

ESTIMATION OF STRENGTH OF GLULAM BEAMS DEPENDING ON DEFECTS OF LAYERS

A. Baltrušaitis

To cite this article: A. Baltrušaitis (1999) ESTIMATION OF STRENGTH OF GLULAM BEAMS DEPENDING ON DEFECTS OF LAYERS, *Statyba*, 5:4, 245-249, DOI: [10.1080/13921525.1999.10531471](https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531471)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531471>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 77



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

MEDINIŲ KLIJUOTŲ LENKIAMŪJŲ ELEMENTŲ STIPRUMO VERTINIMAS PAGAL SLUOKSNIŲ DEFEKTUS

A. Baltrušaitis

1. Įvadas

Medinių konstrukcijų gamybai naudojama mediena turi įvairių ydų ir defektų, kurie labai sumažina elementų stiprumą. Tačiau ydų įtaka vientisiems ir daugiasluoksniams elementams pasireiškia nevienodai. Darbuose [1–4] parodyta, kad daugiasluoksniai elementai stipresni už vientisus. Būdinga, jog stiprumų skirtumas priklauso nuo ydų dydžio, t. y. nuo medienos kokybės: kuo prastesnė medienos kokybė, tuo didesnis šis skirtumas. Klijuojant kelis „grynos“, t. y. be ydų, medienos sluoksnius stiprumas nedidėja [5]. Tai leidžia manyti, kad klijuotų daugiasluoksnių medinių elementų stiprumas padidėja ne dėl klijuotinio sujungimo įtakos, o dėl medienos ydų išsi-
barstymo elemento tūryje ir dėl to padidėjusio medžiagos vienalytiškumo. Reikia pažymėti, kad išvardytų darbų išvados padarytos remiantis trumpalaikių bandymų rezultatais. Medienos ydų įtaka daugiasluoksnių lenkiamųjų elementų stiprumui veikiant ilgalaikėms apkrovoms, kiek žinoma autoriui, nebuvo tyrinėta.

Dabar galiojančiose projektavimo normose [6] nurodyta, kad II ir III rūšies medienos elementų skaičiuojamųjų stiprumų skirtumas yra 28,6%, o norminių stiprumų – 25,9%. Tačiau darbuose [1, 5] parodyta, kad daugiasluoksniams elementams šis skirtumas yra mažesnis. Tai dar kartą įrodo, kad gaminant elementus iš kelių sluoksnių, medienos ydų įtaka stiprumui mažėja.

Kadangi medinės konstrukcijos vis plačiau naudojamos, yra svarbu išnagrinėti dažniausiai sutinkamų medienos ydų (šakų) įtaką daugiasluoksnių lenkiamųjų elementų stiprumui, veikiant trumpalaikėms ir ilgalaikėms apkrovoms.

2. Daugiasluoksnių lenkiamųjų elementų stiprumo priklausomybės nuo medienos ydų (šakų) teorinis įvertinimas

Klijuotų medinių konstrukcijų lenkiamųjų elementų stiprumas labai priklauso nuo ydų dydžio ir jų sutapimo

gretimuose tempiamos zonos sluoksniuose. Šakų sutapimo tikimybė viename klijuoto elemento skerspjūvyje išnagrinėta darbe [7]. Nustačius, kad spygliuočių medienos pjaustiniuose vidutinis atstumas tarp šakų yra 360,0 mm, dviejų šakų sutapimo tikimybė daugiasluoksnių elementų skerspjūvyje išreiškiama formule:

$$P(A) = d / m(2 - d / m), \quad (1)$$

d – šakos skersmuo, m – atstumas tarp šakų.

Tikimybė, kad šakos sutaps visuose daugiasluoksnių elemento sluoksniuose, išreiškiama formule:

$$P_n = P^{n-1}(A), \quad (2)$$

n – sluoksnių skaičius elemente.

Šiame straipsnyje, taikant [7] darbe pateiktas formules, bandoma skaitine reikšme įvertinti šakų įtaką daugiasluoksnių lenkiamųjų elementų stiprumui.

Žinoma, kad lenkiamųjų daugiasluoksnių elementų laikančiąją galią lemia labiausiai įtemptos tempiamos zonos dalies, sudarančios apie 15,0% viso elemento aukščio, stiprumas [6]. Šią skerspjūvio dalį galima pavadinti efektyvia zona. Šakos, esančios likusioje lenkiamojimo elemento skerspjūvio dalyje, neturi didelės įtakos elemento laikančiąjai galiai, kai irimas įvyksta dėl normalinių įtempimų veikimo. Todėl toliau nagrinėjama šakų sutapimo tikimybė efektyvioje zonoje priklausomai nuo elementą sudarančių sluoksnių skaičiaus (n).

Sluoksnių skaičius efektyvioje zonoje yra:

$$n_{0,2} = 0,2 \times n. \quad (3)$$

Šakų sutapimo tikimybę visuose efektyvios zonos sluoksniuose galima išreikšti formule:

$$P_{n0,2} = P^{0,2n-1}(A). \quad (4)$$

Nustatant lenkiamųjų elementų stiprumą reikia nagrinėti silpniausią vietą, t. y. skerspjūvį su maksimalaus leistino dydžio šaka išoriniame sluoksnyje. Šakų matmenys likusiuose efektyvios zonos sluoksniuose prilyginami

šakos matmens ir sutapimo tikimybės $n_{0,2}$ sluoksniuose sandaugai:

$$D_{n_{0,2}} = d \times P^{0,2n-1}(A). \quad (5)$$

Nustatant šakos įtaką lenkiamųjų daugiasluoksnių elementų stiprumui, jų skerspjūvį siūloma mažinti dydžiu, lygiu santykiniam atskirų sluoksnių stiprumo sumažėjimui. Darbe [8], išbandžius didelį pjaustinių skaičių, parodyta, kad šaka, esanti elemente, jo stiprumą sumažina tokiu dydžiu:

- 5/3 santykinio šakos matmens, kai ji yra pjaustinio šone prie krašto;
- 1,0 santykinio šakos matmens, kai šaka yra pjaustinio šono viduryje.

Atsitiktinai parenkant sluoksnius, yra vienoda tikimybė, kad sluoksnis su šaka bus pjaustinio viduryje ir kad jis bus krašte, todėl laikoma, kad sluoksnyje esanti šaka jo stiprumą sumažina $(5/3+1,0)/2=1,33$ šakos matmens.

Šakų įtaką daugiasluoksnių elementų stiprumui galima nustatyti skaičiuojant juos pagal redukuotą skerspjūvį, parodytą 1 pav.

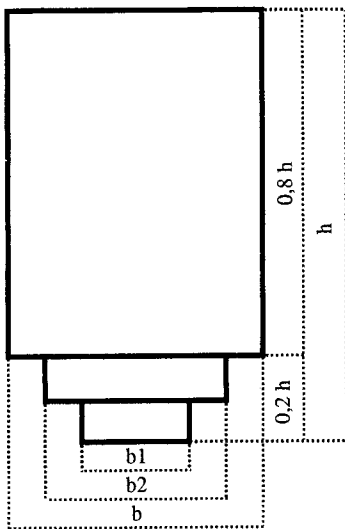
Čia b ir h – elemento plotis ir aukštis; b_1 – išorinio tempiamo sluoksnio plotis, kuris apskaičiuojamas:

$$b_1 = b - 1,33d; \quad (6)$$

b_2 – gretimo sluoksnio plotis, kuris apskaičiuojamas:

$$b_2 = b - d_1 \times P^{0,2-1}(A), \quad (7)$$

tikimybė $P(A)$ nustatoma laikant, kad $d_1 = 1,33d$.



1 pav. Lenkiamojo elemento redukuotas skerspjūvis

Fig 1. Reduced cross-section of bending member where b and h – the width and height of member; b_1 – the width of outer tension layer; b_2 – the width of adjacent layer

1 lentelė. Koeficientai, pagal kuriuos vertinama šakų įtaka daugiasluoksnių lenkiamųjų elementų stiprumui

Table 1. Factors estimating the influence of knots on the strength of multilayered bending members

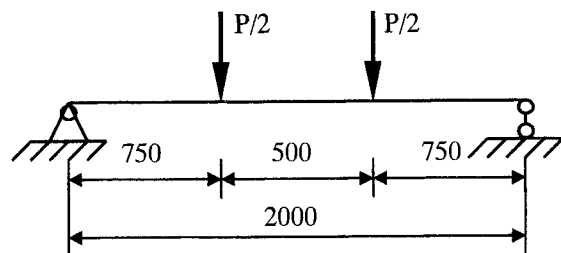
Medienos rūšis	Santykiniškas šakos matmuo	Koeficientų reikšmės sluoksnių skaičiui				
		4	5	8	15	26
II	1/3b	0,716	0,745	0,804	0,886	0,941
III	1/2b	0,568	0,623	0,689	0,805	0,905

Taigi daugiasluoksnių elementų, turinčių šakas, stiprumas išreiškiamas sandauga „grynos“ medienos elementų stiprumo ir koeficiento, lygaus tokių elementų skerspjūvių atsparumo momentų santykiui.

Pagal šią metodiką buvo apskaičiuoti koeficientai, taikomi įvertinant šakų įtaką daugiasluoksnių elementų, pagamintų iš II ir III rūšies medienos, stiprumui. Skaičiuojant buvo keičiamas sluoksnių skaičius, išlaikant tą patį elemento aukštį ir plotį, kitaip sakant, buvo keičiamas tik sluoksnių storis. Skaičiavimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

3. Trumpalaikio stiprumo tyrimo rezultatai ir jų analizė

Siekiant eksperimentiškai patikrinti pateiktus skaičiavimus, buvo bandomos modelinės sijos, kurių matmenys: 2140×120×152(h) mm. Jos buvo pagamintos iš 19 mm storio spygliuočių (pušies ir eglės) medienos sluoksnių. Kiekvieną siją sudarė 8 sluoksniai, o efektyvioje zonoje buvo 2 sluoksniai. Pirmojo tipo sijos (S-1) buvo pagamintos iš skirtingos kokybės medienos sluoksnių: po du išorinius sluoksnius buvo iš II rūšies (pagal [9]) medienos, o keturi vidiniai – iš III rūšies medienos. Antrojo tipo (S-2) sijų visi sluoksniai buvo pagaminti iš III rūšies medienos. Sijas apkrovus taip, kaip parodyta schemoje (2 pav.), jos suyra nuo normalinių įtempimų.



2 pav. Modelinių sijų apkrovimo schema

Fig 2. The loading scheme of model beams

Trumpalaikiai bandymai buvo vykdomi hidrauliniu presu. Apkrova didinama iš lėto, pakopomis po 5 kN, tai sudarė apie 10% ardančiosios apkrovos. Kiekvienos pakopos didžiausia apkrova buvo gauta per 30 s ir laikoma tokia 4 min 30 s. Apkrovos išlaikymo metu buvo matuojamos sijų deformacijos angos viduryje ir atraminiuose pjūviuose. Sijos buvo bandomos iki suirimo, nustatant ardančiosios apkrovos dydį, jos veikimo laiką ir visą bandymo trukmę. Pagal šiuos duomenis, kaip rekomenduojama [10], pagal formulę buvo apskaičiuotas laikas iki suirimo:

$$t = 0,02 - t_1^1 + t_2, \quad (8)$$

čia t_1^1 – bandymo trukmė iki pasiekiant ardančiąją apkrovą; t_2 – ardančiosios apkrovos veikimo trukmė.

Bandymų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Modelinių sijų trumpalaikių bandymų rezultatai

Table 2. The data of short-term tests of model beams

Sijos tipas	Ardančioji apkrova P_{ard} , kN	Stiprumo riba σ , MPa	Redukuotas laikas iki suirimo t , s	lg t, s	Statistiniai stiprumo rodikliai
S-1-1	60,0	48,7	107,6	2,03	$S_{n-1}=9,15$ MPa, $V=18\%$
S-1-2	48,3	39,0	54,6	1,74	
S-1-3	55,0	44,5	60,6	1,78	
S-1-4	80,0	64,5	107,6	2,08	
S-1-5	70,0	57,6	216,6	2,33	
S-1-6	60,0	50,0	270,6	2,43	
Vi-durkis		50,7			
S-2-1	51,5	41,7	60,2	1,78	$S_{n-1}=8,01$ MPa, $V=18\%$
S-2-2	60,0	50,0	93,6	1,97	
S-2-3	65,0	52,7	75,6	1,88	
S-2-4	37,5	30,7	48,4	1,68	
S-2-5	59,0	47,9	104,6	2,02	
S-2-6	50,0	40,7	60,7	1,78	
Vi-durkis		43,9			

2 lentelės duomenys rodo, kad sijų S-2, pagamintų iš III rūšies medienos, vidutinė stiprumo riba yra apie 19% mažesnė už sijų S-1 stiprumo ribą. Tuomet šis skirtumas turėtų būti 14,3%. Matome, kad teoriniai ir eksperimentiniai duomenys yra artimi. Reikia paminėti, kad sijų S-2 vidutinė ir minimali stiprumo riba yra didesnė už II rūšies medienos pjaustinių trumpalaikę ir norminę stiprumo ribą, pateiktą projektavimo normose [6]. Tai rodo, kad

kljuotas elementas iš aštuonių III rūšies medienos sluoksnių pasiekia II rūšies pjaustinių stiprumo rodiklius.

4. Ilgalaikio stiprumo tyrimas ir rezultatų analizė

Medinių kljuotų konstrukcijų būklei prognozuoti eksploataavimo metu labai svarbūs duomenys apie jų ilgalaikį stiprumą. Ypač charakteringi bandymai kintamomis temperatūrinėmis drėgmės sąlygomis, imituojančiomis natūralias sąlygas. Tokie bandymai išryškina šakų, sukeliančių įtempimų koncentraciją, įtaką sijų stiprumui. Todėl buvo išbandytos dvi bandinių serijos – jie buvo veikiami ilgalaikę apkrova kintant temperatūrai ir drėgmei. Kiekvieną seriją sudarė po 12 bandinių: 6 – S-1 tipo ir 6 S-2 tipo. Ilgalaikę apkrova pirmosios serijos bandiniams sudarė 40% trumpalaikės ardančiosios apkrovos kiekvienam sijų tipui ir sukėlė normalinius įtempimus sijoms S-1 – 20,3 MPa, sijoms S-2 – 17,6 MPa. Visiems antrosios serijos bandiniams apkrova buvo vienoda – ji sukėlė normalinius įtempimus $\sigma=18,2$ MPa.

Apkrovimo schema atitiko parodytą 2 pav. Ilgalaikių bandymų metu visos sijos buvo cikliška drėkinamos ir džiovinamos esant tokiems aplinkos parametrams:

- drėkinimas trukdavo 14 parų, kai santykinis oro drėgnumas buvo $\phi=95 \dots 100\%$ ir temperatūra $t=25 \dots 28^\circ\text{C}$;
- džiovinimas trukdavo 7 paras, kai $\phi=10 \dots 15\%$, $t=45 \dots 48^\circ\text{C}$.

Dėl šių poveikių modelinių sijų mediena 20 mm storio paviršiniame sluoksnyje kito nuo 20...22% iki 6...8%, o likusioje skerspjūvio dalyje jos drėgnumas svyravo tarp 9 ir 13%. Pirmosios serijos bandiniai buvo eksponuojami 147 paras, o antrosios – 210 parų. Bandymų metu buvo matuojami įlinkiai ir fiksuojamas laikas iki suirimo. Po du bandinius iš kiekvienos serijos, kurie nesuiro veikiant ilgalaikę apkrova, buvo išbandyti pagal trumpalaikių bandymų metodiką.

Bandymų rezultatai pateikti 3 lentelėje ir grafiškai pavaizduoti 3 pav.

Šiame grafike ordinačių ašyje atidėti normaliniai įtempimai, o absčių – laiko iki suirimo logaritmas (s). Iš eksperimentinių duomenų buvo nustatytos tiesinės priklausomybės tarp veikiančių įtempimų σ ir laiko iki suirimo (t) logaritmo:

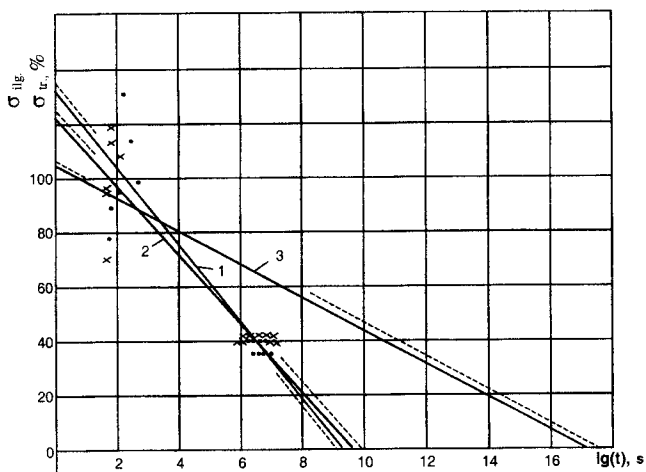
$$\text{sijoms S-1: } \sigma = -6,451gt + 63,60, \quad (9)$$

$$\text{sijoms S-2: } \sigma = -4,631gt + 49,03. \quad (10)$$

3 lentelė. Ilgalaikių bandymų rezultatai, kintant temperatūrai ir drėgmei

Table 3. The data of long-term tests in changing temperature and moisture

Bandinių serija	Bandinių tipas ir Nr.	Ilgalaikiai bandymai			Trumpalaikiai bandymai	
		Veikiantys įtempimai σ , MPa	Apkrovos veikimo trukmė t, paromis	Lg t, s	Stiprumo riba σ , MPa	Lg t, s
I	S-1-1	20,3	61	6,72	-	-
	S-1-2	20,3	84	6,86	-	-
	S-1-3	20,3	32	6,44	-	-
	S-1-4	20,3	52	6,65	-	-
	S-1-5	20,3	147	7,10	44,3	1,79
	S-1-6	20,3	42	6,56	-	-
	S-2-1	17,6	16	6,14	-	-
	S-2-2	17,6	84	6,86	-	-
	S-2-3	17,6	147	7,10	32,5	1,96
	S-2-4	17,6	79	6,83	-	-
	S-2-5	17,6	22	6,28	-	-
	S-2-6	17,6	107	6,97	-	-
II	S-1-7	18,2	210	7,26	33,0	2,49
	S-1-8	18,2	60	6,71	-	-
	S-1-9	18,2	78	6,83	-	-
	S-1-10	18,2	60	6,71	-	-
	S-1-11	18,2	210	7,26	41,3	1,74
	S-1-12	18,2	115	7,00	-	-
	S-2-7	18,2	42	6,56	-	-
	S-2-8	18,2	21	6,26	-	-
	S-2-9	18,2	94	6,91	-	-
	S-2-10	18,2	91	6,90	-	-
	S-2-11	18,2	34	6,47	-	-
	S-2-12	18,2	54	6,67	-	-



3 pav. Ilgalaikio stiprumo kitimas logaritminėje laiko skalėje: 1 – bandiniams S-1; 2 – bandiniams S-2; 3 – medienai pastoviomis sąlygomis. • – S-1 duomenys, x – S-2 duomenys

Fig 3 The change of long-term strength in logarithmic time scale: 1 – for specimens S-1; 2 – for specimens S-2; 3 – for timber under constant conditions. • – data of specimens S-1, x – data of specimens S-2

Šiomis lygtimis aprašomas medinių elementų stiprumo kitimas veikiant ilgalaikiai nekintančiai apkrovai kintamomis klimatinėmis sąlygomis. Skaičiuojant imti ir rezultatai tų bandinių, kurie ilgalaikių bandymų metu nesuiro. Šiuo atveju apkrovos veikimo laikas prilygintas ilgalaikių bandymų trukmei. Galima prognozuoti, kad šių bandinių realus laikas iki suirimo logaritminėje skalėje labiau nepakeistų tiesių 1 ir 2 padėties, kadangi šių sijų trumpalaikiais bandymais gautas didelis stiprumo sumažėjimas – visais atvejais stiprumo rodikliai buvo daug mažesni už pradinę vidutinę stiprumo ribą.

Iš 1 ir 2 tiesių matyti, kad skirtingos kokybės daugiasluoksnių klijuotų sijų stiprumo santykinis skirtumas tuo mažesnis, kuo ilgiau veikia apkrova. Ši išvada sutampa su darbų [11, 12] rezultatais, gautais tiriant vientisos medienos elementų ilgalaikį stiprumą. Šį reiškinį galima paaiškinti ilgalaikiais relaksaciniais procesais, kurių įtaka didėja, kai mediena yra blogesnės kokybės, t. y. kai šakos yra didesnių matmenų. Veikiant trumpalaikėms apkrovoms, medienos ydų zonoje galimà di-

delė įtempimų koncentracija, kuri labai sumažina elementų stiprumą. Veikiant ilgalaikėms apkrovoms, vyksta relaksaciniai procesai, kurie sumažina maksimalias įtempimų reikšmes (koncentraciją), kartu santykinai didina elemento stiprumą. Natūralu, kad elementuose iš prastos kokybės medienos relaksacinių procesų įtaka didesnė, palyginti su elementais, pagamintais iš aukštesnės kokybės medienos. Tuo galima paaiškinti ilgalaikio stiprumo priklausomybę nuo medienos kokybės.

5. Išvados

- Pasiūlyta metodika, leidžianti kiekybiškai įvertinti medienos ydų įtaką daugiasluoksnių klijuotų lenkiamųjų elementų stiprumui.
- Gautos lygtys, aprašančios klijuotos medienos stiprumo kitimą, veikiant nekintančiai apkrovai kintamomis klimatinėmis sąlygomis.
- Nustatyta medinių daugiasluoksnių elementų ilgalaikio stiprumo priklausomybė nuo defektų dydžio.

Literatūra

1. А. Б. Губенко. Изготовление клееных деревянных конструкций и деталей. М-Л.: Гослесбумиздат, 1957. 348 с.
2. J. Peterson, B. Madsen, R. C. Moody. Tensile strength of one-, two-, three-lay glulam members of 2 by 6 Douglas fir // F. P. J., 1981, V. 31, No 1, p. 42–48.
3. J. Peterson, D. Norziska. The tensile strength of laminated members // F. P. J., 1973, V. 23, No 11, p. 50–51.
4. J. L. Sandoz. Glued laminated timber: reliable and high performance // Proceedings of fifth Word Conference on Timber Engineering. Montreux, 1998, V. I, p. 549–556.
5. В. В. Быков. Прочность и деформативность балок из древесины сибирской лиственницы // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1979, No 4, с. 20–23.
6. СНиП П-25-80. Деревянные конструкции / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982. 66 с.
7. В. С. Ясинский. К вопросу определения вероятности совпадения сучков в многослойных клееных несущих конструкциях // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Вып. 3. Межвуз. сб. науч. тр. Л.: РНОЛТА, 1974, с. 7–10.
8. Е. Н. Савков. Прочность пиломатериалов. М.: Гослесбумиздат, 1962. 87 с.
9. ГОСТ 8486-66*. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. М.: Изд-во стандартов. 1968. 17 с.
10. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций. М., 1976. 28 с.
11. B. Madsen. Duration of load tests for dry lumber in bending // F. P. J., 1973, V. 23, No 2, p. 21–28.
12. B. Madsen. Structural behavior of timber. Timber Engineering ltd. Canada. 1992. 405 p.

Įteikta 1999 05 24

ESTIMATION OF STRENGTH OF GLULAM BEAMS DEPENDING ON DEFECTS OF LAYERS

A. Baltrušaitis

S u m m a r y

Timber, as structural material, has various defects, especially knots. They influence the strength of timber members. The influence of knots is lower for glulam members when comparing with solid wood. The article is the theoretical and experimental investigation of influence of knots on the strength of glulam beams. Theoretical investigation deals with probability of coinciding of knots in the same cross-section of member. The factors of influence of knots on glulam beam strength are the results of theoretical investigations.

The short-term tests on 12 model beams with measurements 2140x120x152(h) mm were carried out in a testing machine. Results of these tests are in line with the conclusions of theoretical investigations and show the higher strength of glulam beams when comparing with solid members of the same quality.

The long-term tests were carried out on model beams when temperature and moisture were cyclically changed. Wetting cycle – 14 days long, drying cycle – 7 days. Two series, 12 model beams each, were tested. The moisture of outer layer 20 mm depth changed from 6–8% to 20–22%, while the moisture in the rest area changed from 9% to 13%. The load of the first group of beams was 40% of short-term strength, and duration of tests 147 days. For the second group the normal stresses were $\sigma = 18.2$ MPa for each beam, and the duration of tests – 210 days. Deflection of beams was observed and moments of beams rupture were registered. The relationships between long-term strength and logarithm of time to failure for two types of model beams were the results of long-term tests. Long-term tests show the dependence upon the size of knots and long-term strength of glulam beams.

Algirdas BALTRUŠAITIS. Doctor, Associate Professor. Dept of Building Structures. Kaunas University of Technology (KTU), Studentų 48, LT-3031 Kaunas, Lithuania.

A graduate of Kaunas University of Technology (1969, civil engineer). Doctor (1986). Author and co-author of more than 20 papers. Research interests: short- and long-term strength of glued members, influence of wood quality on the strength of glued beams.