Priedes un egles koksnes kravas paliktņu lieces noturība
Bending Stiffness of Traffic Pallets of the Pine and Spruce Wood

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

Abstract. To determine the quality of wood materials, wood industry specialists usually use physical (density, moisture content) and mechanical (compression, tensile, bending strength and modulus of elasticity) properties of wood. Factors influencing the modulus of elasticity and bending strength depending on the loading direction, applying the loading strength in three (small cross-section sample) or four points (large cross-section sample) of samples, vary considerably. Components used for pallet production and pallets are also assigned to large cross-section samples. In the manufacturing of pallets and in the process of maintenance it is essentially important to forecast the load carrying capacity and stiffness of bending. To solve the issue, an experimental research was carried out employing 47 softwood (pine and spruce) pallets of serial production designed for use in 2nd exploitation class (Eurocode 5). Bending stiffness of the pallets has been found using characteristics determined in the previous research – moment of bending, moment of inertia and bending resistance at the moment of elastic deformation and at the moment of destruction of the pallets. Also the influence of joint of the pallets has been found; its characteristic is the moment of resistance at the moment of testing. Research results show that the increasing effect of the pallet construction for softwood pallets is 2 times.
Key words: softwood, pallets, bending stiffness.

Ievads

Paliktnis – tā ir minimāla augstuma, stinga, nekustīga, horizontāla platforma, ko izmanto kravas pārvietošanai ar autoiekrāvēju un citiem piemērotiem pārvietošanas līdzekļiem. Pielieto kraušanai krautnē, preču un kravas glabāšanai vai transportēšanai (LVS EN ISO 445, 2003).

Uz paliktņiem parasti novieto metāla vai keramikas izstrādājumus, būvelementus, pārtikas, kā arī dažādas rūpniecības preces, un nereti šo izstrādājumu masa ir ļoti liela. Dažādu kravu transportēšanai izmanto atšķirīgu konstrukciju un nestspējas paliktņus. Visplašāk izmantojamais ir tā sauktais četrvirzienu – klucīšu – konstrukcijas paliktnis (skat. 1. att.) (LVS EN 13382, 2003; LVS EN 13698-1, 2003).

Tā kā paliktņu konstrukciju izgatavošanai kā izejmateriālu izmanto arī koksni, tad ir jāizzina koksnes īpašības, tās priekšrocības un trūkumi, salīdzinot ar citiem paliktņu konstrukciju izgatavošanai pielietojamiem materiāliem. Paliktņu ekspluatācijas procesā būtiski svarīga ir to robežstiprība liecē, kā arī noturība (stingums). Kā rāda literatūras pētījumi, paliktņu stiprības raksturlielumi galvenokārt ir atkarīgi no sagatavju robežstiprības un elastības moduļa rādītājiem.

Paliktņa nestspēju ietekmē arī citi rādītāji, piemēram, koksnes blīvums un mitrums, pielietotie savienotājelementi, to diametrs, kā arī berzes spēks starp materiālu un naglu savienojumu (Thelandersson, Larsen, 2003). Dažāda veida savienojumu noturību ir pētījis Johansens (Johansen, 1949). Viņš ir arī izstrādājis teoriju, kas balstās uz savienojuma deformācijām, un noskaidrojis, ka savienojuma noturība ir atkarīga ne tikai no materiāla, kuram veido savienojumu, bet arī no tā materiāla, ar kuru veido šo savienojumu.

Arī citi autori (Armstrong, Christensen, 1961; Mårtensson, Thelandersson, 1990) ir secinājuši, ka savienojumu stabilitāte ir atkarīga no mitruma, kurš savukārt ir atkarīgs no dotā materiāla ekspluatācijas apstākļiem.

Bieži vien šie vides apstākļi, kuros tiek izmantotas paliktņu konstrukcijas, ir mainīgi. Tāpēc pirms paliktņu ražošanas būtu vēlams zināt, kādiem ekspluatācijas apstākļiem paliktņi ir paredzēti. Tas ļautu paliktņu sagataves izžāvēt līdz attiecīgajiem ekspluatācijas apstākļiem, kas būtiski paaugstinātu arī paliktņa savienojuma stabilitāti un noturību.

Paliktņu konstrukcijas ekspluatācija pēc to izgatavošanas ir vairākkārtēja, tādēļ nepieciešams uzzināt, kā mainās paliktņa konstrukcijas noturība

ilgstošas slodzes iedarbībā. Standartparaudziņu koksnes noturību ilgstošas slodzes iedarbībā ir pētījuši vairāki zinātnieki, starp tiem arī Madsens (Madsen, 1973).

Taču, palielinoties parauga dimensijām, palielinās arī koksnes vainu klātbūtnes esamība, un šo paraugu noturība ilgstošas slodzes gadījumā ir atšķirīga. Koksnes robežstiprība un līdz ar to arī koka konstrukcijas nestspēja, to ilgstoši slogojot, ir daudz zemāka, bet deformācijas ir daudz lielākas nekā īslaicīgas slodzes gadījumā (Ulpe, Kupče, 1991). Koksnes vainu ietekmi uz materiāla mehāniskajām īpašībām ir pētījis Perstopers (Perstoper, 1999). Iegūtos datus viņš ir salīdzinājis ar Eiropā noteiktām dažādu koksnes materiālu mehānisko īpašību rādītāju prasībām. Savukārt Šarps un Kreigs (Sharp, Craig, 1996), veicot koksnes materiālu ilgizturības pētījumus, ir noskaidrojuši, ka materiālu ilgizturības izmaiņas ir būtiskas tikai īsā un vidēji ilgā laika posmā. Lielo dimensiju paraugu konstrukcijās jāņem vērā arī fakts, ka iestrādāto elementu īpašības ir atšķirīgas, tādēļ būtiski ir izzināt konstrukcijas kopējo nestspēju.

Pētījuma mērķis ir noteikt priedes un egles koksnes paliktņu lieces noturību, izmantojot paliktņu nesagraujošās pārbaudes metodi (Spulle, Pušinskis, 2006) koka konstrukcijām, kuras paredzētas pielietošanai mitros apstākļos, kā arī noteikt paliktņu savienojumu ietekmi uz paliktņu konstrukciju.

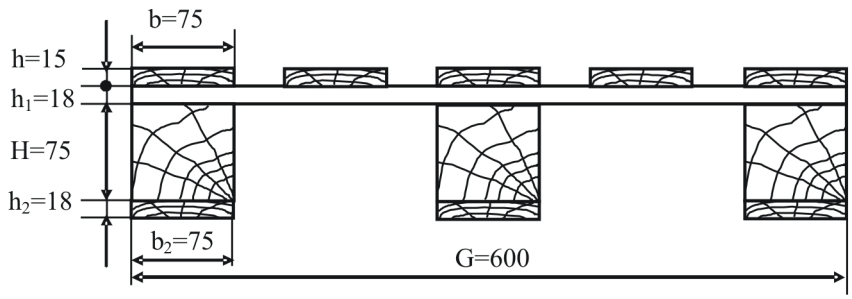
Materiāli un metodes

Skujkoku (priedes un egles) paliktņu sagataves ar izmēriem (skat. 2. att.) atlasītas paliktņu ražotnē. Pēc sagatavju atlases veikta to šķirošana pēc kvalitātes šķirām, kā to nosaka standarta LVS EN 12246 prasības (1999). Paliktņu konstrukciju izgatavošanai izmantotas P1 kvalitātes šķiras sagataves bez koksnes vainām, kuras būtiski samazina koksnes mehāniskās īpašības. Paliktņu sagataves atlasītas, atsevišķi neatšķirojot priedes koksnes paliktņu sagataves un egles koksnes paliktņu sagataves, jo paliktņu ražošanas procesā tas šobrīd netiek veikts. Līdz ar to iegūtie rādītāji vispārēji raksturo pašreizējo situāciju paliktņu ražošanas uzņēmumā. Paliktņi pārbaužu veikšanai sagatavoti, izmantojot pneimatiskos rokas elektroinstrumentus.

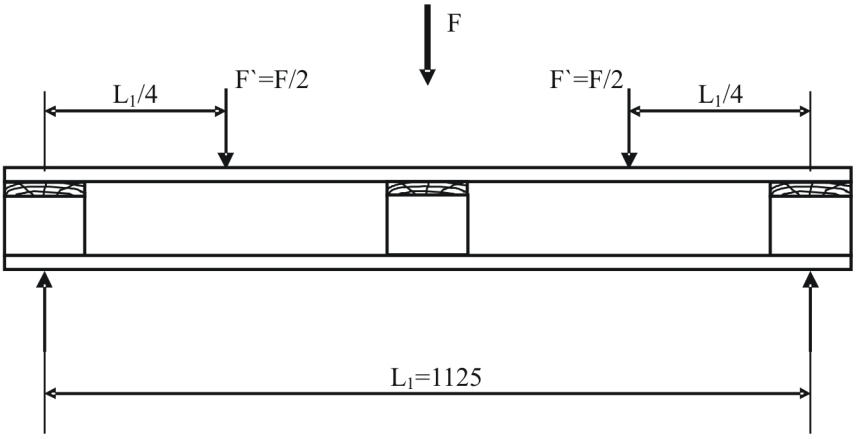
Pēc paliktņu izgatavošanas tos transportēja uz LLU Kokapstrādes katedru un novietoja kondicionēšanas telpā koksnes mitruma izlīdzināšanai. Paliktņu vidējais mitrums (W) pārbaudes brīdi bija 20%.

Standartos aprakstītās paliktņu pārbaudes metodes (LVS EN ISO 8611-1, 2004) ir sagraujošas un nav pielietojamas, ja nepieciešams noteikt paliktņa nestspēju, paliktni nesagraujot. Tāpēc paliktņa dēlīšu materiāla elastības moduļa noteikšanai vispirms

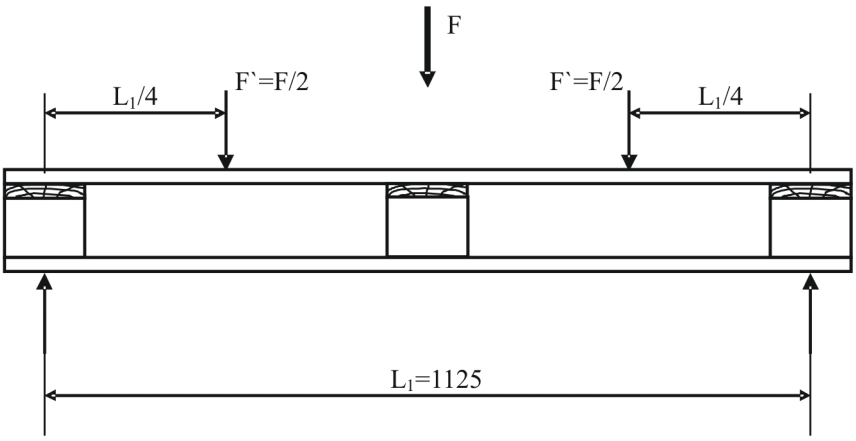
1. att. Skujkoku četrvirzienu testētais paliktnis:
1 – virsējais dēlītis; 2 – garendēlītis; 3 – klucītis ; 4 – apakšējais dēlītis.
Fig. 1. Four-way testing pallet:
1 – top deck board; 2 – top stringer board; 3 – block; 4 – bottom deck board.



2. att. Paliktņa šķēluma laukuma izmēri.
Fig. 2. Section area of the pallet.



3. att. Paliktņu slogojuma shēma elastīgo deformāciju robežās.
Fig. 3. Pallet load scheme in borders of elastic deformation.



4. att. Slogojuma shēma paliktņu sagraušanas gadījumā.
Fig. 4. Load scheme in case of destroying the pallet.

tika izmantota nesagraujoša metode, slogojot paliktņus elastīgo deformāciju robežās (skat. 3. att.) (Spulle, Pušinskis, 2006). Šī nesagraujošā paliktņu pārbaudes metode izstrādāta, lai, nosakot paliktņa konstrukcijas dēlīšu elastības moduli, būtu iespējams prognozēt dotās paliktņu konstrukcijas nestspēju, to veicot paliktņu konstrukcijas ražošanas procesā (Spulle, 2007).

Pēc elastības moduļa noteikšanas tika veikta paliktņu sagraušana, izmantojot slogojuma shēmu (skat. 4. att.) un nosakot maksimālo sagrāves spēku F_{max} un slogojuma spēku F_{10} pie 10% un F_{40} pie 40% no maksimālā sagrāves spēka vērtības, kā arī deformācijas pie iepriekšminētajām slogojuma spēka vērtībām. Rezultātā tika iegūta iepriekšminēto rādītāju savstarpējā sakarība (Spulle, Pušinskis, 2006).

Pirms paliktņu stiprības noteikšanas tika veikti arī paliktņu sagatavju (15×75×300 mm) stiprības pētījumi un noteikta vidējā robežstiprība liecē f_b=58 MPa, ievērtējot paliktņu sagatavju mitruma saturu W=20% (Spulle, Pušinskis, Rasmanis, 2006). Šajā pētījumā lieces vidējā robežstiprība nepieciešama paliktņu stiprības aprēķināšanai (skat. formulu (5)).

Lai izzinātu paliktņu konstrukcijas nestspēju un izpētītu naglu savienojumu ietekmi uz paliktņu konstrukciju, vispirms veikti teorētiskie aprēķini, izmantojot paliktņu konstrukcijas šķēluma laukuma ģeometriskos raksturlielumus.

Šķērslaukumu vienam virsējam dēlītim aprēķina pēc formulas (1):

$$A_1 = h \cdot b\,, \qquad (1)$$

kur A_1 – šķērslaukums vienam virsējam dēlītim, mm^2;
h – virsējā dēlīša biezums, mm;
b – virsējā dēlīša platums, mm.

Kopējo šķērslaukumu visiem virsējiem dēlīšiem aprēķina pēc sakarības (2):

$$A_{12} = n \cdot h \cdot b\,, \qquad (2)$$

kur A_{12} – kopējais šķērslaukums visiem virsējiem dēlīšiem, mm^2;
n – virsējo dēlīšu skaits, gab.

Šķērslaukumu vienam apakšējam dēlītim aprēķina pēc formulas (3):

$$A_2 = h_2 \cdot b_2\,, \qquad (3)$$

kur A_2 – šķērslaukums vienam apakšējam dēlītim, mm^2;
h_2 – apakšējā dēlīša biezums, mm;
b_2 – apakšējā dēlīša platums, mm.

Kopējo šķērslaukumu visiem apakšējiem dēlīšiem aprēķina pēc sakarības (4):

$$A_{21} = n_2 \cdot h_2 \cdot b_2\,, \qquad (4)$$

kur A_{21} – kopējais šķērslaukums visiem apakšējiem dēlīšiem, mm^2;
n – apakšējo dēlīšu skaits, gab.

Kopējo šķērslaukumu visiem virsējiem un apakšējiem dēlīšiem aprēķina pēc formulas (5):

$$A = A_{12} + A_{21}\,, \qquad (5)$$

kur A – kopējais šķērslaukums visiem virsējiem un apakšējiem dēlīšiem, mm^2.

Virsējā dēlīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināti y ass virzienā aprēķina pēc formulas (6):

$$y_1 = h_2 + T + h_1 + 0.5 \cdot h\,, \qquad (6)$$

kur y_1 – virsējā dēlīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināte y ass virzienā, mm;
T – klucīša biezums, mm.

Apakšējā dēlīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināti y ass virzienā aprēķina pēc formulas (7):

$$y_2 = \frac{h_2}{2}\,, \qquad (7)$$

kur y_2 – apakšējā dēlīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināte y ass virzienā, mm.

Paliktņa šķēluma laukuma smaguma centra koordināti y ass virzienā y_c aprēķina pēc formulas (8):

$$y_c = \frac{A_{12} \cdot y_1 + A_{21} \cdot y_2}{A_{12} + A_{21}}\,, \qquad (8)$$

kur y_c – paliktņa šķēluma laukuma smaguma centra koordināte y ass virzienā, mm.

Klucīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināti y ass virzienā no paliktņa virspuses aprēķina pēc sakarības (9):

$$a_{11} = y_1 - y_c\,, \qquad (9)$$

kur a_{11} – klucīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināte y ass virzienā no paliktņa virspuses, mm.

Klucīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināti y ass virzienā no paliktņa apakšpuses aprēķina pēc sakarības (10):

$$a_{22} = y_2 - y_c\,, \qquad (10)$$

kur a_{22} – klucīša šķēluma laukuma smaguma centra koordināte y ass virzienā no paliktņa apakšpuses, mm.

Inerces momentu visiem virsējiem dēlīšiem aprēķina pēc sakarības (11):

$$I_{x1} = n \cdot \frac{h^3 \cdot b}{12}\,, \qquad (11)$$

kur I_{x1} – inerces moments visiem virsējiem dēlīšiem, mm^4.

Inerces momentu visiem apakšējiem dēlīšiem I_{x2} aprēķina pēc sakarības (12):

$$I_{x2} = n_2 \cdot \frac{h_2^{\,3} \cdot b_2}{12}\,, \qquad (12)$$

kur I_{x2} – inerces moments visiem apakšējiem dēlīšiem, mm^4.

Inerces momentu visiem virsējiem un apakšējiem dēlīšiem aprēķina pēc sakarības (13):

$$I_x = I_{x1} + I_{x2}\,, \qquad (13)$$

kur I_x – inerces moments visiem virsējiem un apakšējiem dēlīšiem, mm^4.

Inerces momentu paliktņa konstrukcijai nosaka pēc formulas (14):

$$I_{xt} = n_1 \cdot (I_{x1} + a_{11}^{\,2} \cdot A_1) + n_2 \cdot (I_{x2} + a_{22}^{\,2} \cdot A_2)\,, \qquad (14)$$

kur I_{xt} – inerces moments paliktņa konstrukcijai, mm^4.

Pretestības momentu tikai virsējiem dēlīšiem aprēķina pēc sakarības (15):

$$W_{x1} = n \cdot \frac{h^2 \cdot b}{6}, \quad (15)$$

kur W_{x1} – pretestības moments tikai virsējiem dēlīšiem, mm^3.

Pretestības momentu pie teorētiski noteiktā paliktņu konstrukcijas inerces momenta nosaka pēc sakarības (16):

$$W_{xt} = \frac{I_{xt}}{y_c}, \quad (16)$$

kur W_{xt} – pretestības moments pie teorētiski noteiktā paliktņu konstrukcijas inerces momenta, mm^3.

Tālāk, izmantojot izstrādātās paliktņu slogojuma shēmas un iegūstot pētījuma rezultātu, veikti paliktņu konstrukcijas lieces noturības aprēķina pētījumi.

Slogojuma shēma un paliktņu lieces momenta epīra parādīta 5. attēlā.

Pētījuma rezultātā teorētiskos aprēķinos noteikti vairāki rādītāji, tādi kā pretestības moments sagrāves brīdī un atbilstošais inerces moments, lieces moments 0.4 F_{max} gadījumā un šim momentam atbilstošā stiprība liecē, un pretestības moments elastīgo deformāciju zonā.

Maksimālo lieces momenta vērtību paliktņu sagrāves brīdī (skat. 5. att.) aprēķina pēc formulas (17):

$$M_{\max} = \frac{F_{\max}}{2} \cdot \frac{L_1}{4}, \quad (17)$$

kur M_{max} – maksimālais lieces moments, N· mm;
F_{max} – sagrāves spēks, N;
L_1 – attālums starp balstiem, mm.

Stiprības robežu sagrāves brīdī aprēķina, izmantojot sakarību (18):

$$f = \frac{M_{\max}}{W_p}, \quad (18)$$

kur f – stiprības robeža sagrāves brīdī, MPa;
W_p – sagrāves brīdī atbilstošais paliktņu šķērsgriezuma laukuma pretestības moments, mm^3.

No formulas (18) iegūst:

$$W_p = \frac{M_{\max}}{f}.$$

Atbilstošo inerces momentu paliktņa konstrukcijai aprēķina pēc sakarības (19), izmantojot paliktņa šķēluma laukuma izmēru ģeometriskos raksturlielumus (skat. 2. att.):

$$I_p = W_p \cdot y_c, \quad (19)$$

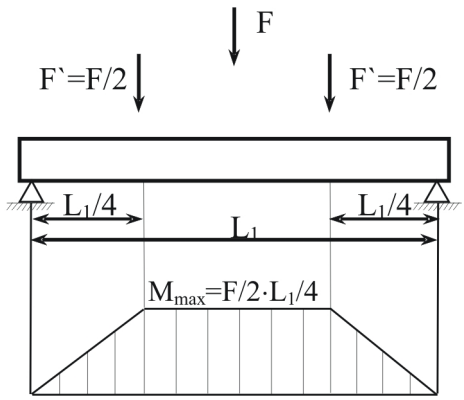
kur I_p – paliktņa konstrukcijas inerces moments, mm^4;
y_c – paliktņa šķēluma laukuma smaguma centra koordināte y ass virzienā, mm.

Lieces momentu 0.4 F_{max} gadījumā aprēķina pēc sakarības (20):

$$M_{40} = \frac{F_{40}}{2} \cdot \frac{L_1}{4}, \quad (20)$$

kur M_{40} – lieces moments elastīgo deformāciju zonā 0.4 F_{max}, N· mm;
F_{40} – paliktņa slogojuma spēks 0.4 F_{max}, N.

Šim momentam atbilstošo stiprību liecē aprēķina pēc formulas (21):



5. att. Paliktņu lieces momenta epīra sagrāves spēka noteikšanas gadījumā.
Fig. 5. The diagram of bending moment for the determination of ultimate force.

$$f_{40} = 0.4 \cdot f_b, \quad (21)$$

kur f_{40} – stiprība liecē elastīgo deformāciju zonā 0.4 F_{max}, MPa;
f_b – skujkoku paliktņu sagatavju stiprība liecē, MPa.

Pretestības momentu aprēķina pēc sakarības (22):

$$W_{p40} = \frac{M_{40}}{f_{40}}, \quad (22)$$

kur W_{p40} – pretestības moments elastīgo deformāciju zonā 0.4 F_{max}, mm^3.

Atbilstošo inerces momentu aprēķina, izmantojot sakarību (23):

$$I_{p40} = W_{p40} \cdot y_c, \quad (23)$$

kur I_{p40} – inerces moments elastīgo deformāciju zonā 0.4 F_{max}, mm^3.

Izmantojot eksperimenta rezultātus, kā arī Onufrieva un Daņiļevska izstrādāto inerces momenta aprēķina formulu trīsbalstu sijas slogošanas gadījumā (Онуфриев, Данилевский, 1958), aprēķina paliktņa šķēluma laukuma inerces momenta teorētisko vērtību elastīgo deformāciju w_{40}-w_{10} zonā (24):

$$I_{40-10} = 0.0286 \cdot \frac{(F`_{40} - F`_{10}) \cdot L_1^3}{E_b \cdot (w_{40} - w_{10})}, \quad (24)$$

kur I_{40-10} – inerces moments elastīgo deformāciju w_{40}-w_{10} zonā, mm^4;
E_b – dēlīšu materiāla vidējais elastības modulis paliktņu slogojuma gadījumā elastīgo deformāciju robežās, MPa;
$F`_{40}$ – paliktņa slogošanai pieliktais spēks, kas atbilst 0.4 F_{max}, N;
$F`_{10}$ – paliktņa slogošanai pieliktais spēks, kas atbilst 0.1 F_{max}, N;
L_1 – starpbalstu atstatums, mm;
w_{40} – paliktņa izliece, kas atbilst 0.4 F_{max}, mm;
w_{10} – paliktņa izliece, kas atbilst 0.1 F_{max}, mm.

Pretestības momentu elastīgo deformāciju zonā aprēķina pēc sakarības (25):

$$W_{40-10} = \frac{I_{40-10}}{y_c}. \quad (25)$$

Vidējo visu paliktņu stiprību aprēķina pēc sakarības (26):

$$f_v = \frac{M_{max}}{W_p}, \quad (26)$$

kur f_v – paliktņu vidējā stiprība, MPa.

Eksperimentu rezultātā iegūto datu ticamības aprēķins veikts, iegūstot galvenos statistikas rādītājus – paraugkopas vidējo un standartnovirzes vērtību – un izmantojot variāciju statistikas metodi (Liepa, 1974).

Rezultāti un diskusija

Pēc iepriekš aprakstītās metodikas, pārbaudot 47 skujkoku paliktņus, iegūti noturības vidējie rādītāji (skat. 1. tabulu), kā arī paraugkopas izkliedes rādītājs – paraugkopas standartnovirze.

Pētījuma rezultātā noteiktas arī paliktņu pretestības momentu vērtības (skat. 2. tabulu).

Izmantojot iepriekš aprēķinātās un praktiski noteiktās vidējās pretestības momentu vērtības – paliktņu konstrukcijas pretestības momentu un atsevišķi tikai augšējo dēlīšu pretestības momentu (Spulle, 2007), izteiktas attiecības, ko dod paliktņu konstrukcija, jeb noteikta paliktņu savienojumu ietekme uz paliktņu konstrukciju.

Šķēluma laukuma teorētiski aprēķinātais pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņa konstrukcija, salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu, ir:

$$\frac{W_{xt}}{W_{x1}} = \frac{391520}{14060} = 28. \quad (27.1)$$

Pārbaudes brīdī noteiktā vidējā pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņa konstrukcija, salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu, ir:

$$\frac{W_p}{W_{x1}} = \frac{26120}{14060} = 1.9. \quad (27.2)$$

Vidējā pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņu konstrukcija, salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu, pārbaudes brīdī sasniedz 1.9 reizes. Iegūtais rādītājs raksturo klucīšu un dēlīšu naglu savienojumu ietekmi uz paliktņa konstrukcijas nestspēju un stabilitāti slogojuma laikā, kas vizuāli apskatāms 6. attēlā.

Pētījumā izmantotie paliktņi (skat. 1. att.) ir izgatavoti un atlasīti paliktņu ražotnē, izmantojot paliktņu sagataves un klucīšus (skat. 2. att.). Tādējādi pētījumā iegūtie rezultāti (skat. 1. un 2. tabulu) atspoguļo pašreizējo situāciju šajā paliktņu ražotnē.

Jebkura savienojuma noturība un līdz ar to konstrukcijas nestspēja ir atkarīgas no savienojumā pielietoto elementu mitruma (Armstrong, Christensen,

1. tabula / Table 1

Skujkoku paliktņu šķēluma laukuma pretestības raksturlielumi un stiprības rādītāji
Resistance characteristics and strength values of cross section of the softwood pallets

Rādītāja nosaukums / Characteristics	Vidējais vērtība ± standartnovirze / Mean value ± standard deviation
Maksimālais lieces moments M_{max}, N·mm / Maximum bending moment M_{max}, N·mm	15 14 953 ± 178 972
Pretestības moments sagrāves brīdī, W_p, mm^3 / Resistance moment at break, W_p, mm^3	26 120 ± 3086
Inerces moments sagrāves brīdī, I_p, mm^4 / Moment of inertia at break, I_p, mm^4	1 897 879 ± 224 209
Lieces moments, kas atbilst 0.4 F_{max}, M_{40}, N·mm / Bending moment which conforms to 0.4 F_{max}, M_{40}, N·mm	605 953 ± 71 589
Stiprība, kas atbilst 0.4 F_{max}, f_{40}, MPa / Strength which conforms to 0.4 F_{max}, f_{40}, MPa	23 ± 3
Pretestības moments, kas atbilst 0.4 F_{max}, W_{p40}, mm^3 / Resistance moment which conforms to 0.4 F_{max}, W_{40}, mm^3	26 346 ± 1283
Inerces moments, kas atbilst 0.4 F_{max}, I_{p40}, mm^4 / Moment of inertia which conforms to 0.4 F_{max}, I_{40}, mm^4	1 914 300 ± 93 245
Inerces moments elastīgo deformāciju zonā, I_{40-10}, mm^4 / Moment of inertia at zone of elastic deformation, I_{40-10}, mm^4	658 059 ± 32 304
Pretestības moments elastīgo deformāciju zonā, W_{40-10}, mm^3 / Resistance moment at zone of elastic deformation, W_{40-10}, mm^3	9015 ± 445
Paliktņa vidējā stiprība f_v, MPa / Strength (mean) of the pallet, f_v, MPa	58 ± 7

2. tabula / Table 2

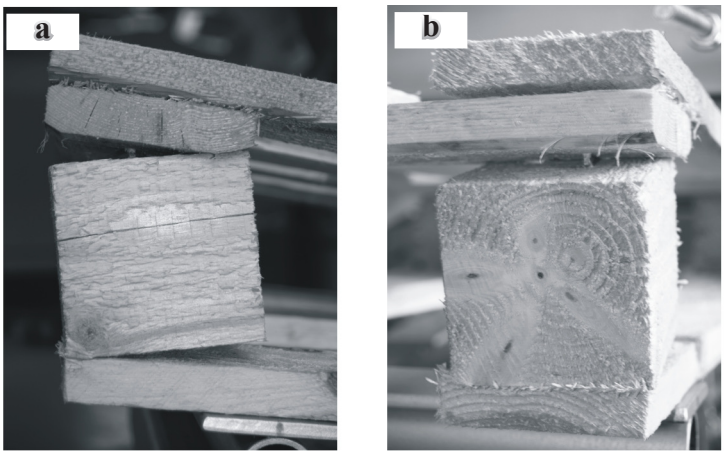
Skujkoku paliktņa konstrukcijas inerces un pretestības momenti
Moments of inertia and resistance of the softwood pallets construction

Rādītājs / Characteristics	Vērtība / Value
Augšējo dēlīšu pretestības moments W_{x1}, mm^3 / Moment of resistance of top deck, W_{x1}, mm^3	14 060
Paliktņa šķēluma laukuma pretestības moments W_{xt}, mm^3 / Moment of resistance of cross section of the pallet, W_{xt}, mm^3	391 520
Pārbaudes brīdī noteiktais vidējais pretestības moments W_p, mm^3 (standartnovirze) / Mean moment of resistance at the moment of testing, W_p, mm^3 (standard deviation)	26 120 (3086)

1961; Mårtensson, Thelandersson, 1990). Mūsu pētījumā paliktņu konstrukcijas pirms to pārbaudes tika izturētas vides apstākļos, kādi paredzēti, lai paliktņus varētu izmantot 2. ekspluatācijas klasē paredzētajos vides apstākļos (Ozola, 2001).

Pētījuma gaitā noteikti paliktņa konstrukcijas pretestības raksturotāji, kā arī stiprības rādītāji katram pārbaudītajam paliktnim. Iegūtie rezultāti izmantoti vidējo lielumu noteikšanai visai pārbaudāmajai paliktņu paraugkopai. Pētījuma rezultāti – paliktņa šķēluma laukuma pretestības raksturlielumi un stiprības rādītāju vērtības (skat. 1. tabulu) – svārstās robežās ± 11–12%.

Nosakot paliktņu nestspējas un noturības rādītājus, ir svarīgi zināt paliktņa konstrukcijas šķēluma laukuma ģeometriskos raksturotājus, kā arī paliktņa



6. att. Skujkoku paliktņa savienojums testēšanas laikā: A – pretskats; B – sānskats.
Fig. 6. Joint of the pallets at the testing time: A – front view; B – side view.

konstrukcijas ekspluatācijas apstākļus. Šajā pētījumā pielietotā aprēķinu metodika ļauj noteikt paliktņu konstrukcijas nestspēju raksturojošos elementus, ņemot vērā paliktņa konstrukcijā iestrādāto sagatavju stiprības un elastību liecē raksturojošos rādītājus.

Veicot paliktņu dēlīšu stiprības aprēķinu, tiek izmantotas divas slogojuma shēmas – elastīgo deformāciju noteikšanai (skat. 3. att.) un sagrāves spēka noteikšanai (skat. 4. att.). Šāda veida klucīšu paliktņu konstrukcijas noturības noteikšanas metode izmantojama ātrai paliktņa nestspējas prognozēšanai. Saprotams, ka faktiskie paliktņu nestspējas rādītāji, ņemot vērā koku sugu un arī koksnes vainu ietekmējošos faktorus, nav vienādi, tāpēc tie, grupējot paliktņus pa koku sugām un kvalitātes šķirām, var būt dažādi.

Pētījuma gaitā noskaidrots, ka paliktņa savienojuma noturība ietekmē paliktņa konstrukcijas noturību. Līdz ar to pētījumi par paliktņa savienojuma noturības uzlabošanu, lai paaugstinātu paliktņa nestspēju, tiek turpināti. Šobrīd Latvijā paliktņu ražošanas uzņēmumos paliktņu sagataves vēl netiek šķirotas pēc kvalitātes, kā to nosaka Eiropas standarta prasības (LVS EN 12246, 1999). Agrāk veiktie pētījumi par paliktņu sagatavju kvalitātes ietekmi uz to fizikāli mehāniskajām īpašībām liecināja, ka P1 un P2 kvalitātes šķirā ietilpstošo sagatavju stiprības rādītāji var atšķirties pat līdz 35% (Spulle, Pušinskis, Rasmanis, 2006), tādēļ pētījumi par paliktņu sagatavju kvalitātes ietekmi uz kopējo paliktņu konstrukcijas nestspēju tiek turpināti.

Secinājumi

1. Noteiktas priedes un egles koksnes kravas paliktņu šķēluma laukuma pretestības raksturlielumu un stiprības rādītāju vidējās vērtības sagrāves brīdī paliktņu pielietošanai mitros ekspluatācijas apstākļos.
2. Pārbaudes brīdī noteiktā vidējā pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņu konstrukcija salīdzinājumā ar augšējo dēlīšu pretestības momentu, skujkoku paliktņiem sasniedz 2 reizes.
3. Pētījumi jāturpina paliktņu stiprības un noturības rādītāju izzināšanā, sagatavojot paliktņus gan pa koku sugām, gan pēc sagatavju kvalitātes, kā arī dēlīšu savienojumu ietekmes uz paliktņu nestspēju izzināšanā sausos un ļoti mitros ekspluatācijas apstākļos.

Literatūra

1. Armstrong, L.D., Christensen, G.N. (1961) Influence of moisture changes on deformation of wood under stress. *Nature,* 191, pp. 869-870.
2. Johansen, K.W. (1949) Theory of timber connections. *International Association of Bridge and Structural Engineering,* Publication No. 9, Bern, Switzerland, pp. 249-262.
3. Liepa, I. (1974) *Biometrija.* Zvaigzne, Rīga, 335 lpp.
4. *LVS EN 12246 Taras un Paliktņu sagatavju šķirošana pēc kvalitātes*. (1999) Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 7 lpp.
5. *LVS EN 13382. Plakani paliktņi izstrādājumu glabāšanai un transportēšanai – Galvenie izmēri.* (2003) Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 13 lpp.
6. *LVS EN 13698-1. Paliktņu ražošanas specifikācija. 1.daļa: 800 mm × 1200 mm plakanu koka paliktņu izgatavošanas specifikācija.* (2003) Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 28 lpp.
7. *LVS EN ISO 445. Paliktņi izstrādājumu glabāšanai un transportēšanai: vārdnīca*. (2003 Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 40 lpp.
8. *LVS EN ISO 8611-1. Paliktņi izstrādājumu glabāšanai un transportēšanai. 1. daļa Testēšana* (2004) Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 27 lpp.

9. Madsen, B. (1973) Duration of load tests for dry lumber in bending. *For. Prod. J.,* 23 (2), pp. 21-28.
10. Mårtensson, A., Thelandersson, S. (1990) Effect of moisture and mechanical loading on wooden materials. *Wood Sci. Technol., 24*, pp. 247-261.
11. Ozola, L. (2001) *Koka konstrukciju projektēšana. 1. daļa. Slodzes, materiāli, elementu aprēķini (EUROCODE 1, EUROCODE 5).* Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 68 lpp.
12. Perstoper, M. (1999) Dynamic testing of logs for prediction of timber strength. *Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference*, pp. 38-42.
13. Sharp, D.J., Craig, B.A. (1996) Load duration effects in structural composite lumber. *Proc. Inernational wood engineering conference, New Orleans, LA*, 4, pp. 113-119.
14. Spulle, U. (2007) *Paliktņu koka konstrukciju mehānisko īpašību pētījumi*. Promocijas darbs, LLU, Jelgava, 110 lpp.
15. Spulle, U., Pušinskis, V. (2006) Research of strength of Euro pallets. *Proceedings of the 5th IUFRO Symposium „Wood Structure and Properties 06", Arbora, Zvolen*, pp. 485-489.
16. Spulle, U., Pušinskis, V., Rasmanis, R. (2006) Statistical criteria of strength of the wooden pallet components. *Fifth Nordic-Baltic Agrometrics Conference, Conference report 1*, *Uppsala*, pp. 139- 142.
17. Thelandersson, S., Larsen, H. J. (2003) *Timber Engineering*. Bognor Regis: John Wiley & Sons, Ltd., 446 pp.
18. Ulpe, J., Kupče, L. (1991) *Koka un plastmasu konstrukcijas*. Zvaigzne, Rīga, 304 lpp.
19. Онуфриев, И.А., Данилевский, А.С. (1958) *Справочник инженера.* Том I. Госстройиздат, Москва, 623 с.