Skujkoku (egles un priedes) paliktņu sagatavju kvalitāte
The Quality of Pallet Preparation of Softwood (Spruce and Pine)

Uldis Spulle, Valentīns Pušinskis
LLU Kokapstrādes katedra, e-pasts: uldis.spulle@e-koks.lv
Department of Wood processing, LLU, e-mail: uldis.spulle@e-koks.lv

Abstract. The mechanical and quality properties of the preparation of pallet production using spruce wood (*Picea abies (L.) Karst.*) (with and without knots) and pine wood (*Pinus sylvestris L.*) (with and without knots) have been assessed. The results suggest that the quality of pine wood was slightly higher – 73.4% of the preparation were of the first quality class and 18.2% were defects. For spruce wood, 67.4% of the preparation were of the first quality class and 12 % – defects. Mechanical strength and modulus of elasticity of pine wood (without knots) preparation proved to be slightly higher than those of spruce wood (without knots): on average, bending strength was 8.5%, but the modulus of elasticity – 8.3%. Whereas mechanical strength and modulus of elasticity of pine wood (with knots) preparation was slightly lower than those of spruce wood (with knots): bending strength – 4.5%, modulus of elasticity – 8.5%.
Key words: spruce wood, pine wood, bending strength, modulus of elasticity.

Ievads

Lielu darbu koksnes mehānisko īpašību pētījumu jomā ir veikuši Pereligins, Ugoļevs (Перелигин, Уголев, 1971) un Baženovs, Varšavskis (Баженов, Варшавский, 1979), kā arī daudzi citi pētnieki, kas strādāja bijušajā Padomju Savienībā laikā no 1950. līdz 1980. gadam. Šo pētnieku vadībā veikti plaši koksnes mehānisko īpašību pētījumi, kā arī izstrādāti pārbaudes metožu standarti.

Lielo koksnes detaļu plašā pielietojamība nesošās konstrukcijās rada nepieciešamību raksturot tieši liela šķērsgriezuma paraugu mehāniskās īpašības, tādēļ pasaulē ir veikti plaši pētījumi ar liela šķērsgriezuma paraugiem (Соболев, 1979), kā arī noteikta mēroga faktora ietekme.

Palielinot pārbaudāmā parauga izmērus, pastiprinās koksnes anizotropiskuma ietekme sakarā ar nevienmērīgu spriegumu sadalījumu parauga šķērsgriezumā, ko var radīt dažādas koksnes vainas un atšķirīgu koka augšanas periodu ietekme. Nevienmērīgais spriegumu sadalījums lielos paraugos pazemina koksnes stiprību salīdzinājumā ar standarta paraugiem. Pie lieliem paraugiem pieskaitāmas arī paliktņu ražošanai izmantojamās sagataves.

Pētījuma mērķis – veikt koksnes stiprības pētījumus, lai iegūtu ieskatu koksnes stiprībā lieliem paraugiem ar koksnes vainām.

Materiāli un metodes

Šķirošanas metodika

Vienlaicīgi ar paliktņu sagatavju stiprības radītāju pētījumiem tiek veikta ražotnē esošo sagatavju atbilstības novērtēšana Pl un P2 kvalitātes klasēm saskaņā ar LVS EN 12246 standarta prasībām (1999), lai zinātu katras kvalitātes klases īpatsvaru uzņēmumā esošajai koksnei. Augstāk minētais standarts ir paredzēts taras un paliktņu zāģēto sagatavju šķirošanai pēc kvalitātes klasēm.

Vissastopamākā koksnes vaina ir zari. Zaru uzmērīšanai var izmantot divus paņēmienus: "Vispārējo paņēmienu" izmanto šķirošanai pēc ārējā izskata un "Alternatīvo paņēmienu" – ja jānovērtē zāģmateriāla, taras materiāla vai paliktņu sagataves kvalitāte. Paliktņu sagatavju šķirošana veikta pēc "Alternatīvā paņēmiena" metodes (LVS EN 1310:1997; LVS EN 1310:2000).

Paliktņu sagatavju atlase

Ražotnē tika atlasītas paliktņu sagataves tā, lai no vienas sagataves varētu izzāģēt divus paraugus stiprības pārbaudei: tīrās koksnes paraugu, bez koksnes vainām un paraugu, kas ietver zarus. Pēc paliktņu sagatavju atlases krautuvē tās tika nogādātas LLU Kokapstrādes katedrā. Vidējais koksnes mitrums atlases brīdi bija W > 30%.

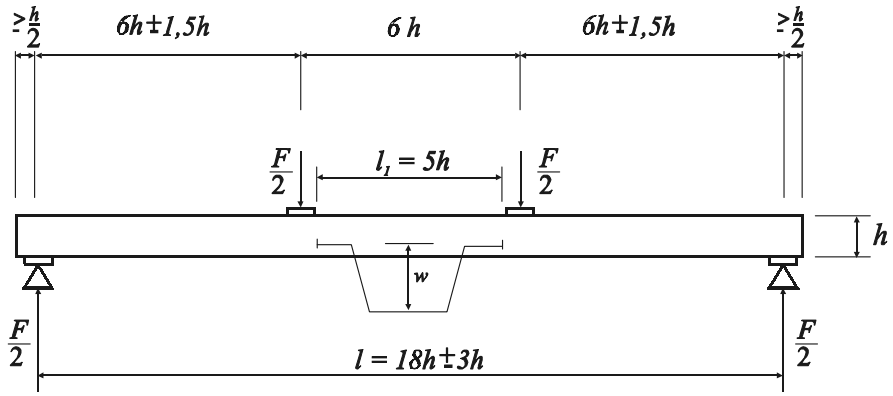
Paliktņu sagataves tika uzkrautas krautnē katedras telpā, un telpas apstākļos tās tika žāvētas. To mitrums pēc žāvēšanas vidēji bija 16%. Izžāvētās sagataves apstrādāja katedras laboratorijā paliktņu sagatavju mehānisko īpašību pētīšanai. Paraugu šķērsizmēri – 17x100 mm.

Paraugi tika sagatavoti, klimatizēti klimata kamerā pēc standarta prasībām atbilstošos gaisa parametru apstākļos: relatīvais mitrums W=65±5%, temperatūra t=20±2°C. Paraugi tika pārbaudīti atbilstoši LVS EN 408 standarta prasībām (2003) (skat. 1. att).

Stiprības robežu nosaka pēc sakarības:

$$f_m = \frac{h \cdot F_{max}}{2 \cdot W}, \qquad (1)$$

kur F_{max} – graujošā slodze, N;
h – parauga augstums, mm;
W– pretestības moments, mm^3.



1. att. Paraugu slogošanas shēma, slogojot ar spēka pielikšanu divos punktos saskaņā ar LVS EN 408:2003 prasībām.
Fig. 1. Sample loading scheme loading with strength application on two points according to the requirements of the standard LVS EN 408:2003.

Lieces elastības moduli aprēķina pēc sakarības:

$$E_m = \frac{h l_1^2 (F_2 - F_1)}{16 l (w_2 - w_1)}, \qquad (2)$$

kur

h – parauga augstums, mm;

l_1 – attālums starp indikatora skavas stiprināšanas centriem, mm;

l – attālums starp atbalstiem, mm;

$(F_2 - F_1)$ – starpība starp sākuma un beigu slodzi, N;

$(w_2 - w_1)$ – starpība starp sākuma un beigu izlieci, mm.

Stiprības un elastības rādītāju ticamības aprēķins veikts, izmantojot variāciju statistikas metodi. Vidējo vērtību $m_{(x)}$ aprēķina pēc sakarības:

1. tabula / Table 1

Paliktņu sagatavju koksnes vainu sadalījums
Separation of wood faults of the pallet preparation

Koksnes vainas saskaņā ar LVS EN 12246:1999 standarta prasībām / Wood faults according to requirements of the standard LVS EN 12246:1999	Koku suga / Wood species					
	Egle / Spruce (*Picea abies (L.) Karst.*)			Priede / Pine (*Pinus sylvestris L.*)		
	P1, %	P2, %	brāķis / defect	P1, %	P2, %	brāķis / defect
1. Zari / Knots						
1.1. Zari – saaudzis, daļēji saaudzis / Knots – intergrown knot, partly intergrown knot	46.5	5.1	1.8	55.8	6.8	4.1
1.2. Zari – trupējis, izkrītošs / Knots – unsound knot	16.6	8.6	3.8	17.6	0.3	0.3
1.3. Krusta zars / Nail knot	–	–	–	–	–	–
2. Serde, vaļēja vai slēgtā / Heart pith, open or closed	–	–	–	–	–	–
3. Plaisas / Split						
3.1. Platās skaldnes plaisas / Face split	–	–	–	–	–	–
3.2. Caurejošās plaisas / Through shake	–	–	–	–	–	–
4. Sveķu ligzdas / Resin pocket	–	–	–	–	–	–
5. Mizas ieaugums / Bark pocket	–	–	2.6	–	–	4.7
6. Bioloģiskie bojājumi (izņemot zilējumu) / Biological damage (except blue stains)	–	–	0.8	–	–	–
7. Aktīvie kukaiņu bojājumi / Active insect damage	–	–	–	–	–	–
8. Tumšās kukaiņu ejas / Dark worm-holes	–	–	–	–	–	–
9. Lokmalas / Dull edged	4.3	6.9	3	–	1.3	9.1
Katrā kvalitātes klasē / In each quality class	67.4	20.6	12	73.4	8.4	18.2

$$m_{(x)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \quad (3)$$

kur

x – mainīgais lielums;

n – pārbaudāmo paraugu skaits;

i – kārtas skaitlis apgabalā no 1 līdz n.

Standartnovirzi $s_{(x)}$ aprēķina pēc sakarības:

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - m_{(x)})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Variācijas koeficientu $s_{(x)}$, % aprēķina pēc sakarības:

$$\sigma_{(x)} = \frac{S_{(x)}}{m_{(x)}}. \quad (5)$$

Visi augstākminētie parametri, kā arī korelācijas un nosakāmo rādītāju raksturlielumi (5% kvantile) aprēķināti, izmantojot datorprogrammu "Microsoft Excel". Minētā programma izmantota arī grafisko attēlu sastādīšanai.

Rezultāti

Lai veiktu paliktņu sagatavju stiprības pētījumus, bija nepieciešama arī to šķirošana pēc kvalitātes klasēm atbilstoši LVS EN 12246:1999 standarta prasībām, lai noteiktu katras kvalitātes klases īpatsvaru.

Paliktņu sagatavju kvalitātes pētījums nepieciešams, lai noskaidrotu, kura koksnes vaina veido lielāko īpatsvaru katrā kvalitātes klasē. Veikto pētījumu rezultāti par koksnes vainu sadalījumu pa koku sugām un kvalitātes klasēm apkopoti 1. tabulā.

Pētījuma rezultātā noskaidrots, ka visvairāk sastopamā koksnes vaina ir zari (83%). Tādēļ pētījumu turpmākajā gaitā paliktņu sagatavju stiprības pārbaudes tika veiktas paliktņu sagatavēm bez zariem, kā arī paliktņu sagatavēm ar zariem.

Priedes koksnes paliktņu sagatavju kvalitāte ir augsta, jo pirmajā kvalitātes klasē ietilpst 73.4%, un brāķis veido 18.2%.

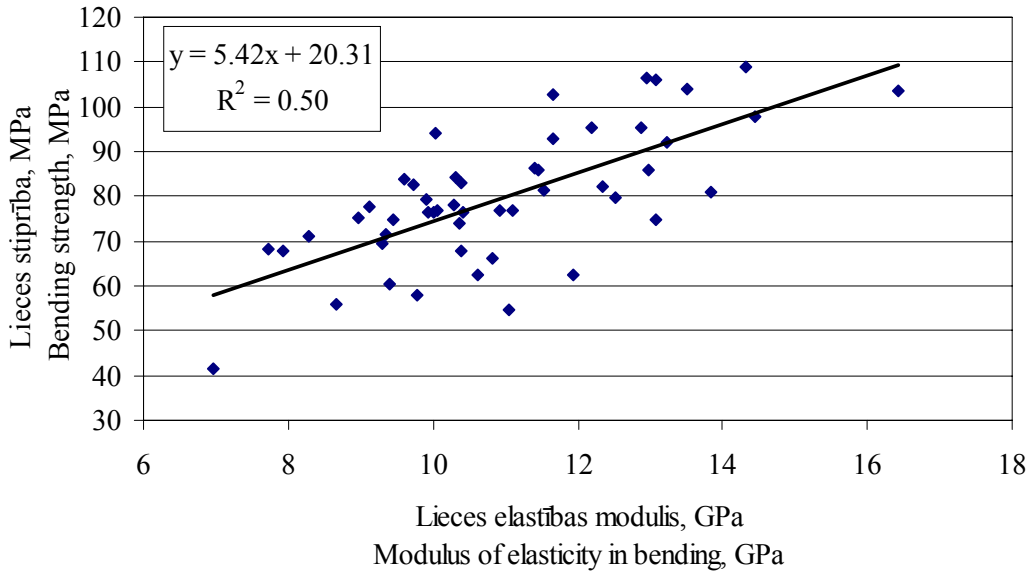
Salīdzinājumā ar priedes koksni egle koksnes sagatavju kvalitāte ir nedaudz zemāka. Pirmajā kvalitātes klasē ietilpst 67.4%, bet brāķis veido 12%.

Egles koksnes paliktņu sagatavju stiprības rādītāji

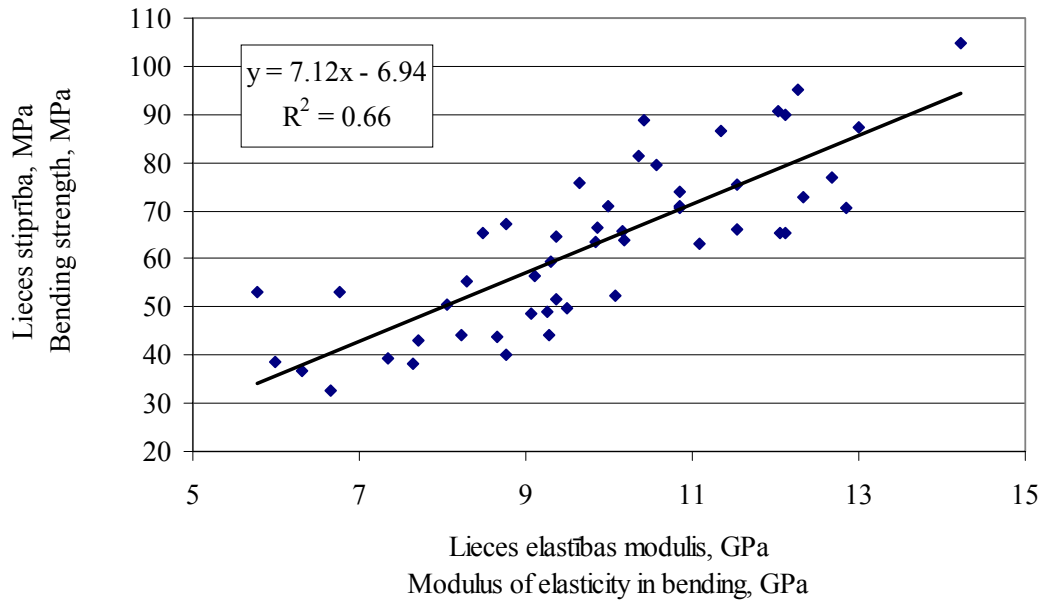
Pārbaudot 50 paliktņu sagatavju paraugus bez zariem, noteikts, ka lieces stiprības vidējā vērtība f_m=79.7 MPa, lieces elastības modulis E_m=10.97 GPa (skat. 2. att.), ja koksnes vidējais blīvums r_{vid}=450 kg m^{-3}. Salīdzināšanai pārbaudīti arī 50 paliktņu sagatavju paraugi ar zariem, kā rezultātā noteikta lieces stiprības vidējā vērtība f_m=63.2 MPa, lieces elastības modulis E_m=9.85 GPa (skat. 3. att.), ja koksnes vidējais blīvums r_{vid}=450 kg m^{-3}.

Noteikti arī stiprības un elastības moduļa vidējie rādītāji sagatavju paraugiem bez zariem un ar zariem: lieces stiprība f_m=71.5 MPa, lieces elastības modulis E_m=10.41 GPa, ja koksnes vidējais blīvums r_{vid}=450 kg m^{-3}.

Paliktņu sagatavju bez zariem stiprības rādītāji ir augstāki par paliktņu sagatavju ar zariem stiprības



2. att. Egles koksnes paliktņu sagatavju bez zariem lieces stiprības atkarība no elastības moduļa liecē.
Fig. 2. Bending strength depending on modulus of elasticity in bending of spruce (without knots) wood of the pallet preparation.



3. att. Egles koksnes ar zariem lieces stiprības izmaiņa atkarībā no lieces elastības moduļa.
Fig. 3. Bending strength depending on modulus of elasticity in bending of spruce (with knots) wood of the pallet preparation.

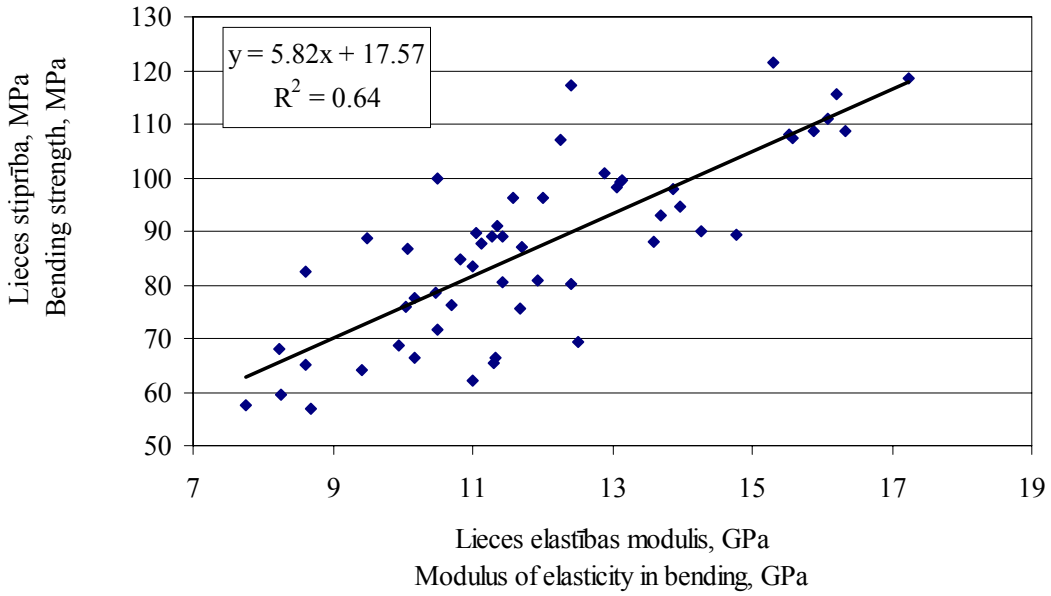
rādītājiem: lieces stiprība augstāka par 20.7%, lieces elastības modulis – par 10.2%.

Priedes koksnes paliktņu sagatavju stiprības rādītāji

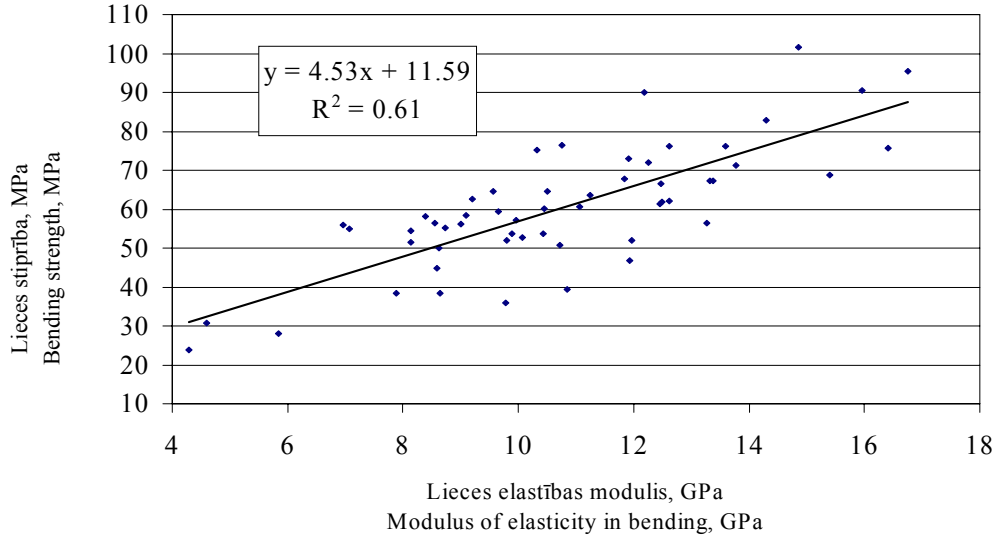
Pārbaudot 55 paliktņu sagatavju paraugus bez zariem, iegūtas sekojošas vidējās vērtības: lieces stiprība f_m=87.1 MPa, lieces elastības modulis E_m=11.96 GPa (skat. 4. att.), ja koksnes vidējais blīvums r_{vid} = 470 kg m^{-3}.

Paliktņu sagatavju ar zariem pārbaudes rezultātā noteiktā lieces stiprības vidējā vērtība: f_m=60.4 MPa, lieces elastības moduļa vidējā vērtība E_m=10.77 GPa (skat. 5. att.), ja koksnes vidējais blīvums r_{vid}=470 kg m^{-3}.

Kopā tika pārbaudīti 110 paraugi. Līdz ar to tika



4. att. Priedes koksnes bez zariem lieces stiprības izmaiņa atkarībā no lieces elastības moduļa.
Fig. 4. Bending strength depending on modulus of elasticity in bending of pine (without knots) wood of the pallet preparation.



5. att. Priedes koksnes ar zariem lieces stiprības izmaiņa atkarībā no lieces elastības moduļa.
Fig. 5. Bending strength depending on modulus of elasticity in bending of pine (with knots) wood of the pallet preparation.

2. tabula / Table 2

Egles un priedes koksnes lieces stiprības un elastības moduļa raksturlielumi
Characteristic values of bending strength and modulus of elasticity of spruce and pine wood

Koksne / Wood \ Rādītājs / Contents	Lieces stiprība f, MPa / Ultimate strength in static bending f, MPa	Lieces elastības modulis E, GPa / Modulus of elasticity in bending E, GPa	Blīvums ρ, kg· m^{-3} / Density ρ, kg m^{-3}
Egles koksne / Spruce (*Picea abies (L.) Karst.*)			
Egles koksnes bez zariem vidējās vērtības (standartnovirze $s_{(x)}$; variācijas koeficients $\sigma_{(x)}$) / Spruce (without knots) wood mean values (standard deviation $s_{(x)}$; coefficient of variation $\sigma_{(x)}$)	79.72 (14.70; 18.44)	10.97 (1.92; 17.47)	450
Egles koksnes ar zariem vidējās vērtības (standartnovirze $s_{(x)}$; variācijas koeficients $\sigma_{(x)}$) / Spruce (knots) wood mean values (standard deviation $s_{(x)}$; coefficient of variation $\sigma_{(x)}$)	63.18 (17.12; 27.09)	9.85 (1.96; 19.87)	450
Egles koksnes bez zariem normatīvās stiprības vērtības / Spruce (without knots) wood percentile values	56.76	8.09	450
Egles koksnes ar zariem normatīvās stiprības vērtības / Spruce (knots) wood percentile values	38.53	6.47	450
Priedes koksne / Pine (*Pinus sylvestris L.*)			
Priedes koksnes bez zariem vidējās vērtības (standartnovirze $s_{(x)}$; variācijas koeficients $\sigma_{(x)}$) / Pine (without knots) wood mean values (standard deviation $s_{(x)}$; coefficient of variation $\sigma_{(x)}$)	87.12 (16.85; 19.34)	11.96 (2.32; 19.39)	470
Priedes koksnes ar zariem vidējās vērtības (standartnovirze $s_{(x)}$; variācijas koeficients $\sigma_{(x)}$) / Pine (knots) wood mean values (standard deviation $s_{(x)}$; coefficient of variation $\sigma_{(x)}$)	60.36 (15.86; 26.27)	10.77 (2.74; 25,43)	470
Priedes koksnes bez zariem normatīvās stiprības vērtības / Pine (without knots) wood percentile values	61.29	8.52	470
Priedes koksnes ar zariem normatīvās stiprības vērtības / Pine (knots) wood percentile values	34.46	6.63	470

iegūtas paliktņu sagatavju bez zariem un ar zariem stiprības vidējās vērtības: lieces stiprība f_m=73.7 MPa, lieces elastības modulis E_m=11.37 GPa, ja koksnes vidējais blīvums r_{vid}=470 kg m^{-3}.

Paliktņu sagatavju bez zariem stiprības rādītāji ir augstāki par paliktņu sagatavju ar zariem stiprības rādītājiem: lieces stiprība augstāka par 30.7%, lieces elastības modulis – par 10%.

Salīdzinot egles koksnes un priedes koksnes stiprības un elastības rādītāju vidējās vērtības (skat. 2. tabulu), priedes koksnei tās ir augstākas: lieces stiprība – par 4.7%, lieces elastības modulis – par 8.1%.

Noteiktas arī lieces stiprības un elastības moduļa normatīvās (5% kvantiles) vērtības, tādējādi izslēdzot mērījumus, kas būtiski atšķiras no paraugkopas datu vidējās sakarības. Šīs vērtības nepieciešamas paliktņu sagatavju šķērsgriezuma izmēru aprēķināšanai. Mehāniskās stiprības pārbaudes rezultāti apkopoti 2. tabulā.

LLU Kokapstrādes katedrā iepriekš veiktos pētījumos noteikti stiprības un elastības rādītāji egles koksnes standartparaugiem jeb tīrās koksnes paraugiem bez koksnes vainām – lieces elastības modulis 13.7 GPa un lieces stiprība 106.5 MPa (Pushinskis et al., 2002).

Salīdzinot egles standartparaugu un egles paliktņu sagatavju ar zariem un bez zariem vidējās stiprības rādītājus, egles standartparaugiem tie ir augstāki: lieces stiprība – par 34%, bet elastības modulis – par 23.7%.

Secinājumi

1. Pastāv cieša lieces stiprības un elastības moduļa liecē sakarība, kuru raksturo korelācijas koeficients (R=0.71 ... 0.81).
2. Priedes koksnes paliktņu sagatavju pirmajā kvalitātes klasē ietilpst 73.4%, egles koksnei pirmajā kvalitātes klasē ietilpst 67.4%.
3. Egles koksnei bez zariem lieces stiprības un lieces elastības moduļa vērtības ir augstākas nekā egles koksnei ar zariem: lieces stiprība augstāka vidēji par 20.7%, bet lieces elastības modulis liecē – par 10.2%.
4. Priedes koksnei bez zariem lieces stiprības un lieces elastības moduļa vērtības ir augstākas nekā priedes koksnei ar zariem: lieces stiprība – vidēji par 30.7%, bet lieces elastības modulis liecē – par 10%.
5. Salīdzinot egles un priedes koksnes bez zariem lieces stiprības un elastības moduļa vērtības, priedes koksnei tās ir augstākas: lieces stiprība – vidēji par 8.5%, bet elastības modulis liecē – par 8.3%.
6. Salīdzinot egles un priedes koksnes ar zariem lieces stiprības un lieces elastības moduļa vērtības, priedes koksnes lieces stiprība ir zemāka vidēji par 4.5%, bet lieces elastības modulis liecē augstāks par 8.5%.
7. Salīdzinot egles standartparaugu un egles paliktņu sagatavju ar zariem un bez zariem vidējās stiprības rādītājus, egles standartparaugiem tie ir augstāki: lieces stiprība – par 33%, bet elastības modulis – par 25.5%.
8. Noteiktās normatīvās lieces stiprības vērtības var izmantot paliktņu sagatavju izmēru optimatizācijai.

Literatūra

1. LVS EN 408:2003. *Koka konstrukcijas. Masīvkoksnes un līmētie konstrukciju kokmateriāli. Dažu fizikālo un mehānisko īpašību noteikšana.*
2. LVS EN 12246:1999. *Taras un Paliktņu sagatavju šķirošana pēc kvalitātes.*
3. LVS EN 1310:1997 A. *Apaļie un zāģētie kokmateriāli – Koksnes vainu mērījuma metode.*
4. LVS EN 1310:2000 L. *Apaļie un zāģētie kokmateriāli – Koksnes vainu uzmērīšana.*
5. Pushinskis V., Priedkalns G., Dolacis J., Hrols J. (2002) Selected mechanical properties of Norway spruce wood in Latvia. Forestry and Wood Technology Special Number I, *Annals of Warsaw Agricultural University*, 33-37.
6. Ļаженов, В.А., Варшавский, В.А. (1976) Кореляционная зависимость между модулем упругости и пределом прочности древесины в крупных образцах при изгибе. *Научные труды МЛТИ*, вып. 89, 38-43.
7. Перелигин, Л. М. Уголев, Б. Н. (1971) *Древесиноведение.* Лесная промышленность, М., 288 с.
8. Соболев, Ю. С. (1979) *Древесина как конструкционный материал.* Лесная промышленность, Москва, 247 с.