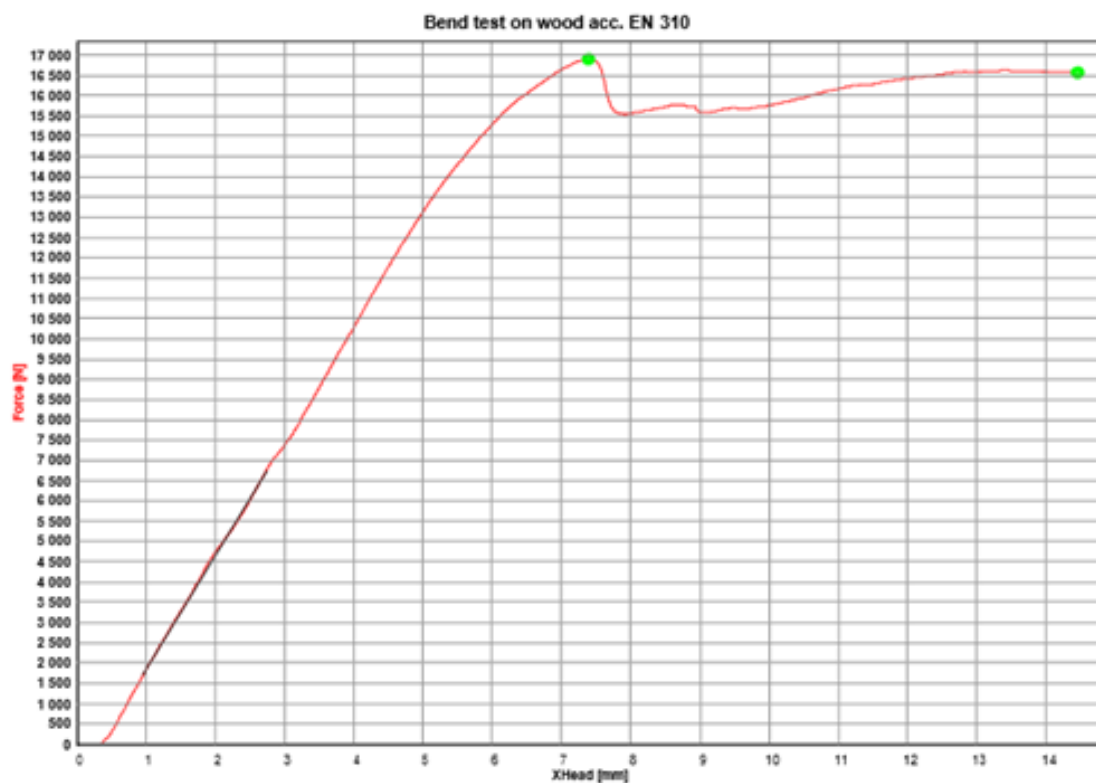
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 09:09

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
8	x	25.11.14	09:09			0.02	16904.60	0.02	16583.50	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
8	7.19	14.26

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
 Material: tuki_T
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 09:09

Statistics n = 8

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	18296.15	0.02	14780.32	0.00	8.71	9.54
Standard deviation	0.01	7306.77	0.01	6792.19	0.00	5.04	6.23
Variation coeff.	39.94	39.94	45.95	45.95	27.49	57.82	65.26

Taivutuslujuustestauksen raportti

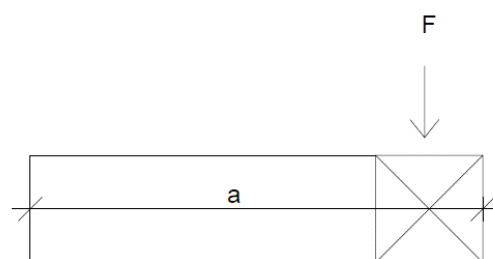
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T7

Maksimi voima	20,6	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	8,42	mm
Testin kesto	52,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,57	mm
Ilman lämpötila	21	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,29	mm
Koekappaleen kosteus	14,08	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,14	mm
	0,39	%



Tappien kunto	Pientä, ei merkittävää muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Pieniä vaurioita reikien kohdalla. Pieni murtuma pintaviilussa.
Liimapuun kunto	Reikien kohdalla muodonmuutosta. Sisällä murtumia.
Muuta	Limapuun ja vanerin väliin syntynyt rakoa.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 149. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt reiän kohdalle muodonmuutosta



Kuva 150. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 151. Liimaliitoksen murtuminen. Vanerikappaleen ja liimapuun välinen liimaliitos on murtunut samalla vaurioittaen vanerin pintaviilua



Kuva 152. Vaneripalan vaurio. Vaneriin on syntynyt vaurio reiän kohdalle

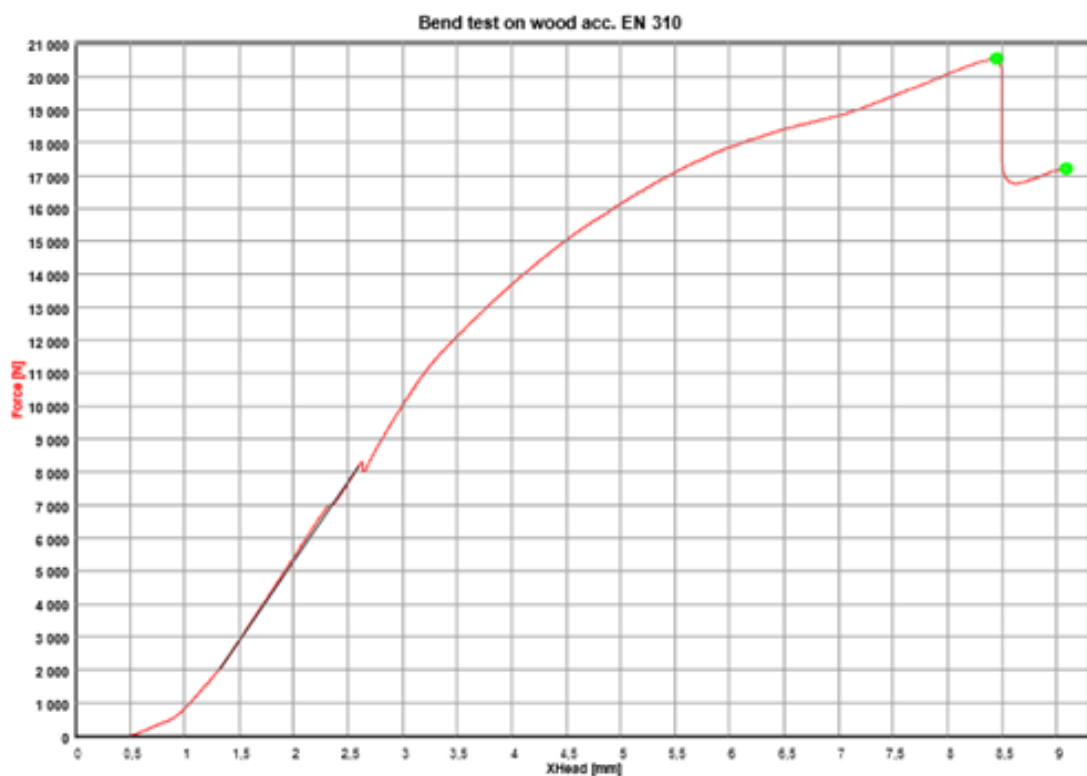
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 09:18

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criteria: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
9	x	25.11.14	09:18			0.02	20603.00	0.02	17288.30	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
9	8.02	8.65

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: Arbelius
 Material: tuki_T
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 09:18

Statistics n = 9

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	18552.47	0.02	15138.60	0.00	8.64	9.42
Standard deviation	0.01	6877.98	0.01	6272.43	0.00	4.72	5.70
Variation coeff.	37.07	37.07	41.43	41.43	26.02	54.64	60.49

Taivutuslujuustestauksen raportti

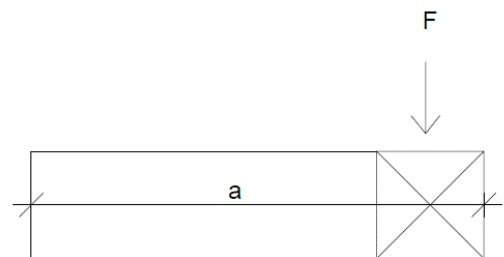
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T8

Maksimi voima	18,34	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	8,16	mm
Testin kesto	50,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	3,59	mm
Ilman lämpötila	20,9	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	2,22	mm
Koekappaleen kosteus	13,6	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	1,35	mm
	0,47	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Taivutetussa kappaleessa selvä halkeama. Reikien kohdalla muodonmuutosta. Liimapuun sisällä murtumia.
Muuta	Kun ensimmäinen voimanpudotus tapahtui petti myös kiinnitys. Tämän jälkeen voima lähti vielä nousuun, mutta koe keskeytettiin koska tuella ollut pala lähti nousemaan.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 153. Liimapuun vauriot. Liimapuuhun on syntynyt reikien kohdalle muodonmuutosta



Kuva 154. Liimapuun halkeama. Halkeama on syntynyt liimapuuhun jota taivutettiin

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 155. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia

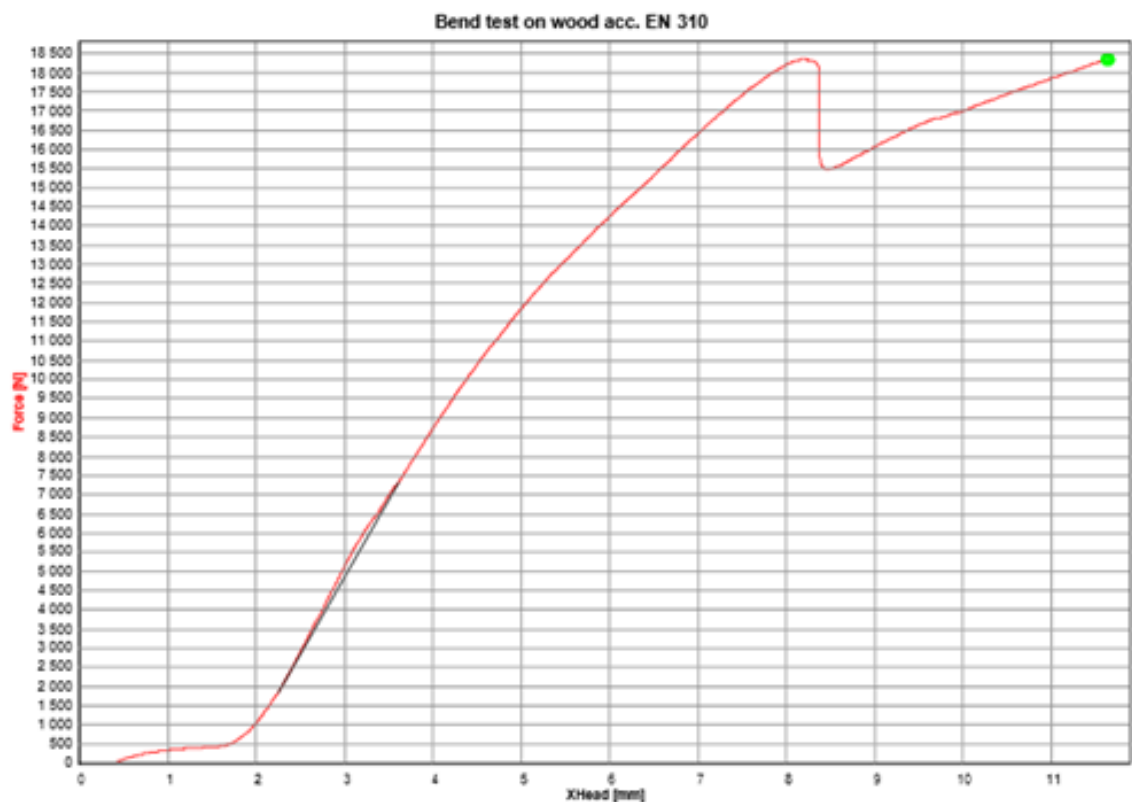
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 10:01

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criterions: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
1	x	25.11.14	10:01			0.02	18346.10	0.02	18346.10	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
1	11.29	11.29

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 10:01

Statistics n = 1

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	18346.10	0.02	18346.10	0.00	11.29	11.29
Standard deviation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variation coeff.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Taivutuslujuustestauksen raportti

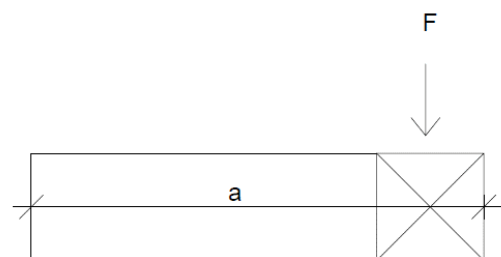
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T9

Maksimi voima	18,44	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	8,98	mm
Testin kesto	55,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,52	mm
Ilman lämpötila	20,9	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,42	mm
Koekappaleen kosteus	13,89	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	3,41	mm
	1,18	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta, mutta ei murtumaa.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota. Pieni halkeama viilun suunnassa.
Liimapuun kunto	Liimapuun sisällä murtumia.
Muuta	Sama asia tapahtui kuin viime testissä eli kiinnitys petti, pala liikahti ja tämän jälkeen taivutettava kappale osui tukeen. Raporttiin otetut arvot ovat 18,4 kN:n kohdalta.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 156. Liimapuun vauriot. Liimapuuhun on syntynyt reikien kohdalle muodonmuutosta



Kuva 157. Liimapuun vaurio. Vaurio on syntynyt, kun testin lopussa taivutettu liimapuukappale osui tuelle



Kuva 158. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt plastista painumaa

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 159. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt sisäisiä murtumia



Kuva 160. Liimaliitoksen murtuminen. Vanerikappaleen ja liimapuun välinen liimaliitos on murtunut

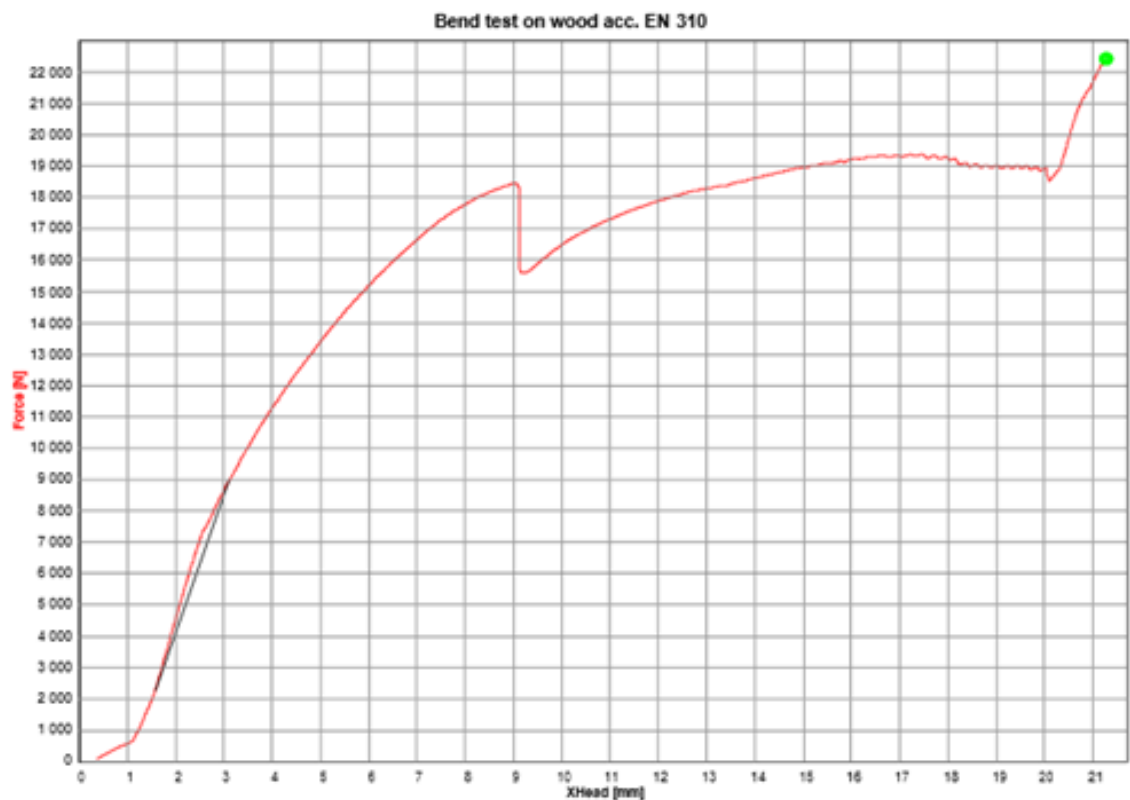
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 10:07

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
UTM type: TT 28100 E22
Load cell: 100kN
Extensometer: XHead
Clamping device: no
Test area: Lower test area
Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Length data: l1 = 1 mm
Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
Rate switchpoints: F0 = 20 N
End of test criterions: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	f _m N/mm ²	F _m N	f _b N/mm ²	F _b N	E _m N/mm ²
2	x	25.11.14	10:07			0.02	22431.50	0.02	22431.50	0.00

	dL _m mm	dL _b mm
2	20.99	20.99

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
Material: tuki_T
File name: MVL

Date: 25.11.2014
Time: 10:07

Statistics n = 2

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	20388.80	0.02	20388.80	0.00	16.14	16.14
Standard deviation	0.00	2888.81	0.00	2888.81	0.00	6.86	6.86
Variation coeff.	14.17	14.17	14.17	14.17	5.69	42.51	42.51

Taivutuslujuustestauksen raportti

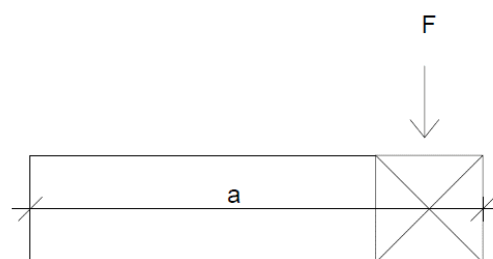
TAIVUTUSTESTI

Koekappale

T10

Maksimi voima	18,34	kN	Muodonmuutos maksivoiman kohdalla	6,81	mm
Testin kesto	42,00	s	Muodonmuutos 40 %:n kohdalla	2,38	mm
Ilman lämpötila	21,1	°C	Muodonmuutos 10 %:n kohdalla	1,44	mm
Koekappaleen kosteus	13,68	RH-%			

Koekappaleen pituuden muutos	2,91	mm
	1	%



Tappien kunto	Pientä muodonmuutosta sekä pieni murtuma.
Vanerin kunto	Reikien kohdalla pientä vauriota.
Liimapuun kunto	Tuella olleessa kappaleessa pieni halkeama. Reikien kohdalla muodonmuutosta. Liimapuun sisällä murtumia.
Muuta	Myös tässä testissä murtumisen jälkeen kappaleen kiinnitys petti.

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 161. Liimapuun vaurio. Liimapuuhun on syntynyt muodonmuutosta reiän kohdalle



Kuva 162. Liimapuun halkeama. Halkeama on syntynyt tuella olleeseen liimapuukappaleeseen

Taivutuslujuustestauksen raportti

Kuva 163. Poratapin vaurio. Poratappiin on syntynyt pientä murtumaa



Kuva 164. Liimapuun murtuminen. Liimapuuhun on syntynyt selkeä sisäinen murtuma

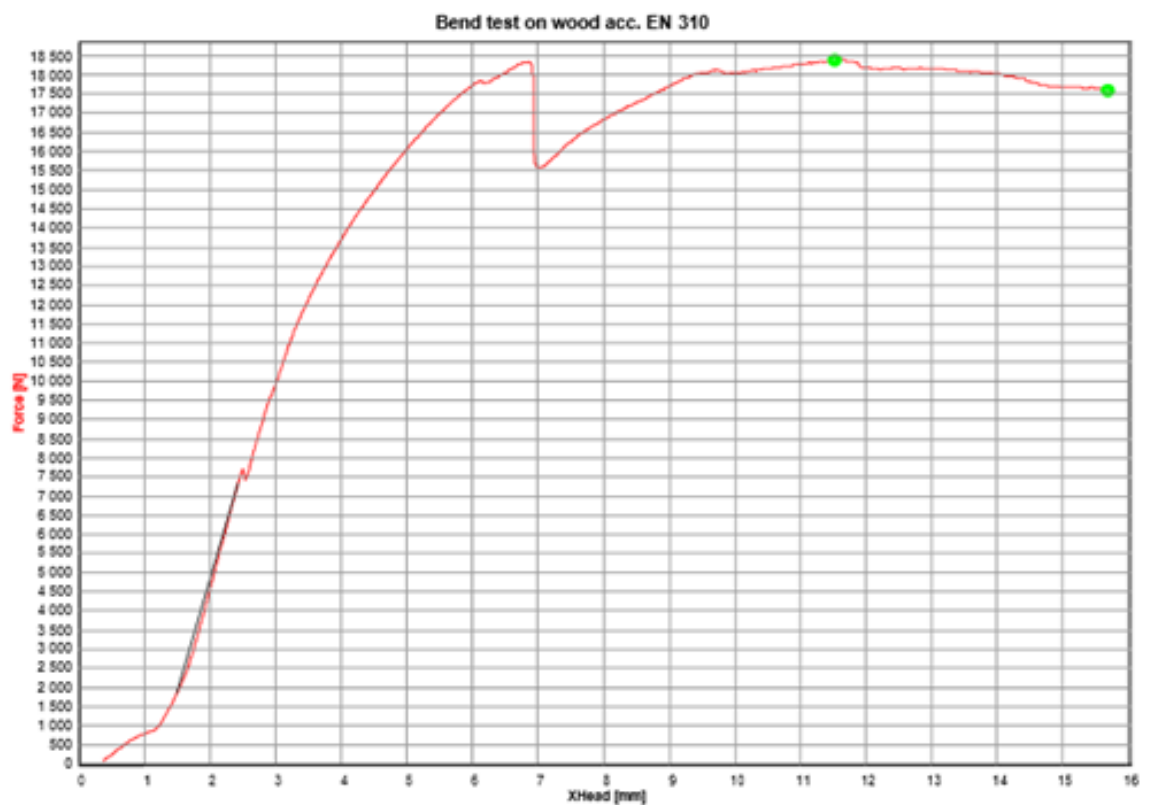
Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 10:26

Testparameters

Test: Bend test on wood acc. EN 310
 UTM type: TT 28100 E22
 Load cell: 100kN
 Extensometer: XHead
 Clamping device: no
 Test area: Lower test area
 Sample dimensions: b = 180 mm; t = 90 mm; h = 1 mm; m = 1 g
 Length data: l1 = 1 mm
 Test rates: V0 = 5 mm/min; V1 = 10 mm/min
 Rate switchpoints: F0 = 20 N
 End of test criterions: XHead = 30 mm; dF = 50 %



Test results

	OK	Date	Time	Comm.1	Comm.2	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²
3	x	25.11.14	10:26			0.02	18384.50	0.02	17616.10	0.00

	dLm mm	dLb mm
3	11.21	15.39

Taivutuslujuustestauksen raportti

Operator: arbelius
 Material: tuki_T
 File name: MVL

Date: 25.11.2014
 Time: 10:26

Statistics n = 3

	fm N/mm ²	Fm N	fb N/mm ²	Fb N	Em N/mm ²	dLm mm	dLb mm
Average	0.02	19720.70	0.02	19464.57	0.00	14.50	15.89
Standard deviation	0.00	2347.70	0.00	2595.24	0.00	5.63	4.87
Variation coeff.	11.90	11.90	13.33	13.33	20.60	38.80	30.66