

**STUDIU COMPARATIV PRIVIND
COMPORTAMENTUL LA SOLICITĂRI
MECANICE AL GRINZILOR DIN LAMELE
ÎNCLEIATE DIN LEMN DE MOLID, PIN ȘI
DOUGLAS**

**COMPARATIVE STUDY ON THE
MECHANICAL BEHAVIOR OF GLUED
LAMINATED BEAMS MADE OF SPRUCE,
PINE AND DOUGLAS FIR WOOD**

Marius GIURGIU

Dipl.eng - S.C. Becker-Romania S.R.L.
Adresa/Address: Str Clujului nr 7, 405300 Gherla, România
E-mail: productie@becker-romania.ro

Ivan CISMARU

Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University of Braşov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Braşov, România
E-mail: icismaru@unitbv.ro

Rezumat:

În lucrare se prezintă rezultatele investigațiilor experimentale privind variația rezistenței și rigidității la încovoiere statică a grinzilor realizate din lamele încleiate din lemn de molid, pin și douglas, folosite în construcții. Încărcarea cu forțe s-a făcut până la ruperea grinzilor.

Cuvinte cheie: grinzi lamelare încleiate; rezistența la încovoiere statică; modul de elasticitate; teste de laborator.

INTRODUCERE

Creșterea interesului pentru utilizarea lemnului în construcții a dus la dezvoltarea activităților de cercetare privind caracteristicile fizico-mecanice ale diverselor specii lemnoase, precum și la conceperea unor structuri speciale pentru îmbunătățirea unor proprietăți mecanice.

S-au căutat atât soluții tehnice care să asigure creșteri substanțiale ale rezistențelor la solicitările de încovoiere, compresiune și stabilitate la flambaj, cât și soluții care să asigure valorificarea speciilor repede crescătoare precum și a celor cu pondere maximă în structura pădurilor din România.

Speciile luate în studiu sunt molid, pin și douglas. Molidul și pinul au fost selectate având în vedere proprietățile mecanice ale acestora și ponderea în fondul forestier, iar douglasul a fost selectat ca reprezentant al speciilor de rășinoase repede crescătoare.

Direcția de cercetare vizează structurile sub formă de grinzi lamelare încleiate utilizate în construcțiile de lemn.

Structurile lamelare utilizează lamele din aceeași specie lemnoasă sau din specii diferite consolidate în structură cu ajutorul adezivilor, în vederea obținerii următoarelor avantaje:

- valorificarea lemnului din specii diverse, cu utilizare redusă în fabricarea mobilei;
- valorificarea eficientă a lemnului, prin folosirea

Abstract:

The work presents the results of experimental investigations on the variation of bending strength and stiffness in static bending of glued laminated beams made of spruce, pine and Douglas fir wood, used in constructions. The loading was carried out until breaking.

Key words: glued laminated beams; bending strength; MOE; lab tests.

INTRODUCTION

Increasing interest in using wood in construction led to the development of research on physical and mechanical characteristics of different wood species and the design of special structures for manufacturing the resistance elements (beams, columns).

Technical solutions were sought to provide substantial increase in resistance to bending stresses, compression stresses and buckling stability, as well as solutions to use the fast growing and high share species of the Romanian forest fund.

The considered species are spruce, pine and Douglas fir. Spruce and pine were selected considering their mechanical characteristics and the large spread, while Douglas fir was selected as representative of fast-growing resinous species.

The research envisages lamellar structures, used for beams and posts in wood constructions.

Lamellar structures use wooden lamellas of the same species or different species, consolidated within the structure by means of adhesives, so as to obtain the following advantages:

- capitalization of various wood species, with reduced use in the furniture manufacturing;
- efficient use of wood by using short timber, resulting from marginal areas of the logs;
- capitalization of low quality wood, by positioning it in the interior (invisible) structures;

cherestelei scurte și subscurte rezultată din zonele marginale ale buștenilor;

- valorificarea lemnului slab calitativ, prin înglobarea în zonele interioare (nevizibile) ale structurilor;
- realizarea de elemente de rezistență cu secțiuni diverse, unele greu realizabile din lemn masiv;
- realizarea de elemente de rezistență cu dimensiuni (lungimi) mari care permit deschideri mari ale construcțiilor;
- realizarea de structuri de construcții diverse din punct de vedere al formelor și cu aspecte estetice și arhitecturale bune.

OBIECTIVE

În cadrul prezentei cercetări s-a avut în vedere studierea structurilor liniare cu 2, 3, 4 și 5 lamele realizate din aceeași specie și anume din molid, pin sau douglas, supuse la solicitări de încovoiere statică.

Principalele obiective urmărite au fost:

- studiul influenței numărului de lamele asupra caracteristicilor de rezistență și rigiditate ale grinzilor din lamele încleiate supuse la încovoiere;
- stabilirea unor coeficienți de corecție a valorilor rezistenței și rigidității grinzilor lamelare rezultate în urma investigațiilor experimentale, față de valorile calculate teoretic.

METODĂ ȘI APARATURĂ

Pentru efectuarea testelor de laborator s-a avut în vedere ca epruvetele să se execute în corelație cu SR-EN 408/2004 din punct de vedere al dimensiunilor secțiunii și al lungimii, fiind astfel în corelație cu metodologia de efectuare a testelor la încovoiere statică pentru grinzi utilizabile în construcții.

S-au utilizat în partea experimentală epruvete cu dimensiunile (SR EN 386:2004):

- lungimea $L = 2000 \pm 2\text{mm}$
- lățimea secțiunii $b = 50 \pm 2\text{mm}$
- înălțimea secțiunii $h = 100 \pm 4\text{mm}$

Epruvetele au fost realizate din 2, 3, 4 și 5 lamele, ca în Fig.1.

- making elements of resistance with big section where the solid wood beams are not proper;

- making resistance elements with large dimensions (length) that allow large openings;
- making building structures of various shapes and with good aesthetic and architectural aspect.

OBJECTIVES

Within the present research, the mechanical behavior of linear structures with 2, 3, 4 and 5 lamellas made of the same species, namely spruce, pine or Douglas fir was studied, after being subjected to static bending stresses.

The main objectives of this work were:

- studying the influence of the number of lamellas upon the characteristics of strength and stiffness of glued laminated beams subjected to bending;
- establishing correction coefficients for bending strength and stiffness values of glued laminated beams resulting from experimental investigations, compared to theoretically calculated values.

METHODOLOGY

The lab tests specimens were cut according to SR-EN 408/2004 in terms of section size and length, being thus correlated with the methodology for testing in static bending the beams used in constructions.

The specimens used within the experimental tests had the following sizes (SR EN 386:2004):

- length $L = 2000 \pm 2\text{mm}$;
- section width $b = 50 \pm 2\text{mm}$;
- section height $h = 100 \pm 4\text{mm}$

The specimens were made of 2, 3, 4 and 5 lamellas, as shown in Fig.1.

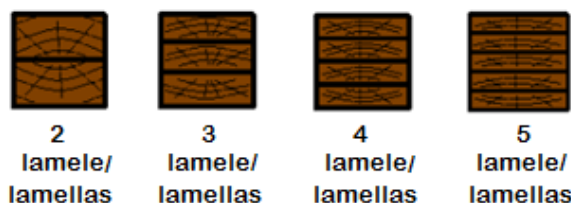


Fig. 1.

Structura epruvetelor din lamele încleiate / Structure of the glued lamellas specimens.

Pentru identificare, epruvetele au fost codificate conform Tabelului 1.

For identification, the specimens were coded according to Table 1.

Tabelul 1/Table 1

Codificarea epruvetelor/Specimen codification

structura/ structure	din 2 lamele/ from 2 lamellas			din 3 lamele/ from 3 lamellas			din 4 lamele/ from 4 lamellas			din 5 lamele/ from 5 lamellas		
Molid/spruce	Mo2.1	Mo2.2	Mo2.3	Mo3.1	Mo3.2	Mo3.3	Mo4.1	Mo4.2	Mo4.3	Mo5.1	Mo5.2	Mo5.3
Pin/pine	Pi2.1	Pi2.2	Pi2.3	Pi3.1	Pi3.2	Pi3.3	Pi4.1	Pi4.2	Pi4.3	Pi5.1	Pi5.2	Pi5.3
Douglas /douglas	Du2.1.	Du2.2	Du2.3	Du3.1	Du3.2	Du3.3	Du4.1	Du4.2	Du4.3	Du5.1	Du5.2	Du5.3

Epruvetele s-au executat din material lemnos cu umiditatea de 12%.

Efectuarea testelor la solicitarea de încovoiere s-a realizat conform SR-EN 408/2004 (Fig. 2).

The specimens were made of wood with 12% moisture content.

The bending tests were carried out according to SR-EN 408/2004 (Fig. 2).

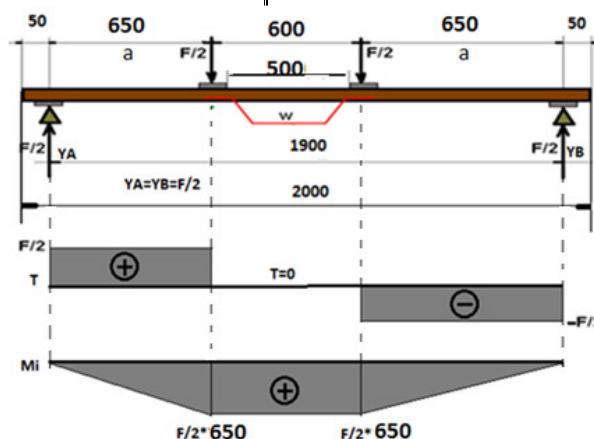


Fig. 2.

Schema de încărcare a epruvetelor / Loading system in bending.

Schema de încărcare are în vedere aplicarea a două forțe concentrate, amplasate simetric față de centrul și capetele epruvetei, epruveta având capetele rezemate liber pe reazeme și în dreptul forței se pun plăcuțe metalice cu dimensiunile de 50x50x5mm pentru a se evita strivirea locală. Forma reazemelor este prezentată în Fig. 3, având formă cilindrică pentru a nu influența deformarea epruvetei în timpul solicitării.

The loading scheme envisages the application of two concentrated forces, placed symmetrically towards the center and ends of the sample, the leaning specimen having free ends. Under the beam, in force direction, metal plates in size of 50x50x5mm were placed to avoid local crushing. The beam leaning is presented in Fig.3, having a cylindrical shape so as not to influence the deformation of the specimen during application.

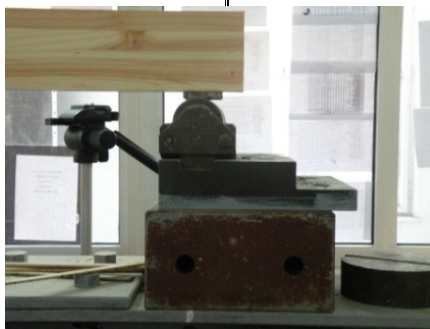


Fig. 3.

Modul de rezemare a grinzilor / Beam leaning.

Modul de efectuare a testului presupune || The working steps are the following:

parcursarea următorilor pași:

- se montează comparatoarele în trei puncte (Fig.4): la mijlocul epruvetei și sub punctele de acționare a forței;
- se încarcă epruveta cu o forță de 100N după care se reglează comparatoarele la 0;
- se citește mărimea deformației, din 1000N în 1000N;
- se consemnează în fișa de încercări a fiecărei epruvete.

Comparatoarele au precizia de măsurare de 0,1 mm (1 unitate de pe cadranul comparatorului = 0,1 mm).

- the comparators are mounted in three points (Fig. 4): in the middle of the specimen and below the force action points;
- the specimen is loaded with a force of 100N, after which the comparators are adjusted 0;
- reading the deformation, every 1000N;
- file record of the test results for every single specimen.

The comparators' accuracy is 0.1 mm (1 unit on the comparator device = 0.1 mm).



Fig. 4.

Poziția ceasurilor comparatoare / Positioning of the comparators.

Pentru comparare și determinarea coeficienților de corecție, rezistența și modulul de elasticitate la încovoiere statică au fost determinate în paralel și prin calcul (Curtu ș.a.1998) respectiv:

$$\sigma_{i \max} = \frac{F_{\max} \cdot a}{2W} [N / mm^2];$$

$$a = 650[mm] \quad (1)$$

$$W = \frac{bh^2}{6} [mm^3]$$

unde:

$\sigma_{i \max}$ este rezistența la încovoiere statică, N/mm²

a -brațul forței, mm;

$F_{\max}$ -forța de rupere, N;

W -modulul de rezistență al secțiunii, mm³.

Pentru calculul valorii medii a modulului de elasticitate E_m se folosește formula (SR-EN 408:2004):

$$E_m = \frac{al_1^2 (F_2 - F_1)}{16I (w_2 - w_1)} \quad (2)$$

unde:

l_1 -distanța între punctele de acțiune a forțelor, mm;

$I = bh^3/12$ - momentul de inerție al secțiunii, mm⁴ ;

$\Delta_F = F_2 - F_1$ - evoluția forței pe partea liniară a graficului de deformare;

In order to compare and establish correction coefficients, the bending strength and MOE were also determined theoretically, based on the following calculation relations (Curtu et al. 1998): respectively:

$$\sigma_{i \max} = \frac{F_{\max} \cdot a}{2W} [N / mm^2];$$

$$a = 650[mm] \quad (1)$$

$$W = \frac{bh^2}{6} [mm^3]$$

where:

$\sigma_{i \max}$ is the bending strength, N/mm²;

a - arm of force, mm;

$F_{\max}$ - breaking force, N;

W - strength modulus of section, mm³ ;

To calculate the average modulus of elasticity E_m , the following formula (SR-EN 408:2004) is used:

$$E_m = \frac{al_1^2 (F_2 - F_1)}{16I (w_2 - w_1)} \quad (2)$$

where:

l_1 - distance between forces, mm;

$I = bh^3/12$ - inertia moment of section, mm⁴ ;

$\Delta_F = F_2 - F_1$ - evolution of the force in the linear area of the deformation graph;

$\Delta_w = w_2 - w_1$ - deformation connected to the field

$\Delta_w = w_2 - w_1$ - deformația corespunzătoare $F_2 - F_1$.

REZULTATE

Valorile citite s-au înregistrat pentru fiecare epruvetă în tabele distincte iar valorile rezultate s-au înregistrat într-un tabel final de forma celui prezentat în Tabelul 2 pentru molid, Tabelul 3 pentru pin și Tabelul 4 pentru duglas.

$F_2 - F_1$.

RESULTS

The read values were recorded for each specimen in separate tables and the resulting values were summarized in a final table as presented in Table 2 for spruce, Table 3 for pine and Table 4 for Douglas fir.

Tabelul 2/ Table 2

**Valorile medii pentru forța de rupere și deformație la molid /
Average values for the breaking force and deformation for spruce**

Epruveta/ specimen	Forța de rupere/ Breaking force	Deformație maximală/maximum deformation	Deformația la F=5000 N/ Deformation at F=5000 N
	[N]	[mm]	[mm]
MO 2.1	11350	33.2	17.5
MO 2.2	12100	30.9	16.2
MO 2.3	11250	34.4	16.5
Media /Average	11567	32.8	16.7
MO 3.1	13100	45.9	16.2
MO 3.2	12250	32.8	15.1
MO 3.3	12400	36.8	14.7
Media /Average	12583	38.5	15.3
MO 4.1	12150	47.5	16.1
MO 4.2	13450	45.1	15.2
MO 4.3	13600	44.3	12.9
Media /Average	13067	45.6	14.7
MO 5.1	15250	45.6	16.8
MO 5.2	13100	40.5	12.8
MO 5.3	14250	39.8	13.6
Media /Average	14200	42.0	14.4

Tabelul 3 / Table 3

**Valorile medii pentru forța de rupere și deformație la pin /
Average values for the breaking force and deformation for pine**

Epruveta/ specimen	Forța de rupere/ Breaking force	Deformație maximală/maximum deformation	Deformația la F=5000 N/ Deformation at F=5000 N
	[N]	[mm]	[mm]
Pi 2.1	6100	25.8	20.1
Pi 2.2	7200	28.5	20.9
Pi 2.3	6050	27.1	20.5
Media /Average	6450	40.7	20.5
Pi 3.1	6550	34.1	19.9
Pi 3.2	7900	34.9	22
Pi 3.3	5850	21.5	20.3
Media /Average	6767	30.2	20.7
Pi 4.1	7800	34.9	20.6
Pi 4.2	7950	36.8	20.5
Pi 4.3	7400	35.9	20.3
Media /Average	7717	35.9	20.5
Pi 5.1	10250	40.9	13.5
Pi 5.2	10050	44.8	18.2
Pi 5.3	10350	83.5	20.1
Media /Average	10217	56.4	17.3

Tabelul 4 / Table 4

Valorile medii pentru forța de rupere și deformație la duglas /
Average values for the breaking force and deformation for Douglas fir

Epruveta/ specimen	Forța de rupere/ Breaking force	Deformație maximală/maximum deformation	Deformație la F=5000 N/ Deformation to F=5000 N
	[N]	[mm]	[mm]
DU 2.1	9300	29.9	17.6
DU 2.2	9450	45	15.8
DU 2.3	10300	39.5	13
Media /Average	9683	38.1	15.5
DU 3.1	11150	48.2	14
DU 3.2	9450	32.5	11.6
DU 3.3	9250	43.2	19.8
Media /Average	9950	41.3	15.1
DU 4.1	10850	76.2	15.3
DU 4.2	9650	32.8	14.4
DU 4.3	9650	29.9	14.1
Media /Average	10050	46.3	14.6
DU 5.1	11650	38.0	10.5
DU 5.2	9850	36.5	12.0
DU 5.3	9600	33.2	13.4
Media /Average	10367	35.9	12.0

În graficul din Fig. 5 se prezintă variația forței de rupere în funcție de numărul de lamele și specia lemnoasă folosită. Se poate vedea o creștere a forței de rupere odată cu creșterea numărului de lamele, creștere datorată omogenizării structurii, prin distribuirea concentratorilor de tensiune (diferite defecte ale lemnului).

Analizând evoluția forței de rupere pe specii, se constată că la molid evoluția forței de rupere este constantă și crește exponențial de la 11567N la structura cu 2 lamele, la 14200N la cea cu 5 lamele, adică cu 22,7%.

La pin, creșterea este nesemnificativă de la structura cu 2 lamele la cea cu 3 lamele, dar devine semnificativă începând de la structura cu 4 lamele, la cea cu 5 lamele fiind cu 58% mai mare decât la cea cu 2 lamele.

La duglas se constată o creștere doar foarte lină a forței odată cu creșterea numărului de lamele, de la 9683N la structura cu 2 lamele la 10367N la cea cu 5 lamele, aceasta fiind cu doar 7% mai mare.

The graph in Fig. 5 presents the variation of the breaking force with the number of lamellas and wood species used. The increase of the breaking force with increasing number of lamellas can be seen, due to the increasing homogenization of the structure through the distribution of stress concentrators (various defects in the wood).

By analyzing the evolution of the breaking force, for spruce, it could be established that this increases exponentially from the structure with two lamellas 11567N, to 14200N for the 5 lamellas structure, which means a increase by 22.7%.

With pine, the growth is quite insignificant for the structure with two and three lamellas, but it becomes significant starting with the structure with 4 lamellas. For the one with 5 lamellas, the breaking force was by 58% than for the 2 lamellas structure.

With Douglas fir, there is a smooth increasing tendency with increasing number of lamellas, from 9683N for the 2 lamellas structure, to 10367N for the 5 lamellas structure, this being only by 7% higher.

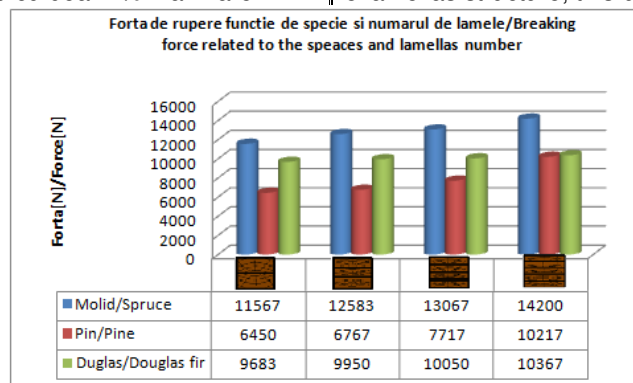


Fig. 5.

Variația forței de rupere în funcție de numărul de lamele și de specie / Evolution of breaking force related to the species and number of lamellas.

În Fig. 6 se prezintă graficul de variație al deformației la încărcarea cu 5000N, în funcție de numărul de lamele și de specie. Se observă că, în general, deformația scade odată cu creșterea numărului de lamele.

La molid această scădere este constantă, de la 16,7mm la 14,4mm.

La pin se constată că deformația este mai mare decât la celelalte specii, fiind aproape la fel la structurile cu 2, 3 și 4 lamele, urmând ca la cea cu 5 lamele să se rigidizeze.

Dintre cele trei specii se observă ca duglasul este cel mai rigid, având o scădere a deformației de la 15,5mm la structura cu 2 lamele la 12mm la structura cu 5 lamele, ceea ce înseamnă că structura cu 2 lamele este cu 29% mai rigidă decât cea cu 5 lamele.

Fig. 6 presents the variation of the deformation under a 5000N load, depending on the number of lamellas and species. It was noted that, generally, the deformation decreases with increasing number of lamellas.

In spruce, the decrease is constant from 16.7mm to 14.4 mm.

With pine it was found that the strain is greater than for the other species, being almost the same for the structures with 2, 3 and 4 lamellas, while the structure with 5 lamellas is more stabile.

Out of the three species, Douglas fir is the most rigid, with a decrease in deformation from 15.5mm of the structure with two lamellas to 12mm for the structure with 5 lamellas, which means that the 2 lamellas structure is by 29% stiffer than the one with 5 lamellas.

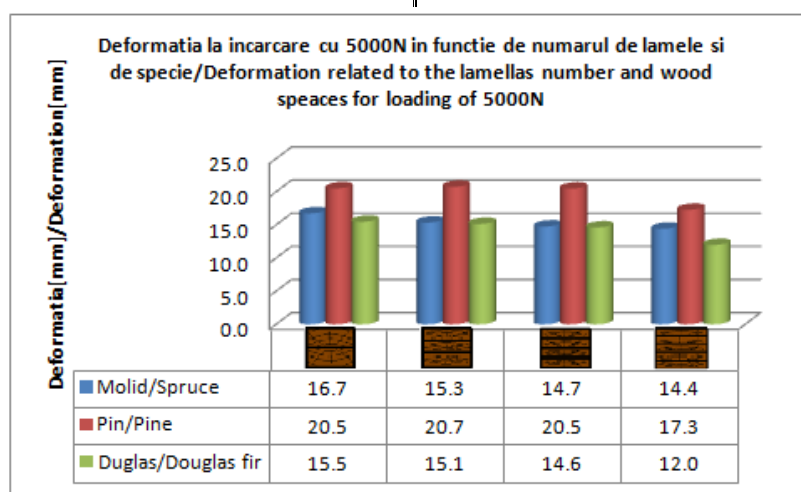


Fig. 6.

Valorile deformației la încărcarea cu 5000N, în funcție de numărul de lamele și specie / Deformation values at a 5000N load, related to number of lamellas and species.

Rezultatele teoretice, calculate cu relațiile (1) și (2), sunt prezentate în Tabelul 5.

În graficul din Fig. 7 se prezintă evoluția rezistenței la încovoiere statică în funcție de numărul de lamele și specia lemnoasă. Evoluția rezistenței este aceeași ca și a forței de rupere, respectiv crește odată cu creșterea numărului de lamele.

Graficul din Fig. 8 reprezintă evoluția modului de elasticitate mediu (E_m) în funcție de numărul de lamele și specia lemnoasă.

În urma comparării rezultatelor obținute prin calcul teoretic cu cele obținute experimental pentru rezistența la încovoiere statică și modulul de elasticitate mediu, s-au stabilit coeficienții de corecție prezentați în Tabelul 6.

The calculation results obtained with relations (1) and (2) are presented in Table 5.

Fig. 7 presents the evolution of the bending strength according to the number of lamellas and wood species. The evolution is the same as the evolution of the breaking force, respectively it increases with the number of lamellas.

The graph in Fig. 8 represents the evolution of the average modulus of elasticity (E_m) as function of the number of lamellas and wood species.

Based on the comparison between the results obtained by theoretical calculation to those obtained experimentally for the bending strength and elasticity modulus, corrections coefficients were established, as given in Table 6.

Tabelul 5/Table 5

Rezultatele calculului rezistenței la încovoiere statică și a modulului de elasticitate mediu/Results of the bending strength and elasticity modulus

Epruveta/ Specimen	σ_i	E_m
	[N/mm ²]	[N/mm ²]
media/ average MO2	41.6	11179
media/ average MO3	45.3	12671
media/ average MO4	47.0	13039
media/ average MO5	51.1	15376
media/ average Pi2	23.2	11096
media/ average Pi3	24.4	11815
media/ average Pi4	27.8	12138
media/ average Pi5	36.8	13778
media/ average Du2	34.9	10762
media/ average Du3	35.8	12794
media/ average Du4	36.2	13507
media/ average Du5	37.3	14217

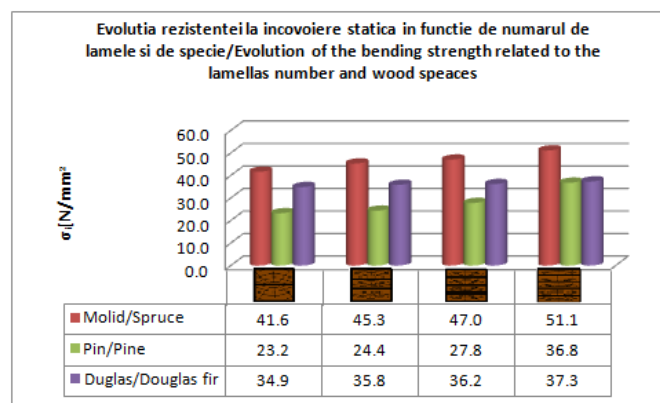


Fig. 7.

Evoluția rezistenței la încovoiere statică în funcție de numărul de lamele și specie / Evolution of the bending strength depending on the number of lamellas.

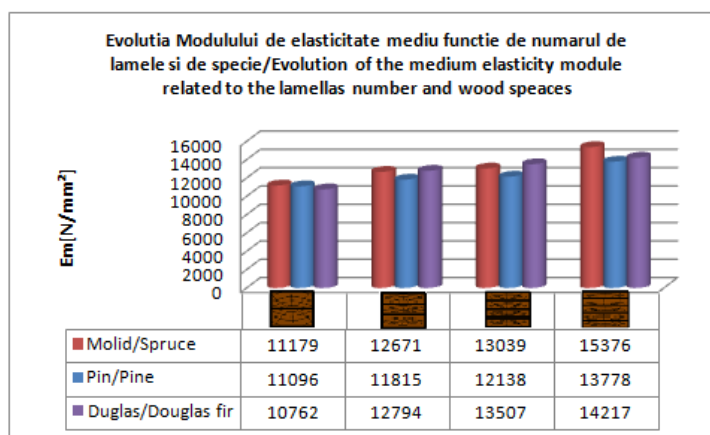


Fig. 8.

Evoluția modulului de elasticitate mediu în funcție de numărul de lamele și de specia lemnosă/ Evolution of MOE depending on the number of lamellas.

Tabelul 6/Table 6

**Coeficienți de corecție în funcție de numărul de lamele și specie /
Correction coefficients according to lamellas number and wood type**

Nr Crt.	Specia	Structura	σ_i 12%	σ_i 12%	coeficient		Em 12%	Em 12%	coeficient	
			teoretic	experimental	de		teoretic	experimental	de	
			[N/mm ²]	[N/mm ²]	corectie		[N/mm ²]	[N/mm ²]	corectie	
1	Molid	2 lamele	63	41.6	C1	1.51	10494	11179	C1'	0.94
		3 lamele	63	45.3	C2	1.39	10494	12671	C2'	0.83
		4 lamele	63	47	C3	1.34	10494	13039	C3'	0.80
		5 lamele	63	51.1	C4	1.23	10494	15376	C4'	0.68
4	Pin	2 lamele	71.4	23.22	C5	3.07	16960	11096	C5'	1.53
		3 lamele	71.4	24.2	C6	2.95	16960	11815	C6'	1.44
		4 lamele	71.4	27.8	C7	2.57	16960	12138	C7'	1.40
		5 lamele	71.4	36.8	C8	1.94	16960	13778	C8'	1.23
6	Duglas	2 lamele	71.4	34.9	C9	2.05	17278	10762	C9'	1.61
		3 lamele	71.4	35.8	C10	1.99	17278	12794	C10'	1.35
		4 lamele	71.4	36.2	C11	1.97	17278	13507	C11'	1.28
		5 lamele	71.4	37.3	C12	1.91	17278	14217	C12'	1.22

În Tabelul 6:

$\sigma_{i12\%}$ este rezistența la încovoiere statică, corespunzătoare umidității de 12%, care se calculează cu formula (Curtu ș.a. 1984):

$$\sigma_{i12} = \sigma_{i8} [1 + c(8-12)]; c = 0.04 \quad (3)$$

$$\sigma_{i12} = \sigma_{i8} \cdot 0.84$$

$E_{m12\%}$ reprezintă modulul de elasticitate la încovoiere statică, corespunzător umidității de 12% și se calculează cu formula:

$$E_{U2} = E_{U1} [1 + c(U_1 - U_2)]; c = 0.02 \quad (4)$$

$$E_{U12} = E_{U15} \cdot 1.06$$

Referințele se fac la $U=15\%$ (Filipovici 1965).

În Tabelul 7 sunt prezentate costurile de fabricație pentru structurile studiate precum și raportul cost/rezistență. Costurile sunt orientative, acestea depinzând de costurile societăților și a materiei prime la un moment dat, însă diferența între structuri rămâne aceeași. Se poate vedea că deși costurile comparative între grinzile din 2 lamele și grinzile din 5 lamele sunt cu 42% mai mari la molid, cu 36% la duglas și cu 46% la pin, raportul cost/rezistență este doar cu 16% mai mare la molid, 28% la duglas iar la pin cu 7% mai mic.

In Table 6:

$\sigma_{i12\%}$ is the bending strength at 12% moisture content, calculated using the formula (Curtu et al. 1984):

$$\sigma_{i12} = \sigma_{i8} [1 + c(8-12)]; c = 0.04 \quad (3)$$

$$\sigma_{i12} = \sigma_{i8} \cdot 0.84$$

$E_{m12\%}$ represents the bending elasticity modulus corresponding to 12% moisture content and is calculated using the formula:

$$E_{U2} = E_{U1} [1 + c(U_1 - U_2)]; c = 0.02 \quad (4)$$

$$E_{U12} = E_{U15} \cdot 1.06$$

References are to $U = 15\%$ (Filipovici 1965).

Table 7 presents the manufacturing costs for the studied structures and the costs/strength ratio. The costs are only for example, as they depend on the cost of different companies, and on the raw materials costs at a time, but the difference between the different structures remains the same. The comparative costs between beams made of 2 lamellas and beams made of 5 lamellas is 42% higher for spruce, 36% higher for Douglas fir and 46% higher for pine. The cost / strength ratio is by only 16% higher for spruce, 28% higher for Douglas fir and 7% lower for pine.

Tabelul 7/Table 7

**Tabel comparativ privind costurile de fabricație și raportul cost rezistență/
Comparison regarding the production costs and the costs/strength ratio**

Special Species	Numarul de lamele/Lamellas number											
	2 lamele/2lamellas			3lamele/3lamellas			4lamele/4lamellas			5lamele/5lamellas		
	Cost[Ron/buc] Costs[Ron/pcs]	σ_i [N/mm ²]	cost/ σ_i	Cost[Ron/buc] Costs[Ron/pcs]	σ_i [N/mm ²]	cost/ σ_i	Cost[Ron/buc] Costs[Ron/pcs]	σ_i [N/mm ²]	cost/ σ_i	Cost[Ron/buc] Costs[Ron/pcs]	σ_i [N/mm ²]	cost/ σ_i
Molid /Spruce	20.1	41.6	0.48	23.5	45.3	0.52	26.8	47.0	0.57	28.7	51.1	0.56
Duglas/Douglas	20.0	34.9	0.57	22.2	35.8	0.62	24.9	36.2	0.69	27.3	37.3	0.73
Pin /Pine	18.6	23.2	0.80	20.9	24.2	0.86	24.3	27.8	0.87	27.2	36.8	0.74

CONCLUZII

Analizând rezultatele experimentale obținute în urma încercărilor efectuate rezultă următoarele concluzii, pentru cazul grinzilor lamelare realizate din molid, pin și douglas:

- forța de rupere crește odată cu creșterea numărului de lamele;
- săgeata maximă la încercarea cu o forță de 5000N scade odată cu creșterea numărului de lamele, aceasta fiind dată de rigiditatea structurii prin creșterea numărului de straturi de adeziv;
- rezistența la rupere, la solicitarea de încovoiere crește odată cu creșterea numărului de lamele;
- modulul de elasticitate crește odată cu creșterea numărului de lamele, deci rigiditatea la încovoiere statică crește cu numărul de lamele.

Cele 3 specii studiate au comportament diferit în funcție de numărul de lamele, astfel: la molid și douglas odată cu creșterea numărului de lamele, creșterea rezistențelor este liniară, pe când la pin structura cu 4 lamele are un salt de 15% iar la structura cu 5 lamele față de cea cu 4 lamele, saltul este de 32%. Acest lucru se datorează probabil faptului că pinul are o structură mai neomogenă decât molidul și douglasul, iar prin creșterea numărului de straturi structura se omogenizează datorită creșterii numărului de straturi de adeziv.

Rezultatele obținute arată că utilizarea grinzilor lamelare poate aduce importante avantaje atât din punct de vedere al rezistenței la solicitarea de încovoiere, cât și din punct de vedere al deformațiilor, structurile cu mai multe lamele fiind mai rezistente și mai rigide, avantaje care compensează creșterea relativ mică a costului de fabricație.

Se recomandă ca la pin să nu se folosească decât structuri cu peste 4 lamele. De asemenea, se recomandă folosirea douglasului în construcțiile din lemn. Această recomandare are la bază ideea de a folosi specii repede crescătoare, la care deși raportul cost / rezistență este mai mic decât la molid, costurile de producție sunt mici.

CONCLUSIONS

Analyzing the experimental results obtained from the tests carried out, important conclusions for the case of laminated beams, can be drawn:

- the bending strength increases with increasing numbers of lamellas;
- the maximum deformation with a loading force of 5000N decreases with increasing number of lamellas, which is given by the rigidity of the structure by increasing the number of layers of adhesive;
- the breaking strength in bending increases with the number of lamellas;
- the modulus of elasticity increases with the number of lamellas, so the bending stiffness increases with the number of lamellas.

The 3 species studied have different behavior depending on the number of lamellas: with spruce and Douglas fir, the increasing number of lamellas determines a linear increase of the bending strength, while with pine. the structure with four lamellas records a jump of 15% compared to the structure with three, and the structure with 5 lamellas records a jump of 32% compared to the previous one. This is probably due to the fact that pine has a more heterogeneous structure than spruce and Douglas fir and by increasing the number of layers, the structure become more stabile due to the increasing number of adhesive layers.

The obtained results show that the use of glued laminated beams can provide important advantages both in terms of bending strength, and in terms of deformation, considering that the structures with multiple lamellas are stronger and more rigid. These advantages compensate for the relatively low increase of the production costs.

It is recommended to use pine only in structures with more than 4 lamellas. An other recommendation refers to Douglas fir, which should be used more in wooden constructions. This recommendation is based on the idea of using fast growing species, where although the cost / strength ratio is lower than for spruce, the production costs are low.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

CURTU, I.; GHELMEZIU, N. (1984). Mecanica lemnului și a materialelor pe bază de lemn (Mechanics of Wood and Wood-Based products). Editura Tehnica, București.

CURTU, I.; CRIȘAN, L.; BIT, S. (1998). Rezistența materialelor și teoria elasticității - curs și aplicații - partea a II-a (Material Strength and Theory of Elasticity – Lecture and Applications. Part II). Reprografia Universității Transilvania din Brașov.

CURTU, I.; ROSCA, C.; CRISAN, R. (1995). Memorator de rezistența materialelor (Vademecum of Material Stength). Reprografia Universității Transilvania din Brașov.

FILIPOVICI, J. (1965). Studiul lemnului, volumul II (Study of Wood. Vol. II). Editura didactică și pedagogică, București.

*** SR-EN 338:2004. Lemn pentru construcție. Clase de rezistență (Construction Wood. Strength Classes).

SR EN 384:2004. Lemn de construcție. Determinarea valorilor caracteristice ale proprietăților mecanice și ale masei volumice (Construction Wood. Determination of Mechanical Properties and Density Values).

*** SR EN 386:2004. Lemn lamelar încleiat. Caracteristici de performanță și condiții minime de fabricație (Glued laminated Wood. Performances and Minimum Manufacturing Conditions).

*** SR-EN 408:2004. Structuri de lemn. Lemn masiv și lemn lamelar încleiat. Determinarea anumitor proprietăți fizice și mecanice (Wooden Structures. Solid Wood and Glued Laminated Wood).