

Pekka Ronkainen, Ville Mertainen, Sirpa Kolari

# **CLT-palkkien taivutuslujuuden ja kimmomoduulin testaus**



Julkaisusarja

Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu C: Raportteja, 141

Tekijä

Pekka Ronkainen, Karelia-ammattikorkeakoulu

Ville Mertanen, Karelia-ammattikorkeakoulu

Sirpa Kolari, Karelia-ammattikorkeakoulu

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu



Tämä julkaisu on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiMuutoksia 2.0 Kansainvälinen -lisenssillä.

ISBN 978-952-275-429-5

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2024

# Sisällys

Johdanto .....	4
1 Taivutustestin kuvaus.....	5
1.1 Testikappaleet.....	5
2 Testien suorittaminen .....	6
2.1 Testauslaitteisto.....	6
2.2 Testimenetelmät.....	7
3 Laskenta ja käytetyt kaavat.....	8
4 Testitulokset .....	9
4.1 Tulokset .....	16
4.2 Poikkeamat .....	16
Liite 1. Testien tulokset	

# Johdanto

Karelia-ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa toteutetaan monipuolisesti rakennusmateriaaleihin ja rakenneratkaisuihin liittyviä testaus- ja tutkimuspalveluja. Viime vuosina rakennuslaboratorion toimeksiantojen määrä on lisääntynyt koskien uusia rakennusmateriaaleja ja erityisesti puutuotteita, johtuen niiden pienestä hiilijalanjäljestä.

Ympäristöministeriö on ehdottamassa rakennuksen ilmastaselvitystä osaksi rakennuslakia ja säädökset olisivat voimassa 1.1.2025 alkaen. Ilmastaselvitys tarkoittaa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen sekä -kädenjäljen arviointia määritetyn laskentamenetelmän mukaan. Rakennusten elinkaaren enimmäispäästöjen raja-arvot tulevat toimimaan osaltaan ehtona rakennusluvan myöntämiselle. On tutkittu, että rakennusmateriaalien tuotannon ja rakentamisvaiheen osuus rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljestä on nykyisellään jopa noin puolet kokonaispäästöistä. Säädöskehityksen perimmäisenä tarkoituksena on vähentää rakentamisen materiaalisidonnaisia päästöjä energiatehokkuusvaatimusten rinnalla. Materiaali- ja tuoteosavalmistajille tämä tarkoittaa sitä, että heidän tulee löytää keinoja tuotantonsa ja tuotteidensa päästöjen vähentämiseksi.

Vastatakseen osaltaan tähän tarpeeseen, Karelia-ammattikorkeakoulu on kehittämässä yritysten kanssa ympäristöystävällisempiä rakennustuotteita. Tästä lähtökohdasta Karelia toteutti myös CLT Finland Oy:lle tutkimuksen, missä testattiin CLT-levyjen hukkapalojen käyttöä kantavina palkkirakenteina. Tavoitteena oli selvittää CLT-palkkien taivutuslujuus ja kimmomoduuli.

Rakennuslaboratoriossa tuotettu aineisto pystyisi tarjoamaan myös rakennuttajille, suunnittelijoille ja rakennusalan yrityksille uusia näkökulmia pyrkimyksissään rakentamisen päästöjen vähentämiseksi.

Joensuussa 8.3.2024

Sirpa Kolari, koulutuspäällikkö, Karelia-ammattikorkeakoulu

Ville Mertanen, laboratorion laatuvaastaava, Karelia-ammattikorkeakoulu

# 1 Taivutustestin kuvaus

Testin tavoitteena oli selvittää Hoiskon CLT-palkkien taivutuslujuus ja kimmomoduuli.

## 1.1 Testikappaleet

Testikappaleet olivat Hoiskon CLT massiivipuulevystä tehtyjä palkkeja. Koekappaleiden kosteus tasaannutettiin vakioidussa olosuhteessa 20 °C ja 60 % RH. Testattavia kappaleita oli yhteensä 23.

Taulukko 1. Koekappaleet

P10	160mmx210mm	3200mm	3kpl	Läpiliimattu
P11	160mmx210mm	3200mm	6kpl	Kaikki pitkään suuntaan
P12	240mmx210mm	3200mm	3kpl	Läpiliimattu
P13	240mmx210mm	3200mm	5kpl	2kpl pitkään suuntaan, 3kpl lyhyeen suuntaan
P14	115mmx210mm	2350mm	3kpl	Vaneripinta, 1kpl virheellinen
P15	100mmx210mm	2350mm	3kpl	Pitkään suuntaan

## 2 Testien suorittaminen

Testit tehtiin Karelia-ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa joulukuussa 2023. Taivutuslujuus ja kimmomoduuli testataan standardissa SFS-EN 408:2010+A1 määritetyn testausmenetelmän mukaisesti. Standardin mukaisesti testikappaleen pituuden tulisi olla 18 kertaa korkeus  $\pm 1,5$ .

Standardin mukaan nelipistetäivutuksen koestusperiaate on, että poikkileikkaukseltaan suorakulmion muotoista näytettä taivutetaan tasaisella nopeudella, kunnes kappale murtuu tai taipuma saavuttaa ennalta määrätyn arvon.

Taivutuksen aikana mitataan kappaleeseen kohdistuva voima (N) ja muodonmuutoksen suuruus eli taipuman arvo (mm). Mitatuista arvoista määriteltiin materiaalin taivutuslujuus ja kimmomoduuli.

### 2.1 Testauslaitteisto

Taivutustestin aineenkoeistuslaitteena toimi AMT Systems KA 500, jossa maksimivoima sylinterissä 500 kN ja maksimi jänneväli noin 3000 mm. Standardin vaatima nelipistetaivutus toteutettiin erilaisin vastein ja taipuman mittaamiseen käytettiin lasermittausta.

Palkit olivat yksinkertaisesti tuettuja ja niissä oli sivuttaistuet nurjahduksen estämiseksi.

Kappaleiden mittaamiseen käytettiin Preisser Digi-Met työntömittaa ja Precisa BJ 6100D perus-tarkkuusvaakaa, jonka punnitusalue on 6 kg ja luettavuus 0,1 g.



Kuva 1. Aineenkoestuslaite AMT Systems KA 500

## 2.2 Testimenetelmät

1. Mittojen tarkistus (leveys/korkeus) ja niiden syöttö Excel-taulukkoon.
2. Nelipistetaivutus. Tuot päissä etäisyydellä toisistaan 3200 mm ja 2350 mm. Keskitukienvälit olivat noin 1067 mm ja 784 mm.
3. Mitataan taipuma ja maksimivoima standardin mukaisilla nopeuksilla. Puukappale pyrittiin rikkomaan annetuissa aikarajoissa.
4. Koestetusta kappaleesta leikataan poikkileikkauksen kattava ehjä ja oksaton siivu n. 50 mm leveänä. Kappaleiden kuivuminen estettiin pussiin pakkaamalla, merkattiin ja punnittiin. Tämän jälkeen kappaleet laitettiin kuivausuuniin vuorokauden ajaksi. Tämän jälkeen uusi punnitus ja mittojen tarkistus. Tuloksista kosteuden sekä tiheyden määrittäminen raporttiin.

# 3 Laskenta ja käytetyt kaavat

## 19.3 Expression of results

The bending strength is determined by:

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2} \quad (17)$$

The symbols are as given in Clause 4.

The bending strength shall be calculated to an accuracy of 1 %.

The mode of fracture and the growth characteristics at the fracture section of each test piece shall be recorded.

## 9.3 Expression of results

Using data obtained from the local modulus of elasticity test, plot the load/deformation graph.

Use that section of the graph between  $0,1 F_{m,loc}$  and  $0,4 F_{m,loc}$  for a regression analysis.

Find the longest portion of this section that gives a correlation coefficient of 0,99 or better. Provided that this portion covers at least the range  $0,2 F_{m,loc}$  to  $0,3 F_{m,loc}$ , calculate the local modulus of elasticity from the following expression:

$$E_{m,l} = \frac{aI^2(F_2 - F_1)}{16J(w_2 - w_1)} \quad (1)$$

where

$F_2 - F_1$  is an increment of load in newtons on the regression line with a correlation coefficient of 0,99 or better; and

$w_2 - w_1$  is the increment of deformation in millimetres corresponding to  $F_2 - F_1$  (see Figure 2).

The local modulus of elasticity,  $E_{m,l}$  shall be calculated to an accuracy of 1 %.

If a portion of the graph cannot be found with a correlation coefficient of 0,99 or better covering the range  $0,2 F_{m,loc}$  to  $0,3 F_{m,loc}$ , check the test equipment and take measures to eradicate any errors caused by distorted specimens. If 0,99 is still not achieved, discard the specimen.

The modulus of elasticity shall be calculated to an accuracy of 1 %.

Find the longest portion of this section that gives a correlation coefficient of 0,99 or better. Provided that this portion covers at least the range  $0,2 F_{m,g}$  to  $0,3 F_{m,g}$ , calculate the global modulus of elasticity,  $E_{m,g}$  from the following expression:

$$E_{m,g} = \frac{3aI^2 - 4a^3}{2bh^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbht} \right)} \quad (2)$$

where


$F_2 - F_1$  is an increment of load in newtons on the regression line with a correlation coefficient of 0,99 or better

and

$w_2 - w_1$  is the increment of deformation corresponding to  $F_2 - F_1$ , in millimetres (see Figure 2).

$G$  is the shear modulus determined either by the method given in 11.1 or 11.2.

The shear modulus  $G$  shall be taken as infinite when Equation (2) is used for the EN 384 strength class allocation procedure.

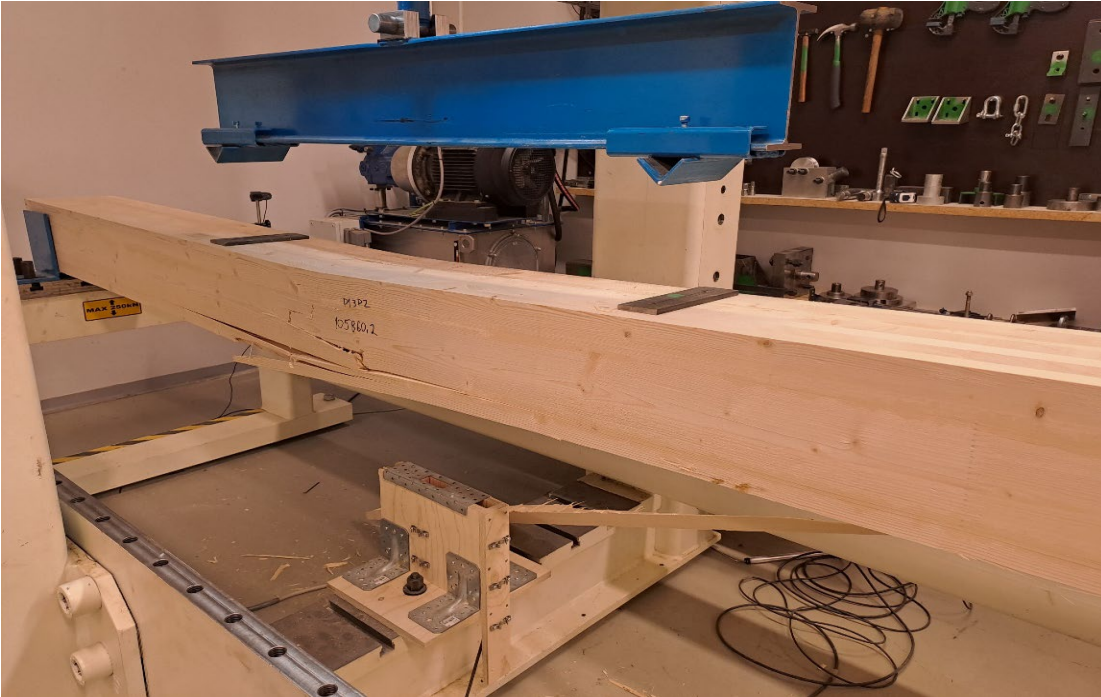
NOTE Equation (2) accounts for the influence of the shear deformation. The strength class allocation procedure in EN 384:2010, 5.3.2 includes a normative transformation equation accounting implicitly for the shear deformation. For that case the shear influence as given in Equation (2) can be ignored by taking  $G$  as infinite. However, Equation (2) offers the option to study and evaluate the shear influence for other purposes when the shear modulus is known. The mean shear modulus of coniferous wood species can be taken as  $G = 650 \text{ N/mm}^2$ . It is advised to report both results with and without the shear deformation correction. 

Lähde: SFS-EN 408:2010+A1. 2012. Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.



## 4 Testitulokset

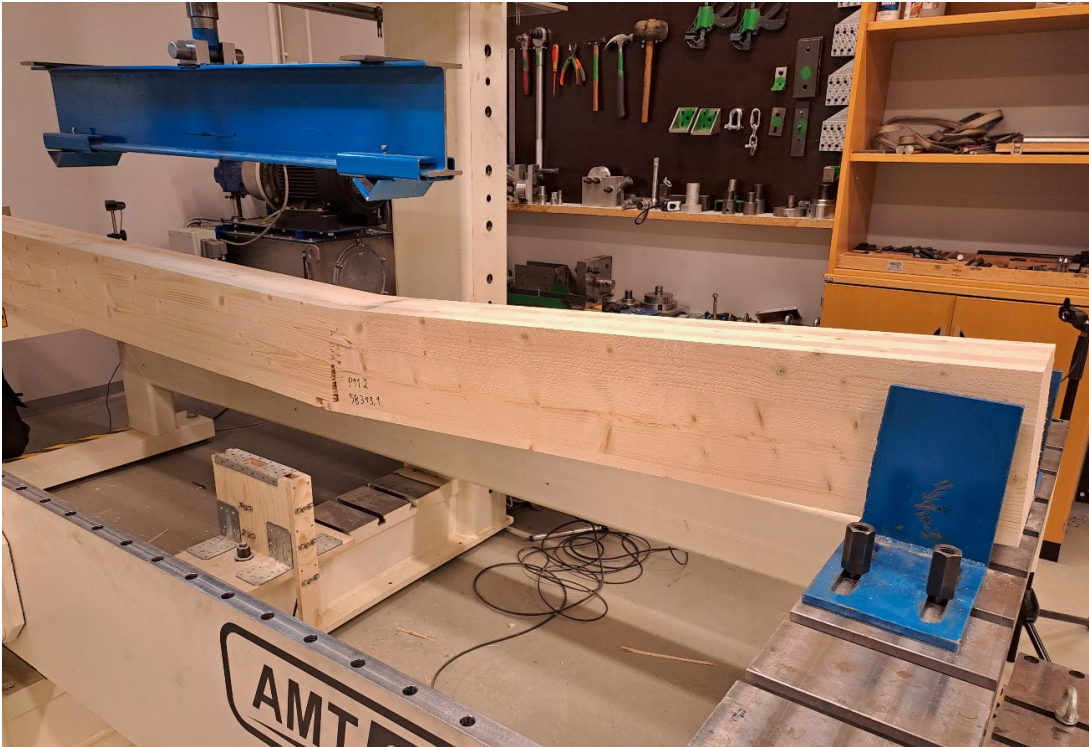
Testituloksista esitelty murtumia eri dimensiosta.



Kuva 2. Koekappale P10 2 (160mmx210mm) läpiliimattu



Kuva 3. Koekappale P10 2 (160mmx210mm) läpiliimattu



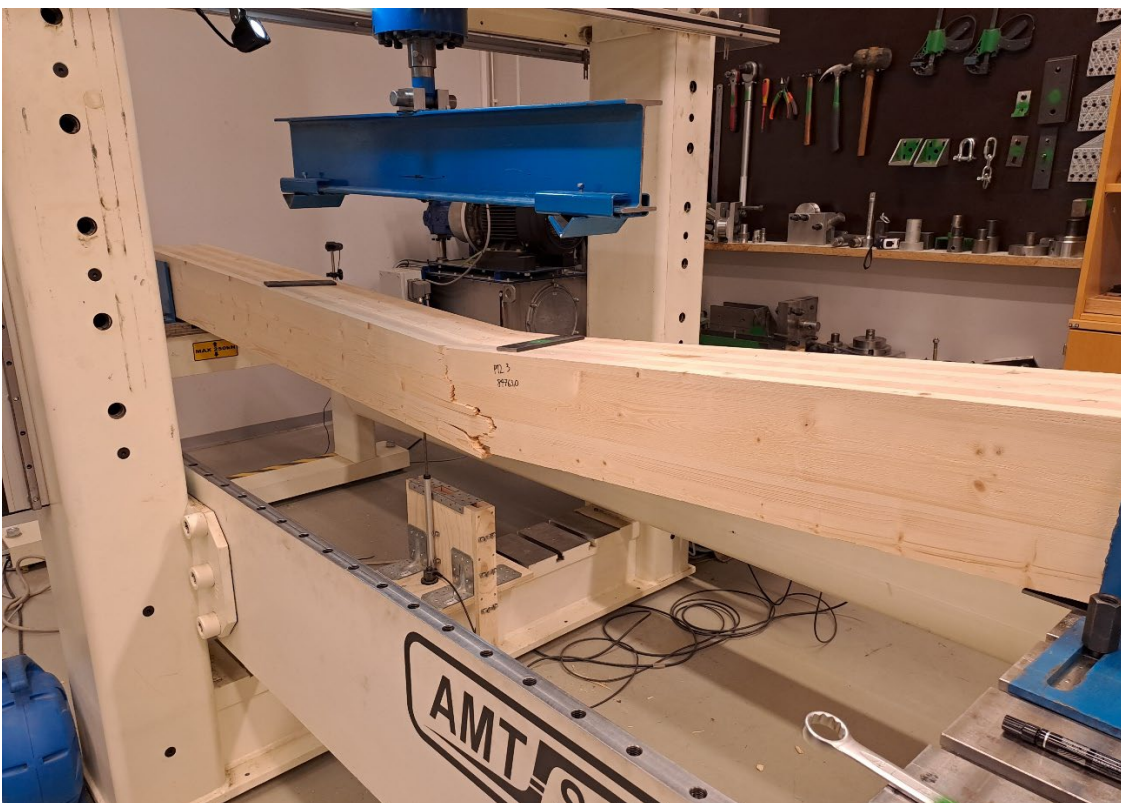
Kuva 4. Koekappale P11 2 (160mmx210mm) pitkään suuntaan



Kuva 5. Koekappale P11 2 (160mmx210mm) pitkään suuntaan



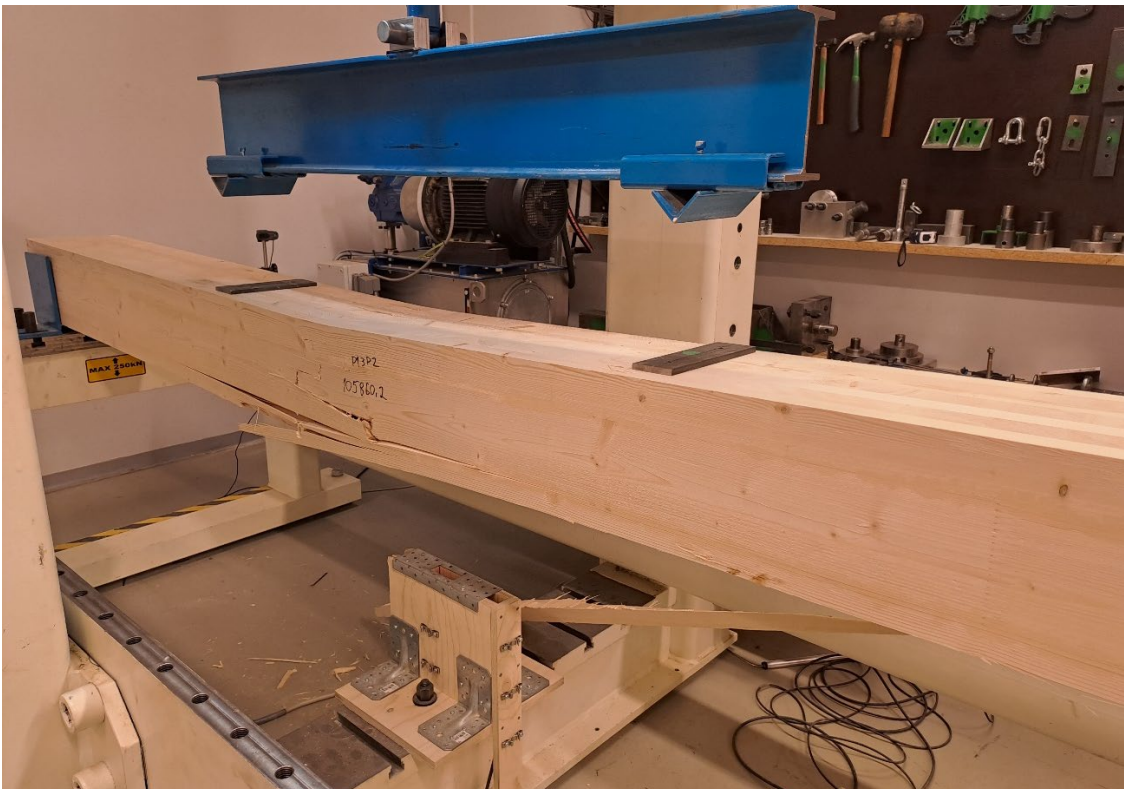
Kuva 6. Koekappale P12 3 (240mmx210mm) läpiliimattu



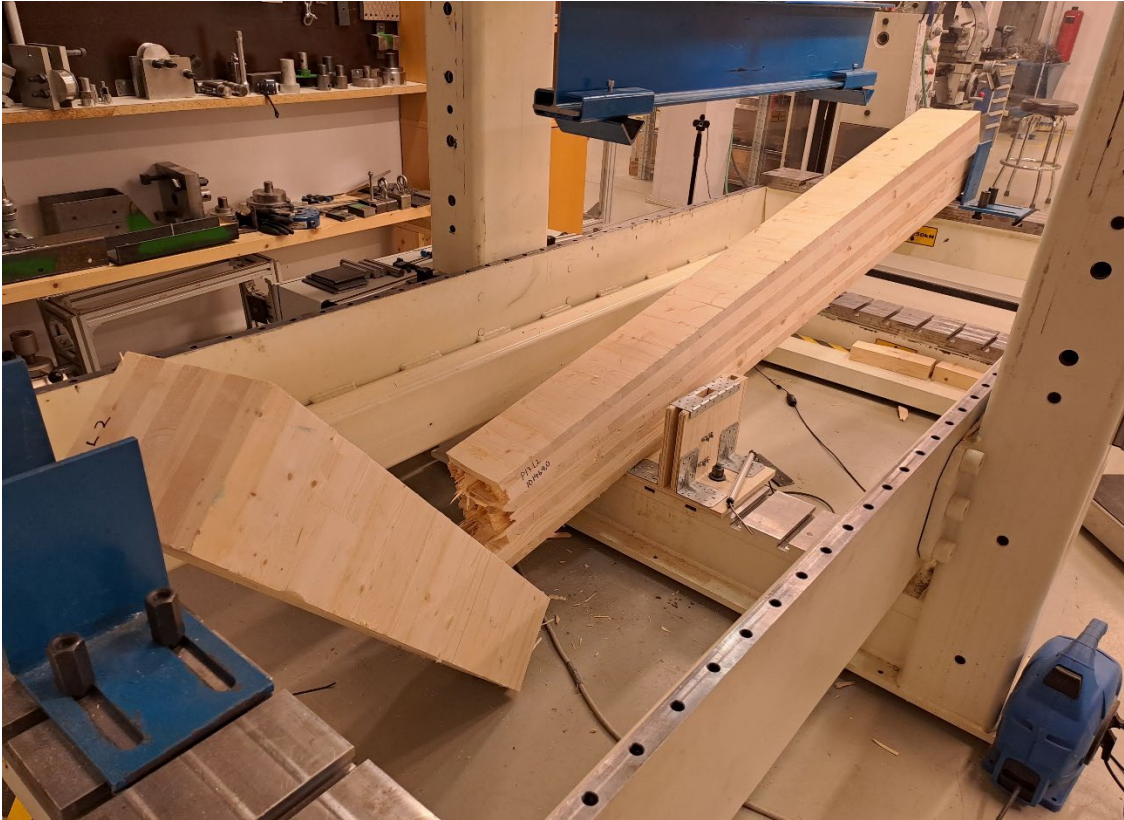
Kuva 7. Koekappale P12 3 (240mmx210mm) läpiliimattu



Kuva 8. Koekappale P13 P2 (240mmx210mm) pitkään suuntaan



Kuva 9. Koekappale P13 P2 (240mmx210mm) pitkään suuntaan



Kuva 10. Koekappale P13 L2 (240mmx210mm) lyhyeen suuntaan



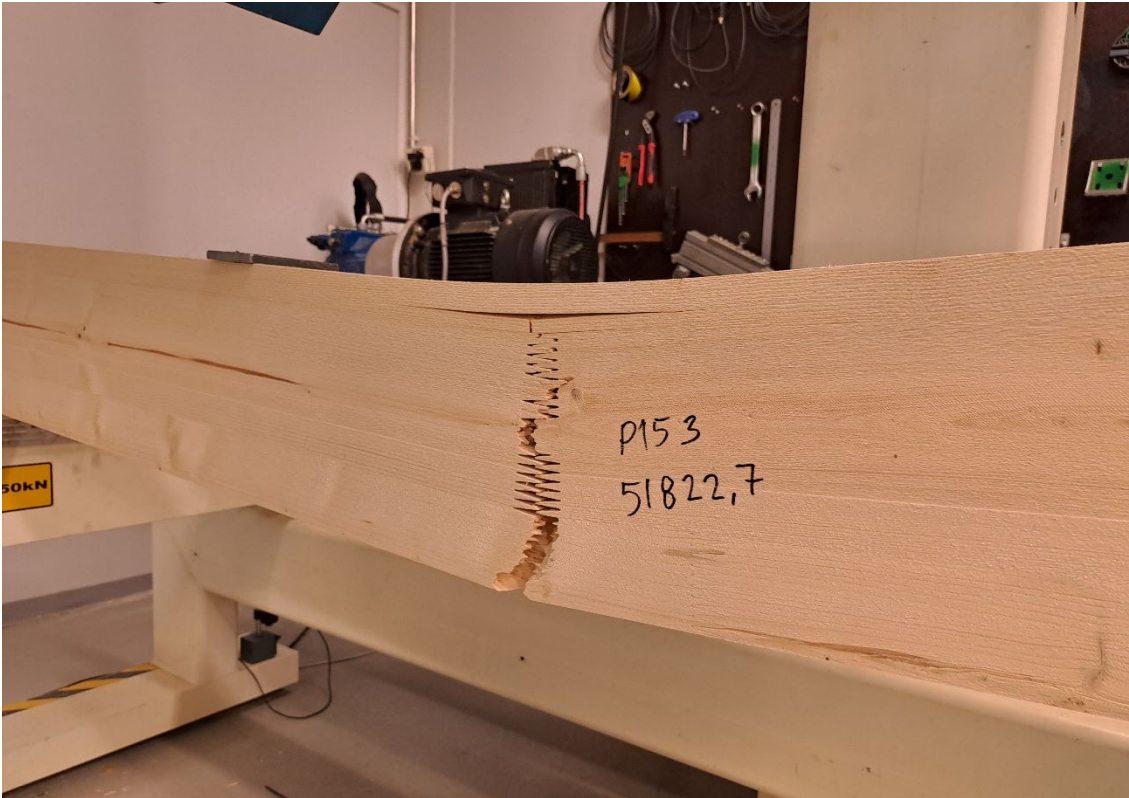
Kuva 11. Koekappale P13 L2 (240mmx210mm) lyhyeen suuntaan



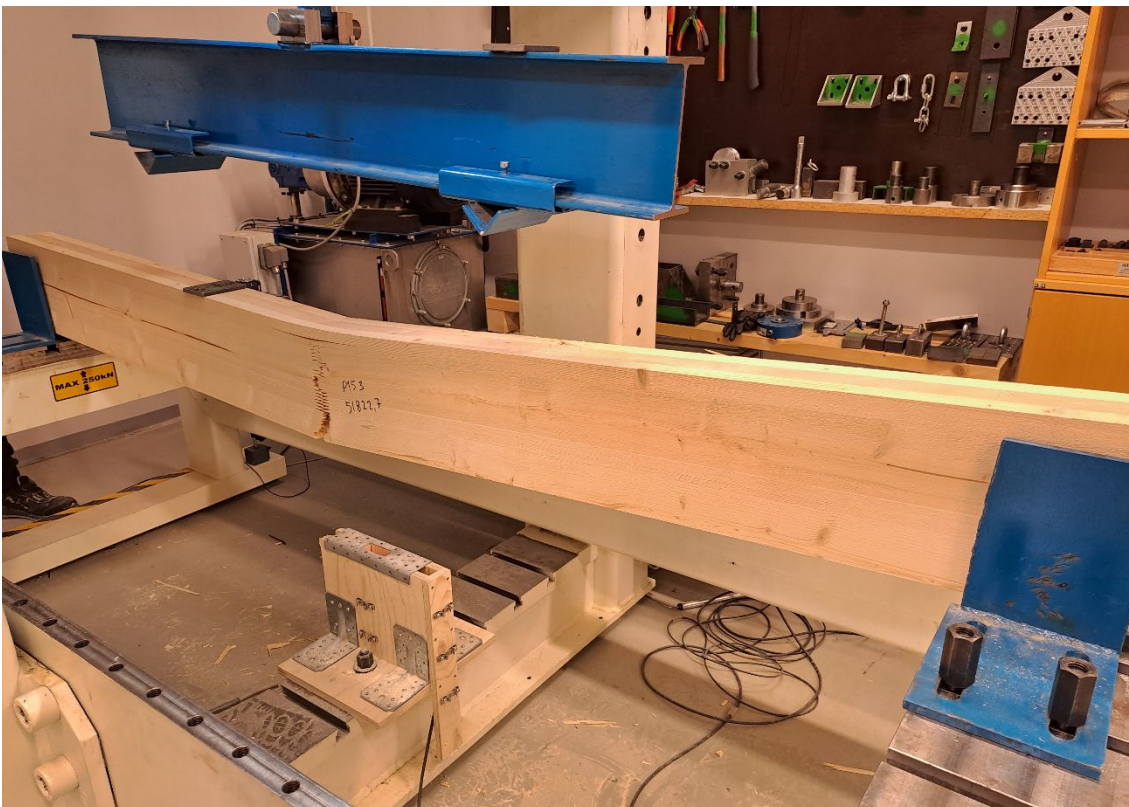
Kuva 12. Koekappale P14 1 (115mmx210mm) vaneripinta



Kuva 13. Koekappale P14 1 (115mmx210mm) vaneripinta



Kuva 14. Koekappale P15 3 (100mmx210mm) pitkään suuntaan



Kuva 15. Koekappale P15 3 (100mmx210mm) pitkään suuntaan

## 4.1 Tulokset

Testauksen tulokset on esitetty liitteessä 1.

## 4.2 Poikkeamat

Testitulokset kappaleista P12 1 ja P12 2 eivät tallentuneet mittauslaitteiston virheen takia. Kappaleiden P14 ja P15 pituudet 2350 mm eivät täyttäneet standardin vaatimuksia.



# Liite 1. Testien tulokset

Tunnus	Poikkileikkauksen (mm)			Maksimivoima (N)	Kosteusmittakappaleen (g)		Kosteusmittakappaleen kuivamitat (mm)				Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Kosteus	Local modulus of elasticity in bending (N/mm <sup>2</sup> )	Global modulus of elasticity in bending (N/mm <sup>2</sup> )	Bending strenght (N/mm <sup>2</sup> )
	Korkeus	Leveys	Pinta-ala (mm <sup>2</sup> )		Paino märkänä	Paino kuivana	Leveys	Korkeus	Pituus	Tilavuus (mm <sup>3</sup> )					
P12 1	212,8	242,5	51601,9	-	1152,7	1030,5	51,1	211,6	236,7	2557710,8	402,9	11,9 %	-	-	-
P12 2	213,3	242,2	51665,5	-	1164,2	1040,9	50,7	212,5	235,9	2539856,7	409,8	11,8 %	-	-	-
P12 3	212,0	242,7	51452,4	84763,0	1148,6	1025,0	51,0	210,9	237,1	2550223,9	401,9	12,1 %	8856,305581	7923,320533	24,86650787
P13 L1	210,2	243,9	51267,8	102457,8	1163,5	1033,9	50,4	210,1	235,5	2492069,6	414,9	12,5 %	9041,073855	8090,087818	30,42410288
P13 L2	209,9	242,9	50984,7	101464,0	1148,9	1021,4	51,1	209,4	235,8	2524786,1	404,5	12,5 %	6078,184276	6462,876855	30,3395801
P13 L3	211,2	242,6	51237,1	77871,8	1081,6	964,6	51,6	210,0	235,5	2551878,0	378,0	12,1 %	7168,815465	6350,855437	23,02775327
P13 P1	210,6	242,5	51070,5	99846,5	1115,6	990,0	50,4	210,5	235,6	2499527,5	396,1	12,7 %	9041,554591	6408,768129	29,70669569
P13 P2	210,4	242,9	51106,2	105860,2	1082,0	961,9	51,0	210,2	236,9	2541275,3	378,5	12,5 %	7241,944931	8101,542681	31,5038552
P10 1	210,5	160,1	33701,1	69185,4	751,9	667,3	51,0	210,0	156,9	1679300,7	397,4	12,7 %	9143,049285	9926,241549	31,20821306
P10 2	210,5	160,0	33680,0	64401,8	742,7	657,9	51,0	210,5	156,6	1680080,5	391,6	12,9 %	7841,797449	8192,56621	29,06857894
P10 3	210,3	160,8	33816,2	53303,3	808,1	713,9	52,2	210,3	157,2	1726790,1	413,4	13,2 %	6846,933253	8173,400325	23,98498689
P11 1	210,3	160,8	33816,2	74139,8	834,4	746,6	52,0	210,1	156,4	1709796,6	436,7	11,8 %	7825,066574	9909,159341	33,36082628
P11 2	210,3	160,7	33795,2	58393,1	729,1	653,7	49,8	210,6	156,2	1637110,3	399,3	11,5 %	6851,193945	8178,746025	26,29160434
P11 3	210,4	160,9	33853,4	82502,2	788,5	705,2	48,5	209,9	156,7	1596325,9	441,8	11,8 %	10932,68132	9888,216793	37,06534039
P11 4	210,3	160,0	33648,0	80555,7	761,7	680,6	50,1	210,4	156,6	1649628,6	412,6	11,9 %	9174,890559	9961,785028	36,42903996
P11 5	210,5	159,7	33616,9	65324,8	733,1	656,7	49,6	210,5	156,7	1637172,9	401,1	11,6 %	6110,633231	8208,745951	29,54057541
P11 6	210,5	159,9	33659,0	64912,6	791,8	709,8	51,2	210,5	155,6	1678086,4	423,0	11,6 %	9154,485244	9939,428626	29,31745849
P15 1	210,0	101,4	21294,0	49224,5	458,7	400,4	49,4	210,1	98,0	1017136,1	393,7	14,6 %	5758,329416	8040,434728	25,86858248
P15 2	210,6	101,0	21270,6	50611,5	401,7	352,9	49,6	210,0	97,8	1018684,8	346,4	13,8 %	4913,026211	8004,297454	26,55088268
P15 3	210,6	100,9	21249,5	51822,7	474,4	418,0	49,6	209,9	97,6	1016117,5	411,4	13,5 %	4303,158488	8012,967952	27,21322413
P14 1	210,7	116,0	24441,2	51139,7	551,0	494,4	49,6	210,1	113,4	1181736,9	418,4	11,4 %	5980,286565	9419,421756	23,33667499
P14 2	210,4	116,1	24427,4	61233,8	562,9	505,2	50,4	210,4	113,7	1205693,0	419,0	11,4 %	5000,609239	9452,205997	27,99853984
P 14 V	210,0	116,5	24465,0	63699,8	569,8	511,7	50,4	209,7	113,3	1197454,1	427,3	11,4 %	6014,365008	9472,089875	29,1367707