

FLATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

MEŽA FAKULTĀTE
FOREST FACULTY

Mg.sc.ing. ULDIS SPULLE

PALIKTŅU KOKA KONSTRUKCIJU MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU PĒTĪJUMI
RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE WOODEN PALLETS
CONSTRUCTION

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS
Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY OF ACADEMIC DISSERTATION
for acquiring the Doctor's degree Dr.sc.ing.

JELGAVA
2007

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:
Supervisor:

Valentīns Pušinskis
asoc. prof. Dr.sc.ing.

Promocijas darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes (LLU) Meža fakultātes Kokapstrādes katedrā, Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūtā un SIA „MARKO KEA”.

Pētījumi veikti laika posmā no 2004. gada līdz 2007. gadam.

The research is carried out at the Latvia University of Agriculture (LUA), Forest Faculty, Department of Wood Processing, Forest and Wood Products Research and Development Institute and „MARKO KEA” Ltd.

Research was done in period from 2004 till 2007.

Oficiālie recenzenti / Official reviewers:

- prof., *Dr.habil.sc.ing. Arnolds Šķēle*- Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Meža fakultāte, Darba vides katedra, Latvija / Professor of Department of Work area, Forest Faculty, Latvia University of Agriculture, Latvia
- prof., *Dr.sc.ing. Leonards Līpiņš*- Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Meža fakultāte, Meža izmantošanas katedra, Latvija / Professor of Department of Forest Utilization, Forest Faculty, Latvia University of Agriculture, Latvia.
- prof., *Dr.sc.ing. Timo Kärki*- Lapenrantas Tehnoloģiskā universitāte, Somija / Professor of Lappennranta University of Technology, Finland

Promocijas darba izstrāde veikta ar ESF granta atbalstu.

Doctoral thesis has been worked out by financial support of ESF.



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2007. gada 16. novembrī plkst. 13.15 Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē.

The promotion paper will be presented for public criticism in an open session of the Promotion council of Wood materials and technology sub- branch of Forest Sciences and Material Sciences branch of the Latvia University of Agriculture held on November 16th, 2007 at 13:15 o'clock p.m. in conference hall, Dobeles iela 41, Jelgava.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 vai <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

Atsauksmes sūtīt LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes sekretāram LLU profesoram *Dr.sc.ing. A. Drēskam*, Akadēmijas iela 11, Jelgava, Latvija, LV-3001 vai mfmmezizm@llu.lv

The thesis and resume are available at the Fundamental Library of Latvia University of Agriculture, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 or <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

References are welcome to be send to professor *Dr.sc.ing. A. Drēska* the Secretary of the Promotion Council of Wood materials and technology sub- branch of Forest Sciences and Material Sciences branch of the Latvia University of Agriculture, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvia or mfmmezizm@llu.lv.

SATURS / TABLE OF CONTENT

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS.....	4
1 LITERATŪRAS APSKATS.....	7
2 PALIKTŅU RAŽOŠANĀ PIELIETOJAMĀS KOKSNES FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS.....	10
3 PALIKTŅU SAGATAVJU KVALITĀTE UN FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS.....	11
3.1 Priedes koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē.....	13
3.2 Egles koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē	14
3.3 Apses koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē.....	16
3.4 Baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē	18
4 PALIKTŅA KONSTRUKCIJU PĒTĪJUMI	22
4.1 Skujkoku (egles, priedes) paliktņa konstrukciju stiprības un elastības moduļa liecē pētījumi	22
4.2 Lapu koku (baltalkšņa, apses) paliktņa konstrukciju stiprības un elastības moduļa liecē pētījumi	25
4.3 Paliktņu konstrukciju stinguma pētījumi.....	27
4.3.1 Skujkoku paliktņu stinguma pētījumi	27
4.3.2 Lapu koku paliktņu stinguma pētījumi	28
4.4 Paliktņu robežstiprība atkarībā no to ekspluatācijas apstākļiem.....	28
5 PALIKTŅU NESTSPĒJAS PROGNOZĒŠANA, IZMANTOJOT IZSTRĀDĀTO DATORPROGRAMMU	30
6 SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI.....	33
DARBA APROBĀCIJA / APROBATION OF RESEARCH RESULTS.....	35
 GENERAL DESCRIPTION OF WORK.....	36
1 DESCRIPTION OF LITERATURE	39
2 PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD USED IN PALLETS PRODUCTION.....	39
3 PALLETS COMPONENT QUALITY AND PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES.....	40
3.1 Pine wood pallets components bending strength	41
3.2 Spruce wood pallets components bending strength	41
3.3 Aspen wood pallets components bending strength	42
3.4 Grey alder wood pallets components bending strength	42
4 RESEARCH OF PALLET CONSTRUCTION.....	43
4.1 Research of softwood (spruce, pine) pallet construction resistance and modulus of elasticity in bending	43
4.2 Research of hardwood (grey alder, aspen) pallet construction resistance and modulus of elasticity in bending	44
4.3 Stiffness research of pallets constructions	45
4.3.1 Stiffness research of softwood pallets.....	45
4.3.2 Stiffness research of hardwood pallets.....	46
4.4 Pallet strength depending on exploitation conditions	46
5 FORECASTING LOAD CARRYING CAPACITY OF THE PALLETS, USING THE DEVELOPED COMPUTER PROGRAM.....	46
6 CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS	47

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Meža kopplatība Latvijā ir~ 3 milj. ha jeb gandrīz 45% no valsts teritorijas. Mežainums Latvijā pēdējos 70 gados no 1935. gada līdz 2005. gadam ir pieaudzis par 1.7 reizēm, un tam ir tendence nākotnē vēl palielināties uz lauksaimniecības zemju rēķina.

Mežaudžu krāja visos mežos kopā ir 569 milj. m³, tajā skaitā skujkoku krāja ir 330 milj. m³, lapu koku- 239 milj. m³.

Latvijas meža kopējais tekošais krājas pieaugums- 16.5 milj. m³.

Pēc platības valdošo koku īpatsvars mežaudzēs ir šāds: priede aizņem 37.2%, bērzs 30%, egle 18.2%, baltalksnis 6.8%, apse 3.8%, melnalksnis 2.7%, osis 0.6%, ozols 0.3% un citas koku sugas 0.2%.

Meža nozare ir lielākā eksporta nozare valstī. Latvijas meža nozares produktus ražo galvenokārt eksportam- gandrīz 90% no visas saražotās produkcijas.

Galvenās eksporta preces ir zāgmateriāli, saplākšņi, papīrmalka, koksaidu plātnes un paliktņi un to materiāli.

Dažādu koksnes produktu eksports nemitīgi pieaug. Īpaši liels pieaugums vērojams zāgmateriālu un paliktņu materiālu eksportā.

Meža nozares produkcijas eksports kopš 1996. gada ir pieaudzis vairāk nekā divas reizes, 2005. gadā sasniedzot 796.846 miljonus latu, kas ir 27% no Latvijas kopējās eksporta vērtības.

Laika posmā no 1995.- 2002. gadam Latvijā koka taras kopējais eksports pieaudzis 27 reizes.

2003. gadā gatavās taras eksports sasniedza 163.5 tūkst. t no kopējā meža nozares eksporta, bet imports- 7.6 tūkst. t.

2004. gadā gatavās taras eksports sasniedza 156.5 tūkst. t no kopējā meža nozares eksporta, bet 2005. gadā tas samazinājās līdz 146.7 tūkst. t, jeb par 6.2%.

Savukārt taras materiālu importā vērojama pretēja tendence- 2004. gadā gatavās taras apjoms bija 9.7 tūkst. t, bet 2005. gadā tas pieauga līdz 16.6 tūkst. t, jeb 71.9%.

Naudas izteiksmē izsakot, 2006. gada pirmajos desmit mēnešos gatavās taras eksports ir pieaudzis par 7.5% un sasniedza 21.8 milj. latu. Turpretī gatavās taras importā nav vērojams tik liels pieaugums, un 2006. gada pirmajos desmit mēnešos gatavās taras imports ir pieaudzis par 0.5% un sasniedza 2.8 milj. latu.

Paliktņu un to sagatavju lielākie ražotāji ir Marko KEA, Kurekss, Lindeks.

Paliktņu un to sagatavju ražošanai Latvijā izmanto:

1. Maza diametra (10... 16 cm) skuju koku (egles un priedes) apaļos sortimentus un lapu koku (galvenokārt apses un baltalkšņa) taras klučus ar diametru 10... 40 cm.
2. Zāgētavu piegādātos plānos malējos dēļus biezumā 14... 19 mm.

Izejmateriāli dažādiem ražošanas procesiem kļūst arvien dārgāki, un līdz ar to konkurence tirgū saasinās.

Jāņem vērā arī tas, ka pētījumi par lapu koku koksnes pielietojamību vispār ir veikti salīdzinoši maz, jo galvenā uzmanība visu laiku tikusi pievērsta skujkokiem.

Tādēļ svarīgi ir ne tikai palielināt lietderīgo iznākumu, bet iespēju robežās izmantot lētāku un ātraudzīgo koku sugu: baltalkšņa, apses u.c. koksni.

Paliktņu ekspluatācijas procesā būtiski svarīga ir to stiprība, kā arī nestspēja. Kā rāda literatūras pētījumi, paliktņa stiprība lielā mērā ir atkarīga no sagatavju stiprības un elastības moduļa rādītājiem.

Tā kā dažādu koka sugu koksnes minētie rādītāji ir atšķirīgi, tad paliktņu konstrukcijās izmantoto sagatavju šķērsgrēzuma izmēri ir atkarīgi ne tikai no slodzes

lieluma, rakstura un ekspluatācijas apstākļiem, bet arī no izmantotās koksnes robežstiprības raksturlielumiem.

Ātrai un operatīvai dēlīšu šķērsgriezuma izmēru un paliktņu nestspējas prognozēšanai nepieciešams izstrādāt datorprogrammu, kā arī izstrādāt nesagraujošu paliktņu pārbaudes metodi paliktņu šķirošanai pēc to nestspējas.

Pētījuma mērķis

Ņemot vērā iepriekš izklāstītos apsvērumus, promocijas darba mērķis ir izpētot paliktņu stiprības un dēlīšu materiāla elastības moduļa sakarību, izstrādāt nesagraujošu pārbaudes metodi paliktņu nestspējas noteikšanai, kā arī izstrādāt datorprogrammu paliktņu nestspējas prognozēšanai.

Darba uzdevumi

- paliktņu ražošanai izmantojamo koka sugu koksnes robežstiprības liecē un elastības moduļa pētījumi;
- paliktņu sagatavju kvalitātes, robežstiprības un elastības moduļa liecē pētījumi;
- paliktņu stiprības un dēlīšu materiāla elastības moduļa liecē sakarības pētījumi;
- paliktņu stiprības liecē raksturlielumu izpēte, ņemot vērā dēlīšu un klucīšu savienojumus;
- nesagraujošas pārbaudes metodes izstrāde paliktņu nestspējas noteikšanai;
- datorprogrammas izstrāde, izmantojot programmēšanas valodu C# (C sharp), paliktņu nestspējas prognozēšanai atkarībā no dēlīšu izmēriem, koksnes sugas mehāniskajām īpašībām un ekspluatācijas apstākļiem.

Pētījumu metodes

Pētījumi saskaņā ar izvirzīto mērķi un no tā izrietošiem uzdevumiem veikti ar matemātiskām aprēķinu un datora modelēšanas, kā arī ar eksperimentālo datu iegūšanas metodēm. Metožu pamatā ir koksnes un paliktņu sagatavju fizikāli mehānisko īpašību pētījumi, to salīdzināšana un analizēšana, kā arī nesagraujošas paliktņu konstrukciju pārbaudes metodes izstrāde, ar kuras palīdzību, nosakot paliktņa stiprības liecē rādītājus, tiek veikta augstāk minēto uzdevumu izpilde.

Darbā aprakstītā pārbaudes metodika ļauj noteikt paliktņa konstrukcijas nestspēju, ņemot vērā koka sugu, dēlīšu šķērsgriezuma izmērus un paliktņu ekspluatācijas apstākļus. Darbā izmantota LLU Koksnes un koksnes materiālu zinātniskās laboratorijas un Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūta Testēšanas laboratorijas pieejamās materiālu pārbaudes iekārtas un datortehnika.

Pētījumu veikšanai atlasītas paliktņu sagataves un paliktņi sagatavoti paliktņu ražotnē. Mehānisko īpašību noteikšana veikta izmantojot materiālu stiprības pārbaudes iekārta ZWICK/Z100 Nr. 146956.

Pētījumā iegūto datu apstrādē izmantota datorprogrammas pakete MS Excel Analyze-it.

Zinātniskā novitāte

- izstrādāta nesagraujoša paliktņu stiprības noteikšanas metode, kura balstīta uz paliktņa dēļšu materiāla elastīgo deformāciju noteikšanas pamata.
- izstrādāta datorprogramma, izmantojot programmēšanas valodu C# (C sharp), kas ļauj noteikt paliktņu nestspēju atkarībā no dēļšu šķērsgriezuma izmēriem, koksnes mehāniskajām īpašībām un ekspluatācijas apstākļiem.
- pētījuma metodika un iegūtie rezultāti var tikt izmantoti, izstrādājot attiecīgu iekārtu paliktņu nestspējas noteikšanai ražošanas procesa tehnoloģiskajā līnijā.
- veikta paliktņu ražošanā pielietoto koka sugu baltalkšņa (*Alnus incana* L. Moench), apses (*Populus tremula* L.) koksnes fizikāli mehānisko īpašību rādītāju noteikšana, kā arī paliktņu sagatavju kvalitātes un koksnes vainu ietekme, nosakot fizikāli mehānisko īpašību rādītājus liela izmēra paraugiem.

Iegūtie rezultāti un praktiskā nozīme

Izmantojot pētījuma rezultātā iegūtos datus var spriest par Latvijā auguša baltalkšņa (*Alnus incana* L. Moench), apses (*Populus tremula* L.) koksnes fizikāli mehāniskajām īpašībām.

Pētījuma rezultāti par paliktņu sagatavju kvalitāti un mehānisko īpašību rādītājiem parāda, ka paliktņu stiprības un noturības rādītāji ir atkarīgi no paliktņu sagatavju kvalitātes un mehāniskajām īpašībām. Lai nodrošinātu garantēto paliktņu nestspēju, paliktņu sagataves pirmsapstrādes procesā un arī paliktņus būtu ieteicams šķirot, sloganot paliktņu konstrukciju elastīgo deformāciju robežās.

Pētījuma rezultātā ir izstrādāta datorprogramma paliktņu nestspējas prognozēšanai, kā arī nesagraujoša paliktņu nestspējas noteikšanas metode, kuru iespējams izmantot paliktņu ražošanas tehnoloģiskajā plūsmā paliktņu šķirošanai.

Darba struktūra

Darbs strukturēts piecās nodaļās:

1. nodaļa. Literatūras apskats par paliktņu ražošanu un paliktņu ražošanā pielietojamiem materiāliem, to stiprību un noturību, kā arī līdzsinējām pārbaudes metodēm.
2. nodaļa. Pētījuma rezultāti par paliktņu ražošanā pielietojamo mīksto lapu koku (apse, baltalkšņa) fizikāli- mehāniskajām īpašībām.
3. nodaļa. Pētījuma rezultāti par paliktņu sagatavju kvalitātes un fizikāli mehāniskajām īpašībām.
4. nodaļa. Pētījuma rezultāti par paliktņu konstruktīvajiem risinājumiem, izvērtējot skujkoku un lapu koku paliktņu konstrukciju robežstiprību un noturību.
5. nodaļa. Pētījuma rezultāti par paliktņu sagatavju šķērsgriezuma izmēru noteikšanu, izstrādājot datorprogrammu paliktņu nestspējas prognozēšanai atkarībā no dēļšu izmēriem, koku sugars un ekspluatācijas apstākļiem, izmantojot programmēšanas valodu C# (C sharp).

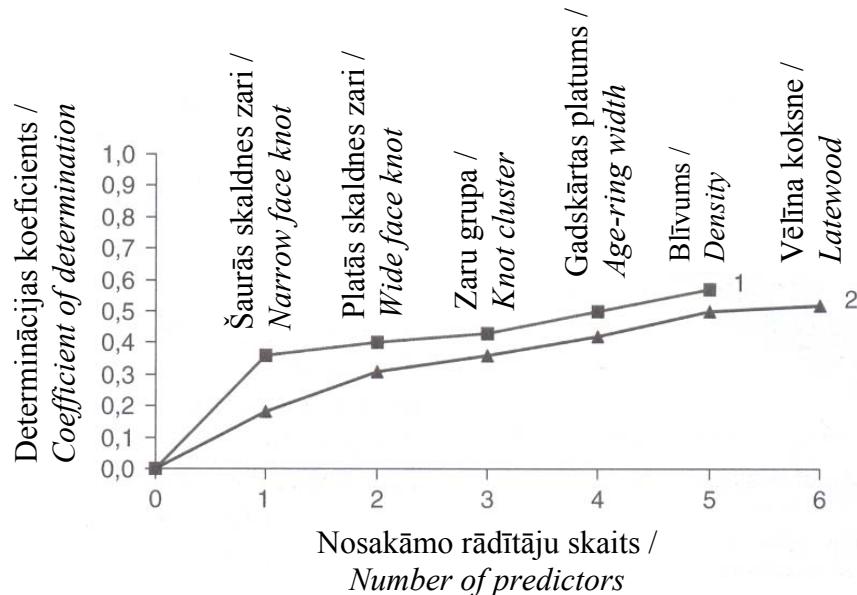
Kopumā darbs noformēts uz 110 lpp., 76 att., 27 tab.

Izmantotās literatūras sarakstā 91 avots.

1 LITERATŪRAS APSKATS

Literatūras apskatā analizēti dažādu autoru paliktņu ražošanai izmantojamo koku sugu koksnes mehānisko īpašību pētījumi.

Noskaidrots, ka mehānisko īpašību galvenie ietekmējošie faktori ir blīvums, mitrums, vēlīnās koksnes procents, mēroga faktors un vainu klātbūtne (skat. 1.1. att.).



1.1. att. Multiplās regresijas analīze

1- robežstiprībai liecē; 2- robežstiprībai stiepē

Fig. 1.1 Analyses of multiple regressions

1- bending strength; 2- tension strength

Palielinot pārbaudāmā parauga izmērus, sakarā ar koksnes anizotropiskuma ietekmi veidojas neviemērīgs sprieguma sadalījums parauga šķērsgrīzumā. Nevienmērīgais spriegumu sadalījums un vainu klātbūtne lielos paraugos pazemina koksnes stiprību salīdzinājumā ar standarta (tīrās koksnes) paraugiem. Pie lieliem paraugiem pieskaitāmas arī paliktņu ražošanai izmantojamās sagataves. Nemot vērā iepriekš izklāstītos aspektus, paliktņu sagataves pirms to iestrādes paliktņu konstrukcijā būtu jāšķiro, šķirošanas laikā nosakot tās koksnes īpašības un koksnes vainas, kuras visvairāk ietekmē paliktņu sagataves stiprību- tās, kuras ir viegli noteikt vizuāli vai mehāniski, t.i. zari, plaisas.

Dažādu autoru pētījumi par kokmateriālu fizikāli mehāniskajām īpašībām un to savstarpējo sakarību apkopoti 1.1. tabulā.

1.1. tabula / Table 1.1

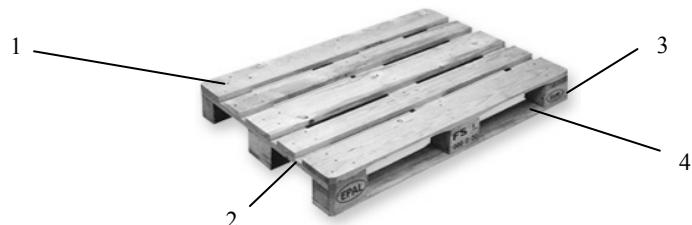
**Kokmateriālu dažu fizikāli- mehānisko īpašību savstarpējā sakarība/
Mutual coherence of some wood physical mechanical properties**

Rādītājs / Indicator	Determinācijas koeficients R^2 / Coefficient of determination R^2						
	Robežstiprība liecē / Bending strength				Robežstiprība stiepē / Tension strength		
	pēc Johansona (1992) / According to Johansson (1992)	pēc Hofmeiera (1984) / According to Hofmeyer (1984)	pēc Hofmeiera (1990) / According to Hofmeyer (1990)	pēc Laknera un Foslija (1988) / According to Lacner and Fosly (1988)	pēc Johansona (1992) / According to Johansson (1992)	pēc Glosa un Heimšofa (1982) / According to Gloss and Heimhof (1982)	pēc Johansona (1976) / According to Johansson (1976)
Zari / Knots	0.27	0.20	0.16	0.25	0.36	0.42	0.30
Gadskārtas platumis / Annual ring width	0.21	0.27	0.20	0.44	0.36	0.33	0.28
Blīvums / Density	0.16	0.30	0.16	0.40	0.38	0.29	0.38
Elastības modulis, liece vai stiepe / Modulus of elasticity in bending or tension	0.72	0.53	0.55	0.56	0.70	0.69	0.58
Zaru un gadskārtas platuma kopums/ Knots and annual ring width combined	0.37	0.42	0.39	-	0.49	-	-
Zaru un blīvuma kopums/ Knots and density combined	0.38	-	0.38	-	0.55	0.61	0.64
Zaru un elastības moduļa kopums/ Knots and modulus of elasticity	0.73	0.58	0.64	-	0.70	0.76	0.78

Kā redzams tabulā 1.1 un kā ir pierādījuši citu valstu pētnieku veiktie pētījumi, tad visciešākā sakarība ir vērojama starp zaru aizņemto laukumu un elastības moduli liecē.

Taču visi šie pētījumi ir veikti standartizētiem un pielietojamiem taisnstūra šķērsgriezuma paraugiem un nav īsti skaidrības kā šie materiāli uzvedas, izmantojot tos konstrukcijā. Tāpēc pētījuma turpinājumā analizētas paliktņu konstrukcijas, prasības un pārbaudes metodes.

Visizplatītākā paliktņu konstruktīvais risinājums pasaulei un arī Eiropā ir tā saucamais klucīšu konstrukcijas paliktnis (skat. 1.2. att.).



1.2.att. Klucīšu konstrukcijas paliktna

1- virsējais dēlītis; 2- garendēlītis; 3- klucītis; 4- apakšējais dēlītis

Fig. 1.2 Construction of Block pallet:

1- top deck board; 2- top stringer board; 3- block; 4- bottom deck board

Apskatītas arī citu materiālu pielietošanas iespējas un to īpašību salīdzinājums (skat. 1.2. tabulu).

1.2. tabula / Table 1.2

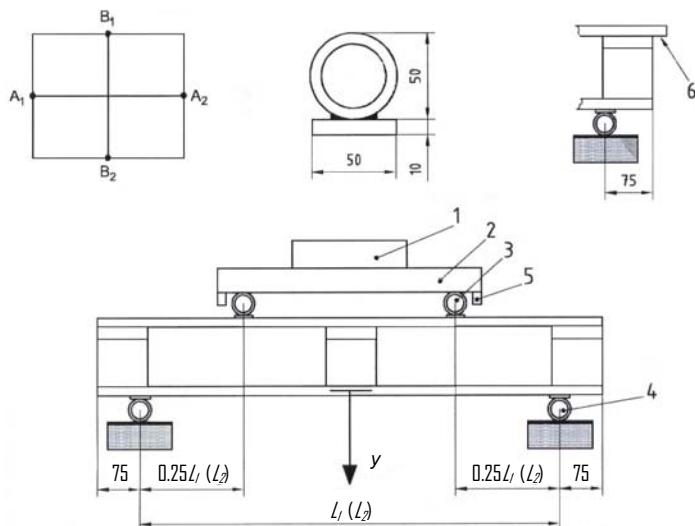
**Dažādu plātnu materiālu īpašību salīdzinājums /
Comparison of different pallet materials properties**

Iepakojumam izmantojamais materiāls / Material used for packaging	Formas stabilitāte / Stability of form	Noturība, ilgizturība / Resistance, durance	Masas attiecība pret stabilitāti / Proportion of mass and stability	Apstrādājamība / Possibilities of processing	Konstrukcijas ekonomiskums / Economy of construction
Kokskaidu plātnes / Particle boards	√√	√	√	√√√	√
Saplāksnis / Plywood	√√√√√	√√√	√√√	√√√	√√√
Masīvkoksne / Solid wood	√√	√√	√√√	√√√	√√
OSB plātnes / OSB boards	√√√√√	√√√√	√√√√	√√√√√	√√√√√√

√ nepietiekama; √√ pietiekama; √√√ apmierinoša; √√√√ laba; √√√√√ ļoti laba/
√ insufficient; √√ sufficient; √√√ satisfactory; √√√√ good; √√√√√ very good

Tabulā 1.2 redzams, ka vislielākais konkurents masīvkoksnei ir OSB (Orientēto kokskaidu plātnē). Taču, runājot par līdz šim visplašāk pielietoto koksnes materiālu paliktņu izgatavošanai Eiropā, ir jāmin koksne. Tāpēc arī tālākie pētījumi veikti paliktņu koka konstrukcijām.

Analizējot paliktņu pārbaudes metodes, konstatēts, ka visplašāk pielietota tiek pārbaude liecē (skat. 1.3. att.).



1.3. att. Pārbaudes liecē slogojuma shēma (LVS EN ISO 8611-1, 2004)

1- slodzes pielikšana; 2- slodzes plātnē; 3- augšējie slogošanas atbalsti; 4- apakšējie atbalsti; 5- drošības svira; 6- pārkare

Fig. 1.3 Scheme of testing in bending (LVS EN ISO 8611-1, 2004):
1- test load; 2- load board; 3- load applicator; 4- support; 5- safety stop; 6- overhang

Apskatot un analizējot paliktņu pārbaudes metodes, nav atrasta neviena paliktņu stiprības noteikšanas metode, to nesagraujot. Tāpēc tālākā pētījuma gaitā izvirzīts mērķis - paliktņu nesagraujošās metodes izstrāde, lai noteiktu paliktņa konstrukcijas stiprību un varētu prognozēt tā nestspēju. Literatūras analīzes rezultātā iegūtie dati tālāk izmantoti darbā risināto uzdevumu realizēšanai.

2 PALIKTNU RAŽOŠANĀ PIELIETOJAMĀS KOKSNES FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Koksne ir anizatrops materiāls- tās fizikāli mehāniskās īpašības ir atkarīgas no daudziem faktoriem, it īpaši no šķiedru virziena. Arī dažādu koku sugu koksni raksturo dažādi fizikāli mehānisko īpašību rādītāju lielumu un to izkliede var būt ļoti liela.

Paliktņu ražotajiem trūkst izsmēlošas informācijas par paliktņu ražošanā izmantojamās koksnes fizikāli mehānisko īpašību rādītājiem. Līdz ar to rodas nepieciešamība raksturot šo koku sugu fizikāli mehāniskās īpašības.

Tādēļ pētījumā veikti paliktņu ražošanā pielietoto mīksto lapu koku sugu salīdzinoši mehānisko īpašību pētījumi liecē, nemot vērā koksnes blīvumu un mitrumu rādītājus, kurus noteica testēšanas laikā. Koksnes mitrums testēšanas brīdi 12%.

Pārbaudes veiktas, izmantojot standarta DIN 52186 metodiku.

Veikts iegūto mīksto lapu koku sugu rezultātu salīdzinājums ar LLU iepriekš skujkoku (egles un priedes) veiktajiem pētījumiem. Iegūtie rezultāti apkopoti 2.1. tabulā.

2.1 tabula / Table 2.1

**Paliktņu ražošanā pielietojamo koku sugu
stiprības un elastības moduļa liecē vērtību salīdzinošie rādītāji (W=12%) /
Wood species used in pallets production comparative indicators in resistance and
modulus of elasticity in bending (W=12%)**

Koku suga / Wood species	Stiprības robeža liecē f_b, MPa / Bending strength f_b, MPa	Elastības modulis liecē E_b, GPa / Modulus of Elasticity in bending E_b, GPa	Blīvums ρ, kg·m⁻³ / Density ρ, kg·m⁻³
Egle 2002. gada pētījums / <i>Spruce research of 2002</i>	106.4	13.7	507
Egle 2005. gada pētījums / <i>Spruce research of 2005</i>	108.6	14.1	531
Priede 2005. gada pētījums / <i>Pine research of 2005</i>	113.5	14.4	567
Apse (veiktie pētījumi) / <i>Aspen (research carried out)</i>	90.7	12.6	521
Baltalksnis (veiktie pētījumi) / <i>Grey alder (research carried out)</i>	85.5	10.5	510

Pētījuma rezultāti salīdzināti ar iepriekš veiktajiem skujkoku- egles koksnes 2002. un 2005. gadā LLU Kokapstrādes katedrā veiktajiem egles un priedes koksnes mehānisko īpašību rādītājiem.

Pētījuma rezultāti rāda, ka Latvijā augušās egles koksnes robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības salīdzinoši ir augstākas nekā baltalkšņa koksnei: robežstiprība liecē vidēji par 20.5%; bet elastības modulis liecē par 24.5%.

Latvijā augušās priedes koksnes robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības salīdzinoši ir augstākas nekā baltalkšņa koksnei: robežstiprība liecē vidēji par 24.7%; bet elastības modulis liecē par 27.1 %.

Latvijā augušās egles koksnes robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības salīdzinoši ir augstākas nekā apses koksnei: robežstiprība liecē vidēji par 15.6%; bet elastības modulis liecē par 9.4%.

Latvijā augušās priedes koksnes robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības salīdzinoši ir augstākas nekā apses koksnei: robežstiprība liecē vidēji par 20.1%; bet elastības modulis liecē par 12.5%.

Latvijā augušās apses koksnes robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības ir augstākas nekā baltalkšņa koksnei: robežstiprība liecē- par 5.7 %, elastības modulis- par 16.7 %.

3 PALIKTŅU SAGATAVJU KVALITĀTE UN FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Palielinoties paraugu izmēriem, pieaug koksnes vainu klātbūtnes esamības varbūtība, kā arī rodas mēroga faktora ietekme, kas samazina parauga mehānisko īpašību rādītājus.

Pie lieliem paraugiem pieskaitāmas arī paliktņu sagataves. Tāpēc jāveic paliktņu ražošanā pielietojamo koka sugu paliktņu sagatavju kvalitātes un mehānisko īpašību pētījumi.

Lai veiktu paliktņu sagatavju robežstiprības pētījumus, bija nepieciešama arī to šķirošana pēc kvalitātes šķirām atbilstoši LVS EN 12246 standarta prasībām,

Sagataves tiek iedalītas P1 un P2 kvalitātes šķiras. Augstāk minētais standarts ir paredzēts taras un paliktņu zāģēto sagatavju šķirošanai pēc kvalitātes šķirām.

Pētījums veikts, lai noteiktu katras kvalitātes šķiras īpatsvaru, kā arī noteiktu katras paliktņu sagatavju kvalitātes šķiras vidējos mehānisko īpašību rādītājus.

Paliktņu sagatavju kvalitātes pētījums nepieciešams, lai noskaidrotu, kura koksnes vaina sastāda lielāko īpatsvaru katrā kvalitātes šķirā.

Zaru uzmērīšanai pēc standarta LVS EN 1310 (2000) prasībām ir doti divi paņēmieni: "Vispārējais paņēmiens"- šķirošanai pēc ārējā izskata un "Alternatīvais paņēmiens", ja jānovērtē zāgmateriāla, taras materiāla vai paliktņu sagataves stiprība.

Paliktņu sagatavju šķirošana veikta pēc "Alternatīvā paņēmienā" metodes, kas nosaka, ka zaru aizņemtais laukums jāuzmēra paliktņu sagataves platajā skaldnē.

Veikto pētījumu rezultāti par koksnes vainu sadalījumu pa koku sugām un kvalitātes šķirām apkopoti 3.1. tabulā.

3.1. tabula / Table 3.1

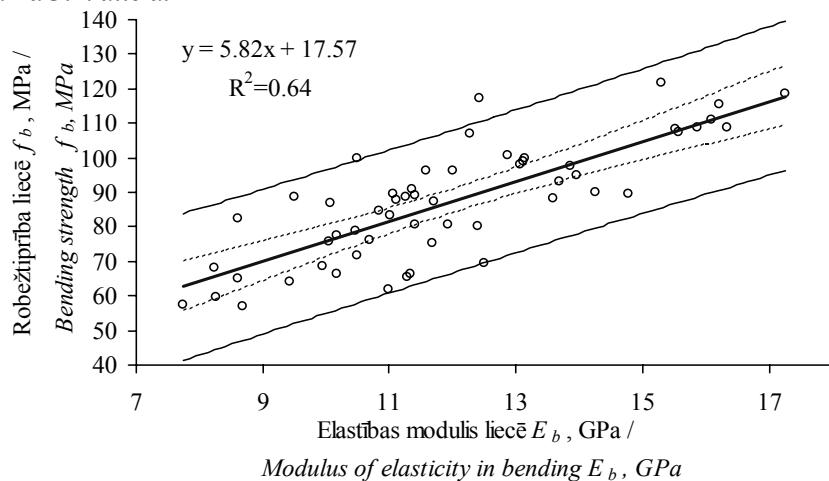
Koksnes vainu sadalījums pa koku sugām un kvalitātes šķirām /
Division of wood defects according to wood species and quality categories

KOKSNES VAINAS / WOOD DEFECTS	KOKSNES VAINU SASTOPAMĪBA DAŽĀM KOKU SUGĀM, % / WOOD DEFECTS INCIDENCE OF DIFFERENT SPECIES, %											
	PRIEDE / PINE			EGLE / SPRUCE			APSE / ASPEN			BALTALKSNIS / GREY ALDER		
	P1,%	P2,%	Brāķis / Defectives	P1,%	P2,%	Brāķis / Defectives	P1,%	P2,%	Brāķis / Defectives	P1,%	P2,%	Brāķis / Defectives
1 Zari / 1 Knots	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1 Zari- saaudzis, daļēji saaudzis / 1.1 Knots- Accreted or partially accreted	55.8	6.8	4.1	46.5	5.1	1.8	45.1	11.4	3.8	29.9	12.3	4.5
1.2 Zari- trupējis, izkrītošs / 1.2 Rotten, falling out	17.6	0.3	0.3	16.6	8.6	3.8	12.8	-	0.6	13.3	0.4	-
1.3 Krusta zars / 1.3 Cross knot	-	-	-	-	-	-	3.7	-	-	6.9	-	-
2 Serde, valēja vai slēgtā / 2 Heart, open or closed	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Plaisas / 3 Steaks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1 Platās skaldnes plaisas / 3.1 Wide side steaks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.2 Caurejošās plaisas / 3.2 Intersecting steaks	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	0.6	0.5
4 Sveķu ligzdas / 4 Raisin nests	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Mizas ieaugums / 5 Bark ingrown	-	-	4.7	-	-	2.6	0.3	-	0.2	-	-	7.5
6 Sēņu bojājumi (izņemot zilējumu) / 6 Fungus damages (excluding blue stain)	-	-	-	-	-	0.8	2.1	-	10.9	5.7	0.1	6.6
7 Aktīvie kukaiņu bojājumi / 7 Active insect damages	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 Tumšās kukaiņu ejas / 8 Dark insect passages	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 Lokmalas / 9 Bow-shaped edge	-	1.3	9.1	4.3	6.9	3.0	3.0	0.8	5.1	6.7	1.2	3.8
Kopā / Total:	73.4	8.4	18.2	67.4	20.6	12.0	67.0	12.0	20.8	62.5	14.6	22.9

Pētījuma rezultātā noskaidrots, ka visvairāk sastopamā koksnes vaina ir zari ~ 80%. Pētījumu turpmākajā gaitā paliktņu sagatavju robežstiprības pārbaudes tika veiktas paliktņu sagatavēm bez koksnes vainām, kā arī paliktņu sagatavēm ar koksnes vainām. Pārbaudes veiktas, izmantojot standarta LVS EN 408 metodiku.

3.1 Priedes koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē

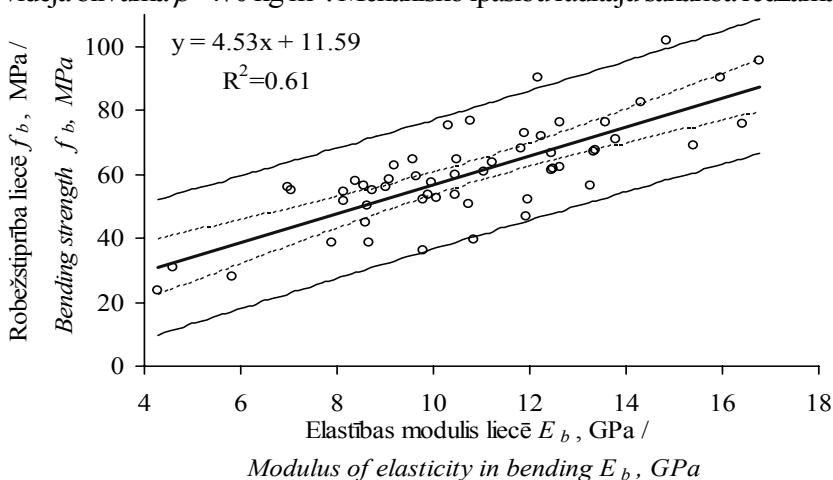
Pārbaudot 55 priedes koksnes paliktņu sagataves bez koksnes vainām (izmēri $17 \times 100 \times 315$ mm), iegūtas šādas vidējās vērtības: robežstiprība liecē $f_b = 87.1$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 12.0$ GPa (skat. 3.2. un 3.6. tabulu) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 470 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakārība redzama 3.1. attēlā.



3.1. att. Priedes koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības moduļa liecē

Fig. 3.1 Pine wood pallet components without wood defects changes of bending strength depending on modulus of elasticity in bending

Priedes koksnes paliktņu sagatavju ar koksnes vainām pārbaudes rezultātā noteiktā robežstiprības liecē vidējā vērtība: $f_b = 60.4$ MPa, elastības moduļa liecē vidējā vērtība $E_b = 10.8$ GPa (skat. 3.2. un 3.6. tabulu) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 470 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakārība redzama 3.2. attēlā.



3.2. att. Priedes koksnes paliktņu sagatavju ar koksnes vainām robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības moduļa liecē

Fig. 3.2 Pine wood pallets components with wood defects changes of bending strength depending on modulus of elasticity in bending

Kopā tika pārbaudīti 110 paraugi. Līdz ar to, tika iegūtas priedes koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām un ar koksnes vainām robežstiprības vidējās vērtības: robežstiprība liecē $f_b = 73.8$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 11.4$ GPa pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 470$ kg·m⁻³. Priedes koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām robežstiprības rādītāji ir augstāki par paliktņu sagatavju ar koksnes vainām robežstiprības rādītājiem: robežstiprība liecē par 30.7%, elastības modulis liecē 10.2%.

3.2. tabula / Table 3.2

**Priedes paliktņu sagatavju robežstiprības rādītāji liecē pie koksnes mitruma W=12% un W=20% /
Pine wood pallets components bending strength with wood moisture content W=12% and W=20%**

Rādītājs / Indicator	Robežstiprība liecē $f_{b\ 12}$, MPa / Bending strength $f_{b\ 12}$, MPa	Robežstiprība liecē $f_{b\ 20}$, MPa / Bending strength $f_{b\ 20}$, MPa
Priedes paliktņu sagataves / Pine wood pallet components		
Paliktņu sagataves bez koksnes vainām / Pallet components without defects	87.1	62.7
Paliktņu sagataves ar koksnes vainām / Pallet components with defects	60.4	43.5
Paliktņu sagataves bez un ar koksnes vainām / Pallet components with and without defects	73.8	53.1
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P1 šķirai / Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P1	75.0	54.0
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P2 šķirai / Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P2	47.0	33.8

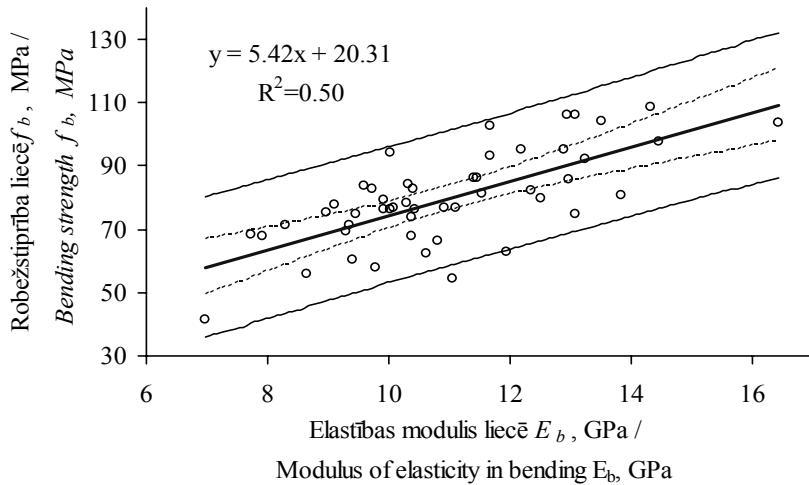
Pēc tabulas 3.2. rezultātu apkopošanas redzams, ka visaugstākie robežstiprības radītāji ir priedes koksnes paliktņu sagatavēm bez koksnes vainām un LVS EN 12246 P1 šķiras paraugiem.

Vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai ir 75 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 37.3% zemāka- 47 MPa.

Veikts priedes koksnes paliktņu sagatavju robežstiprības vērtību pārrēķins no 12% uz 20% (skat. 3.2. tabulu), kas nepieciešams tālākajiem paliktņu konstrukcijas stiprības aprēķinam.

3.2 Egles koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē

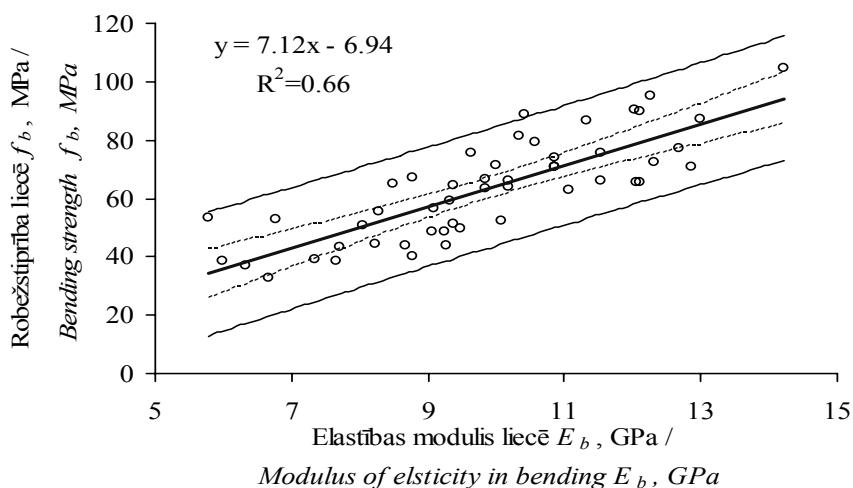
Pārbaudot 50 egles koksnes paliktņu sagataves bez koksnes vainām (izmēri 17×100×315 mm), noteikts, ka robežstiprības liecē vidējā vērtība $f_b = 79.7$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 11.0$ GPa (skat. 3.3. un 3.6 tabulu) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 450$ kg·m⁻³. Mehānisko īpašību rādītāju sakarība redzama 3.3. attēlā.



3.3. att. Egles koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām robežstiprības liecē atkarība no elastības modula liecē

Fig. 3.3 Spruce wood pallets components without wood defects bending strength depending on modulus of elasticity in bending

Salīdzināšanai pārbaudīti arī 50 egles koksnes paliktņu sagataves ar koksnes vainām, kā rezultātā noteikta robežstiprības liecē vidējā vērtība $f_b = 63.2$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 9.9$ GPa (skat. 3.3. un 3.6. tabulu) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakarība redzama 3.4. attēlā.



3.4. att. Egles koksnes paliktņu sagataves ar koksnes vainām robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības modula liecē

Fig. 3.4 Spruce wood pallets components with wood defects bending strength depending on modulus of elasticity in bending

Noteikti arī robežstiprības un elastības modula vidējie rādītāji egles koksnes paliktņu sagatavēm bez koksnes vainām un ar koksnes vainām: robežstiprība liecē $f_b = 71.5$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 10.5$ GPa pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Paliktņu sagatavju bez koksnes vainām robežstiprības rādītāji ir augstāki par paliktņu sagatavju ar koksnes vainām robežstiprības rādītājiem: robežstiprība liecē par 20.7%, elastības modulis liecē par 10% (skat. 3.3. tabulu).

3.3. tabula / Table 3.3

Egles paliktņu sagatavju robežstiprības rādītāji liecē pie koksnes mituma W=12% un W=20% / Spruce wood pallets components bending strength with wood moisture content W=12% and W=20%

Priedes paliktņu sagataves / Pine wood pallet components	Rādītājs / Indicator	Robežstiprība liecē f_b 12, MPa / Bending strength f_b 12, MPa	Robežstiprība liecē f_b 20, MPa / Bending strength f_b 20, MPa
Paliktņu sagataves bez koksnes vainām / Pallets component without defects		79.7	57.4
Paliktņu sagataves ar koksnes vainām / Pallets component with defects		63.2	45.5
Paliktņu sagataves bez un ar koksnes vainām / Pallets component with and without defects		71.5	51.5
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P1 šķirai / Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P1		69.0	49.7
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P2 šķirai / Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P2		51.1	36.8

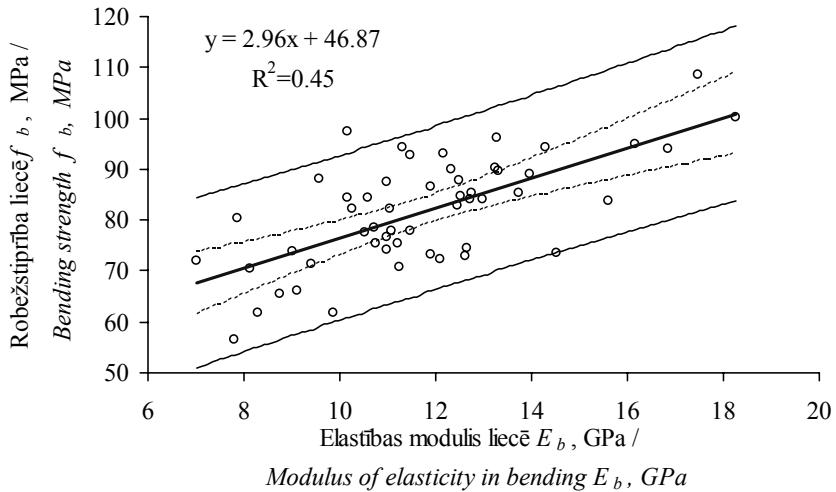
Pēc tabulas 3.3. rezultātu apkopošanas redzams, ka visaugstākie robežstiprības rādītāji ir egles koksnes paliktņu sagatavēm bez koksnes vainām un LVS EN 12246 P1 šķiras paraugiem.

Vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai ir 69.0 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 25.9% zemāka - liecē ir 51.1 MPa, (skat. 3.3. tabulu).

Veikts egles koksnes paliktņu sagatavju robežstiprības vērtību pārrēķins no 12% uz 20% (skat. 3.3. tabulu), kas nepieciešams tālākajiem paliktņu konstrukcijas stiprības aprēķinam.

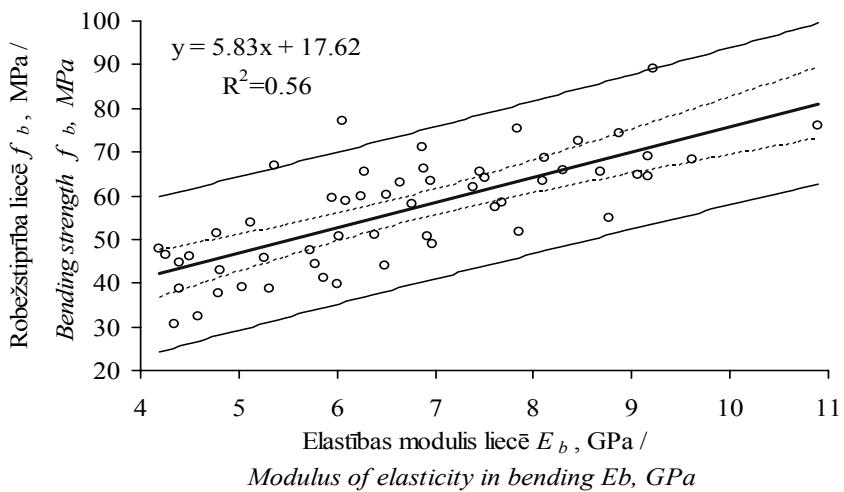
3.3 Apses koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē

Pārbaudot 53 apses koksnes paliktņu sagataves bez koksnes vainām (izmēri $15 \times 75 \times 315$ mm), iegūtas sekojošas vidējās vērtības: robežstiprība liecē $f_b = 81.6$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 11.7$ GPa (skat. 3.4. un 3.6. tabulā) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 498 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakarība redzama 3.5. attēlā.



3.5. att. Apses koksnes paliktņu sagataves bez koksnes vainām robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības modula liecē
Fig. 3.5 Aspen wood pallet components without wood defects changes of bending strength depending on modulus of elasticity in bending

Apses koksnes paliktņu sagatavju ar koksnes vainām pārbaudes rezultātā noteiktā robežstiprības liecē vidējā vērtība: $f_b = 56.6$ MPa, elastības modula liecē vidējā vērtība $E_b = 6.7$ GPa (skat. 3.4. un 3.6. tab.) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 498 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakarība redzama 3.6. attēlā.



3.6. att. Apses koksnes paliktņu sagataves ar koksnes vainām robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības modula liecē
Fig. 3.6 Aspen wood pallet components with wood defects bending strength according to changes on modulus of elasticity in bending

Kopā tika pārbaudīti 106 paraugi. Līdz ar to tika iegūtas apses koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām un ar koksnes vainām robežstiprības vidējās vērtības: robežstiprība liecē $f_b = 69.1$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 9.2$ GPa pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 498 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (skat. 3.4. un 3.6. tabulu).

Apse koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām robežstiprības rādītāju vērtības ir augstākas par koksnes ar koksnes vainām robežstiprības rādītāju vērtībām: robežstiprība liecē par 30.6%, elastības modulis liecē 42.7%.

3.4. tabula / Table 3.4

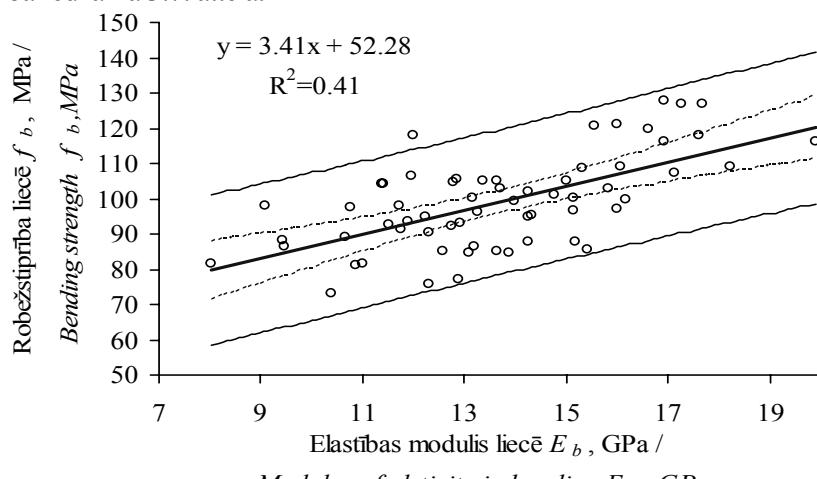
**Apses paliktņu sagatavju robežstiprības rādītāji liecē pie koksnes mitruma W=12% un W=20% /
Aspen wood pallet components bending strength with wood moisture content W=12% and W=20%**

Priedes paliktņu sagataves / Pine wood pallet components	Rādītājs / Indicator	Robežstiprība liecē f_{b12} , MPa / Bending strength f_{b12} , MPa	Robežstiprība liecē f_{b20} , MPa / Bending strength f_{b20} , MPa
Paliktņu sagataves bez koksnes vainām / Pallet components without defects		81.6	58.8
Paliktņu sagataves ar koksnes vainām / Pallet components with defects		56.6	40.8
Paliktņu sagataves bez un ar koksnes vainām / Pallet components with and without defects		69.1	49.8
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 Pl šķirai / Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P1		68.7	49.4
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P2 šķirai / Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P2		52.8	38.0

Pēc tabulas 3.4. rezultātu apkopošanas redzams, ka visaugstākie robežstiprības rādītāji ir paliktņu sagatavēm bez koksnes vainām un LVS EN 12246 Pl šķirai paraugiem. Vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai 68.7 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 23.1 % zemāka - 52.8 MPa. Veikts apses koksnes paliktņu sagatavju robežstiprības vērtību pārrēķins no 12% uz 20% (skat. 3.4. tab.), kas nepieciešams tālākajiem paliktņu konstrukcijas stiprības aprēķinam.

3.4 Baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju robežstiprība liecē

Pārbaudot 62 baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju paraugus bez koksnes vainām (ar izmēriem 15×75×315 mm), noteikts, ka robežstiprības liecē vidējā vērtība $f_b = 76.4$ MPa, elastības modulis liecē $E_b = 9.8$ GPa (skat. 3.5. un 3.6. att.) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakarība redzama 3.7. attēlā.



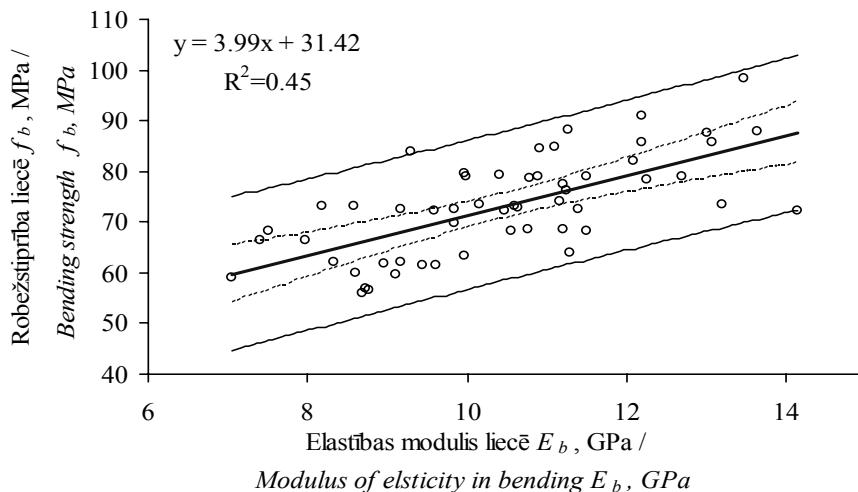
3.7. att. Baltalkšņa koksnes paliktņu sagataves bez koksnes vainām

robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības moduļa liecē

Fig. 3.7 Grey alder wood pallets components without wood defects

changes of bending strength depending on modulus of elasticity in bending

Salīdzināšanai pārbaudīti arī 62 baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju paraugi ar koksnes vainām, kā rezultātā noteikta robežstiprības liecē vidējā vērtība $f_b = 60.3 \text{ MPa}$, elastības modulis liecē $E_b = 7.8 \text{ GPa}$ (skat. 3.5. un 3.6. tabulu.) pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 480 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mehānisko īpašību rādītāju sakarība redzama 3.8. attēlā.



3.8. att. Baltalkšņa koksnes paliktņu sagataves ar koksnes vainām robežstiprības liecē izmaiņa atkarībā no elastības modula liecē

Figure 3.8 Grey alder wood pallet components with wood defects bending strength according to changes on modulus of elasticity in bending

Noteikti arī robežstiprības un elastības modula vidējie rādītāji baltalkšņa paliktņu sagatavēm ar koksnes vainām un bez koksnes vainām: robežstiprība liecē $f_b = 68.4 \text{ MPa}$, elastības modulis liecē $E_b = 8.8 \text{ GPa}$ pie koksnes vidējā blīvuma $\rho = 480 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (skat. 3.5. un 3.6. tabulu).

Baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju bez koksnes vainām robežstiprības rādītāji ir augstāki par paliktņu sagatavju ar koksnes vainām robežstiprības rādītājiem: robežstiprība liecē par 21.1%, elastības modulis liecē par 20.4%.

3.5 tabula / Table 3.5

Baltalkšņa paliktņu sagatavju robežstiprības rādītāji liecē pie koksnes mitruma W=12% un W=20% Grey alder wood pallet components bending strength with wood moisture content W=12% and W=20%

Priedes paliktņu sagataves / <i>Pine wood pallet components</i>	Rādītājs / <i>Indicator</i>	Robežstiprība liecē $f_{b\ 12}, \text{ MPa}$ / <i>Bending strength</i> $f_{b\ 12}, \text{ MPa}$	Robežstiprība liecē $f_{b\ 20}, \text{ MPa}$ / <i>Bending strength</i> $f_{b\ 20}, \text{ MPa}$
Paliktņu sagataves bez koksnes vainām / <i>Pallet components without defects</i>		76.4	55.0
Paliktņu sagataves ar koksnes vainām / <i>Pallet components with defects</i>		60.3	43.4
Paliktņu sagataves bez un ar koksnes vainām / <i>Pallet components with and without defects</i>		68.4	49.2
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P1 šķirai / <i>Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P1</i>		62.8	45.2
Paliktņu sagataves, kuras atbilst LVS EN 12246 P2 šķirai / <i>Pallet components that comply with LVS EN 12246 category P2</i>		48.0	34.6

Pēc tabulā 3.5. rezultātu apkopošanas redzams, ka visaugstākie robežstiprības radītāji ir baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavēm bez koksnes vainām un LVS EN 12246 Pl šķiras paraugiem. Vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai 62.8 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 23.6% zemāka- 48.0 MPa. Veikts baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju robežstiprības vērtību pārrēķins no 12% uz 20% (skat. 3.5. tab.), kas nepieciešams tālākajiem paliktņu konstrukcijas stiprības aprēķinam.

Pētījuma rezultātā noteiktas arī robežstiprības un elastības moduļa liecē normatīvās (5% kvantiles) vērtības, kuras nepieciešamas paliktņu nestspējas prognozēšanai, aprēķinot sagatavju šķērsgriezuma izmērus. Pētījuma rezultāti apkopoti 3.6. tabulā.

3.6. tabula / Table 3.6

**Apzes, baltalkšņa, priedes un egles paliktņu sagatavju stiprības un elastības moduļa liecē raksturlielumi pie koksnes mitruma W=12% /
Aspen, grey alder, pine and spruce pallet components bending strength and modulus of elasticity in bending characteristic values with wood moisture content W=12%**

Paliktņu sagataves / Pallet components	Rādītājs / Indicator	Stiprības raksturlielumi liecē f_b , MPa / Characteristic values of bending strength f_b , MPa	Elastības modulis liecē E_b , GPa / Modulus of elasticity in bending E_b , GPa	Blīvums ρ , kg·m ⁻³ / Density ρ , kg·m ⁻³
Egle / Spruce (<i>Picea abies L.</i>)				
Vidējā robežstiprība liecē bez koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength without wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>		79.7 (14.70; 18.44)	11.0 (1.92; 17.47)	450
Vidējā robežstiprība liecē ar koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength with wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>		63.2 (17.12; 27.09)	9.9 (1.96; 19.87)	450
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (bez koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (without wood defects)</i>		56.8	8.1	450
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (ar koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (with wood defects)</i>		38.5	6.5	450
Priede / Pine (<i>Pinus sylvestris L.</i>)				
Vidējā robežstiprība liecē bez koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength without wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>		87.1 (16.85; 19.34)	12.0 (2.32; 19.39)	470
Vidējā robežstiprība liecē ar koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength with wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>		60.4 (15.86; 26.27)	10.8 (2.74; 25.43)	470
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (bez koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (without wood defects)</i>		61.3	8.5	470
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (ar koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (with wood defects)</i>		34.5	6.6	470

3.6. tabulas nobeigums / End of Table 3.6

Rādītājs / Indicator	Stiprības raksturlielumi liecē f_b, MPa / Characteristic values of bending strength f_b, MPa	Elastības modulis liecē E_b, GPa / Modulus of elasticity in bending E_b, GPa	Blīvums ρ, kg·m⁻³ / Density ρ, kg·m⁻³
Paliktņu sagataves / Pallet components			
Baltalksnis / Grey alder (<i>Alnus incana L. Moench</i>)			
Vidējā robežstiprība liecē bez koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength without wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>	76.4 (8.69; 11.08)	9.8 (1.26; 12.86)	480
Vidējā robežstiprība liecē ar koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength with wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>	60.3 (9.50; 15.77)	7.8 (1.24; 15.88)	480
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (bez koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (without wood defects)</i>	53.7	8.3	480
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (ar koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (with wood defects)</i>	43.2	5.5	480
Apse / Aspen (<i>Populus tremula L.</i>)			
Vidējā robežstiprība liecē bez koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength without wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>	81.6 (10.63; 13.02)	11.7 (2.42; 20.60)	498
Vidējā robežstiprība liecē ar koksnes vainām (standartnovirze s; variācijas koeficients v) / <i>Average bending strength with wood defects (standard deviations; variation coefficient v)</i>	56.6 (12.77; 22.54)	6.7 (1.63; 24.39)	498
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (bez koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (without wood defects)</i>	54.0	8.0	498
Normatīvā pretestība- 5% kvantile (ar koksnes vainām) / <i>Normative resistance - 5% percentile (with wood defects)</i>	38.3	4.4	498

Pētījuma rezultāti rāda, ka salīdzinot egles un priedes koksnes bez koksnes vainām robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības, priedes koksnei tās ir augstākas: robežstiprība vidēji par 8.5%, bet elastības modulis par 8.3 %.

Salīdzinot egles un priedes koksnes ar koksnes vainām robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības, priedes koksnes robežstiprība liecē ir zemāka vidēji par 4.4 %; bet elastības modulis liecē augstāks par 8.3 %.

Salīdzinot baltalkšņa un apses koksni bez koksnes vainām robežstiprības un elastības moduļa liecē vērtības, baltalkšņa koksnei tās ir zemākas: robežstiprība liecē vidēji par 6.4 %; bet elastības modulis liecē par 16.2 %.

Salīdzinot baltalkšņa un apses koksni ar koksnes vainām, robežstiprība liecē apses koksnei ir zemāka vidēji par 6.1 %, bet elastības modulim liecē mazāks vidēji par 14.1 %.

Salīdzinot skujkoku un lapu koku paliktņu sagatavju vidējos robežstiprības rādītājus bez koksnes vainām, lapu kokiem tie ir nedaudz zemāki - apses koksnei par 2.3%, alkšņa koksnei par 8.4%.

Salīdzinot skujkoku un lapu koku paliktņu sagatavju vidējos robežstiprības rādītājus ar koksnes vainām, apses koksnei ir zemāks par 8.4%, baltalkšņa koksnei tas būtiski neatšķiras.

Salīdzinot skujkoku (priede, egle) un lapu koku (apse, baltalksnis) paliktņu sagatavju vidējos robežstiprības rādītājus starp P1 un P2 kvalitātes šķirām atšķirība sastāda 27.5%.

4 PALIKTŅA KONSTRUKCIJU PĒTĪJUMI

4.1 Skujkoku (egles, priedes) paliktņa konstrukciju stiprības un elastības moduļa liecē pētījumi

Būtiskas prasības paliktņiem no ekspluatācijas viedokļa ir stiprība un to nestspēja.

Eksperimentāliem pētījumiem paredzētie paliktņi izgatavoti paliktņu ražotnē.

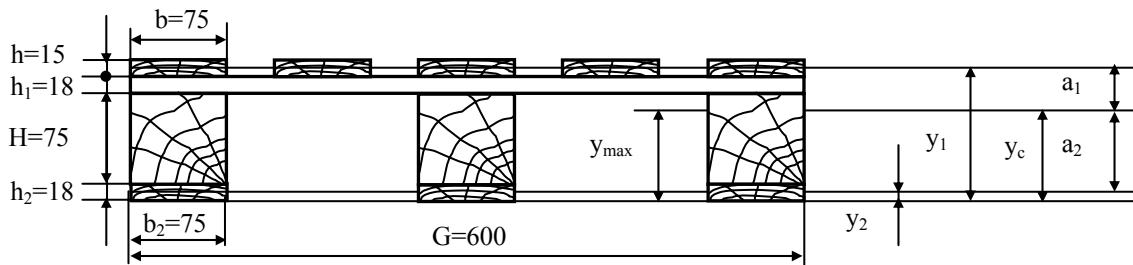
Vispirms pētījumiem izmantoti skujkoku (priedes un egles) koksnes paliktņi, kura šķērsgriezuma izmēri parādīti 4.1. attēlā.

Pēc 47 skujkoku (egles un priedes) paliktņu stiprības un elastības rādītāju noteikšanas, veikti iepriekš minēto mehānisko īpašību rādītāju noteikšana arī 33 lapu koku (baltalkšņa un apses) paliktņiem.

Stiprības praktiskajiem pētījumiem izmantota pārbaudes iekārta ZWICK Z 100 ($F_{max}=100\text{kN}$), kur maksimālais pārbaudāmo parauga platums ir 600 mm. Šajā sakarībā pētījumu gaitā veikts nepieciešamais slodzes pārrēķins.

Tā kā paliktņus galvenokārt paredzēts izmantot 2. ekspluatācijas režīmam (mitriem apstākļiem)- $t=20^{\circ}\text{C}$ un $W=85\%$, tad tika veikta pārbaudāmo paliktņu partijas klimatizēšana.

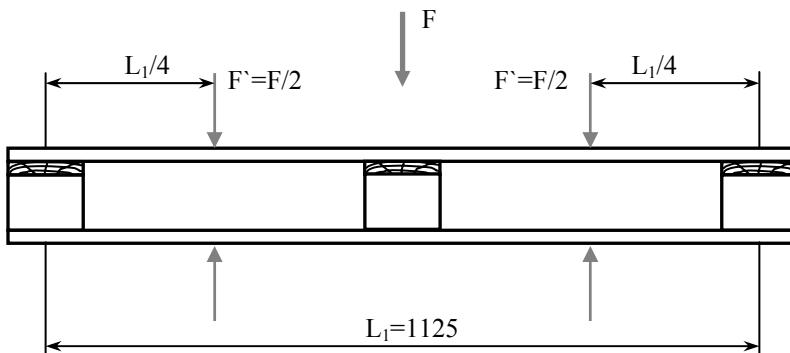
Pārbaudes mērķis ir izstrādāt metodiku paliktņu stiprības prognozēšanai, tos nesagraujot. Paliktņu šķēluma laukuma raksturlielumu aprēķinam izmantojamie rādītāji parādīti 4.1. attēlā.



4.1. att. Paliktņa šķēluma laukuma izmēri ģeometrisko raksturlielumu aprēķinam
Fig. 4.1 Pallet cut area's size for geometric characteristic value calculation

Izpētot attiecīgos LVS standartus, nav atrasta objektīva metode, kuru varētu izmantot paliktņu dēļšu materiāla elastības moduļa noteikšanai.

Šī mērķa sasniegšanai izvēlēta sloganuma shēma, kas parādīta 4.2. attēlā.



4.2. att. Paliktņu slogojuma shēma elastīgo deformāciju robežās
Fig. 4.2 Pallet load scheme in borders of elastic deformation

Slogojums tiek realizēts elastīgo deformāciju robežās, fiksējot deformāciju atbilstoši $0,1 F_{max}$ un $0,4 F_{max}$ slogojumam. Lai noteiktu slogojuma un atbilstošās deformācijas robežas, pārbauðiti 3 paliktņi, kuri pārbaužu gaitā tiek arī sagrauti atbilstoši 4.2. attēlā parādītajai shēmai (skat. 4.1. tabulu).

Pārbaužu rezultāti elastīgo deformāciju un slogojuma vidējo vērtību noteikšanai /
Test results to detect elastic deformation and load average values

Paliktņa Nr. / Pallet No.	Sagrāves spēks F_{max} , N / Destroying force F_{max} , N	Izliece pie sagrāves spēka F_{max} , mm / Bending at destroying force F_{max} , mm	Spēks pie 10% no F_{max} , N / Force with 10% from F_{max} , N	Spēks pie 40% no F_{max} , N / Force with 40% from F_{max} , N	Izliece pie 10% no F_{max} , mm / Bending with 10% from F_{max} , mm	Izliece pie 40% no F_{max} , mm / Bending with 40% from F_{max} , mm
1	19477	37.5	1948	7791	4.6	12.4
2	15772	29.8	1577	6309	4.9	12.4
3	13811	32.4	1381	5525	4.9	12.2
vid. / average	16353	33.2	1635	6542	4.8	12.3

Vadoties no iegūtajiem rezultātiem, turpmākiem pētījumiem izvēlētas šādas slogojuma vērtības: $F_{10}=F_{1500}=1500$ N un $F_{40}=F_{6000}=6000$ N

Veicot 47 skujkoku paliktņu pārbaudi, kuras laikā pie pieliktā spēka F_{10} un F_{40} fiksē izlieces vērtības, iegūti vidējie lieces deformāciju rādītāji $w_{10}=4.7$ mm, $w_{40}=12.3$ mm. Šie rādītāji izmantoti tālākos aprēķinos, paliktņa dēļšu materiāla elastības modula vidējās vērtības noteikšanai.

Elastības modula aprēķinam atbilstoši slogojuma shēmai, (skat. 4.2. att.) izmanto nepārtrauktas trīsbalstu sijas, kas simetriski slogota ar koncentrētu spēku divos punktos, izlieces formulu, kas iegūta no sakarības 4.1:

$$w_M = \frac{F \cdot L^3}{107.3 \cdot E \cdot I} \quad (4.1)$$

kur w_M - lieces momenta izsauktā deformācija, mm

F - slogojuma spēks atbilstoši shēmai, N

E - dēļšu materiāla elastības modulis, N/mm²

I - šķēluma laukuma inerces moments, mm⁴

L - starpbalstu atstatums, mm

Šajā gadījumā aprēķinot elastības moduli, jāņem vērā augšējo un apakšējo dēlīšu summārā izliece.

Tā kā augšējo un apakšējo dēlīšu šķēluma laukuma inerces momenti aptuveni vienādi:
 $I_1 \approx I_2 = I$, tad

dēlīšu materiāla vidējo elastības moduli aprēķina pēc sakarības 4.2:

$$E_b = \frac{2 \cdot \left(\frac{F_{40}}{2} - \frac{F_{10}}{2} \right) \cdot \left(\frac{L_1}{2} \right)^3}{107.3 \cdot (w_{40} - w_{10}) \cdot \frac{I_x}{2}} \quad (4.2)$$

kur E_b - dēlīšu materiāla vidējais elastības modulis paliktnu slogojuma gadījumā elastīgo deformāciju robežas, MPa;

F_{40} - paliktna slogošanai pieliktais spēks, kas atbilst $\sim 0,4 F_{\max}$, N;

F_{10} - paliktna slogošanai pieliktais spēks, kas atbilst $\sim 0,1 F_{\max}$, N;

L_1 - starpbalstu atstums;

W_{40} - dēlīšu izliece, kas atbilst $\sim 0,4 F_{\max}$, mm;

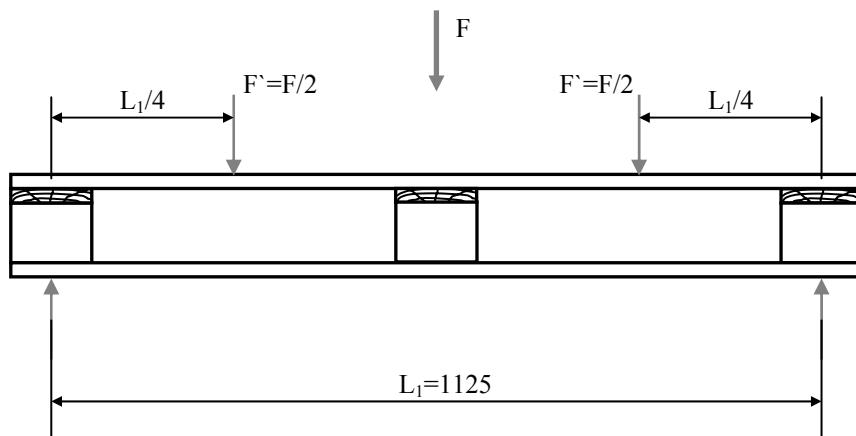
W_{10} - dēlīšu izliece, kas atbilst $\sim 0,1 F_{\max}$, mm;

I_x - inerces moments visiem virsējiem un apakšējiem dēlīšiem, mm⁴.

No veiktajiem aprēķiniem iegūta vidējā elastības modula vērtība $E_b = 10000$ MPa.

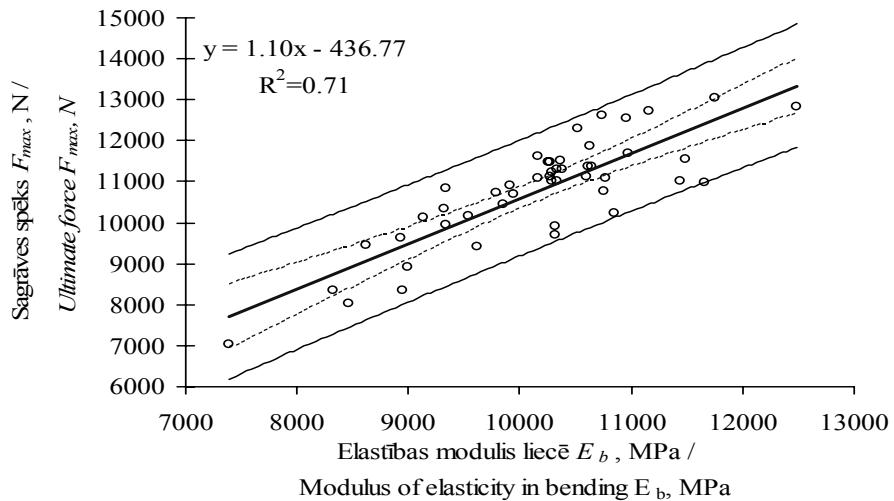
Lai prognozētu paliktnu sagrāves spēku pēc noteiktā elastības modula vērtības, jāatrod iespējamā šo lielumu sakarība. Šim nolūkam jāveic paliktnu pārbaude, tos sloganot līdz sagrāvei.

Analizējot esošos paliktnu pārbaužu standartus, par atbilstošāko sloganuma shēmu uzskatāma LVS EN 8611-1 piedāvātā (skat. 4.3. att.).



4.3. att. Slogojuma shēma paliktnu sagraušanas gadījumā
Fig. 4.3 Load scheme in case of destroying the pallet

Elastīgo deformāciju robežas atrastas vairākas sloganuma spēka un elastības modula sakarības, taču visciešākā korelācija $R=0.84$ konstatēta gadījumā, kad deformācijas mēritas sloganuma spēka diapazonā ($F_{40}-F_{10}$). Sagraušanas spēka un elastības modula sakarību raksturo korelācijas vienādojums 4.3 (skat. 4.4. att.).



4.4. att. Skujkoku paliktņu sagrāves spēka un elastības modula liecē sakarība 95% ticamības intervālā

Fig. 4.4 Softwood coherence of destroying force and modulus of elasticity in bending 95% of credibility interval

Prognozējamo sagrāves spēka vērtību izmantojot elastības modula vērtību aprēķina pēc sakarības 4.3

$$F_{max} = 1.10 \cdot E_b - 437.66 \quad (4.3)$$

kur F_{max} - prognozējamais sagrāves spēks, N
 E_b - vidējais elastības modulis, MPa

Izmantojot iegūto sakarību 4.3, prognozējamais vidējais sagrāves spēks $F_{max}=10570$ N. Eksperimentu rezultātā noteiktais vidējais sagrāves spēks atbilstoši slogojuma shēmai (skat. 4.3. att.) $F_{max}=10770$ N. Atšķirība sastāda 2%.

4.2 Lapu koku (baltalkšņa, apses) paliktņa konstrukciju stiprības un elastības modula liecē pētījumi

Tā kā paliktņu ražošanā izmanto arī mīksto lapu koku (galvenokārt apses un baltalkšņa) koksnes paliktņu sagataves, tad pēc iepriekš aprakstītās paliktņu robežstiprības un materiāla dēlīšu elastīgo deformāciju rādītāju noteikšanas metodikas, veikti arī pētījumi, izmantojot mīksto lapu koku (baltalkšņa un apses) koksnes paliktņus.

Izmantojot slogojuma shēmu (skat. 4.2. att.), veikts lapu koku paliktņu slogojums elastīgo deformāciju robežās, fiksējot deformāciju atbilstoši 0,1 F_{max} un 0,4 F_{max} slogojumam.

Lai noteiktu slogojuma un atbilstošās deformācijas robežas, pārbaudīti 3 paliktņi, kuri pārbaužu gaitā tiek arī sagrauti atbilstoši 4.2. attēlā parādītajai shēmai (skat. 4.2 tabulu).

4.2. tabula / Table 4.2

Pārbaužu rezultāti elastīgo deformāciju un slogojuma vidējo vērtību noteikšanai
Test results of detecting average values of elastic deformation and load

Paliktņa Nr. / Palllet No.	Sagrāves spēks F_{max} , N / Destroying power F_{max} , N	Izliece pie sagrāves spēka F_{max} , mm / Bending in destroying power F_{max} , mm	Spēks pie 10% no F_{max} , N / Power with 10% from F_{max} , N	Spēks pie 40% no F_{max} , N / Power with 40% from F_{max} , N	Izliece pie 10% no F_{max} , mm / Bending with 10% from F_{max} , mm	Izliece pie 40% no F_{max} , mm / Bending with 40% from F_{max} , mm
1	15620	51.2	1562	6248	8.8	18.8
2	14620	44.3	1462	5848	9.1	17.9
3	16912	44.9	1691	6765	7.0	15.5
vid. / average	15717	46.8	1572	6287	8.3	17.4

Vadoties no iegūtajiem rezultātiem, turpmākiem pētījumiem izvēlētas šādas slogojuma vērtības: $F_{10}=F_{1500}=1500$ N un $F_{40}=F_{6000}=6000$ N

Veicot 33 paliktņu pārbaudi, kuras laikā pie pieliktā spēka F_{10} un F_{40} fiksē izlieces vērtības, iegūti vidējie lieces deformāciju rādītāji $w_{10}=7.9$ mm, $w_{40}=17.5$ mm. Šie rādītāji izmantoti tālākos aprēķinos, paliktņa dēļšu materiāla elastības moduļa vidējās vērtības noteikšanai.

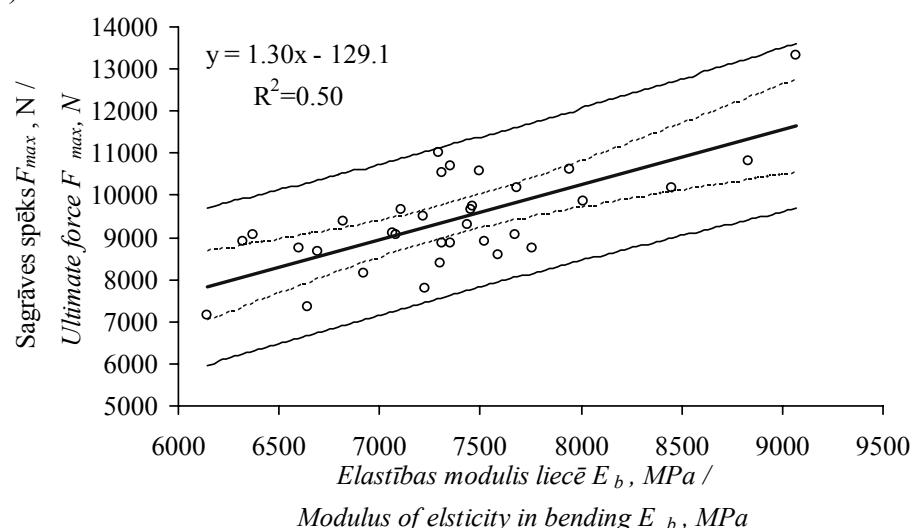
Ari lapu koku paliktņu augšējo un apakšējo dēļšu šķēluma laukuma inerces momenti aptuveni vienādi, jo paliktņu sagatavju šķērsgriezuma izmēri ir izvēlēti tādi paši kā skujkoku paliktņiem.

Lapu koku paliktņu dēļšu materiāla vidējo elastības moduli aprēķina pēc sakarības 4.2.

No veiktajiem aprēķiniem iegūta vidējā elastības moduļa vērtība $E_b=7350$ MPa.

Lai prognozētu paliktņu sagrāves spēku pēc noteiktā elastības moduļa vērtības, tika atrasta iespējamā šo lielumu sakarība. Šim nolūkam veikta paliktņu pārbaude, tos slogojot līdz sagrāvei.

Elastīgo deformāciju robežas atrastas vairākas slogojuma spēka un elastības moduļa sakarības. Taču sagraušanas spēka un elastības moduļa sakarību visciešāk raksturo korelācijas vienādojums 4.4 (skat. 4.5. att.).



4.5. att. Lapu koku paliktņu sagrāves spēka un elastības moduļa liecē sakarība 95% ticamības intervālā

Fig. 4.5 Coherence between hardwood pallets destroying force and modulus of elasticity in bending 95% credibility interval

Prognozējamo sagrāves spēka vērtību, izmantojot elastības moduļa vērtību, aprēķina pēc sakarības 4.4:

$$F_{\max} = 1.30 \cdot E_b - 129.1 \quad (4.4)$$

kur F_{\max} - prognozējamais sagrāves spēks, N
 E_b - elastības modulis, MPa

Izmantojot iegūto sakarību 4.4, prognozējamais vidējais sagrāves spēks $F_{\max}=9430$ N. Eksperimentu rezultātā noteiktais lapu koku paliktņu vidējais sagrāves spēks atbilstoši sloganuma shēmai (skat. 4.3. att.) ir $F_{\max}=9400$ N.

Dēlīšu elastības moduļa un paliktņu stiprības liecē sakarība izmantojama datorprogrammas izstrādei paliktņu nestspējas prognozēšanai.

4.3 Paliktņu konstrukciju stinguma pētījumi

4.3.1 Skujkoku paliktņu stinguma pētījumi

Pētījuma rezultātā noteikti vairāki rādītāji, tādi kā pretestības robeža sagrāves brīdī un atbilstošais inerces moments, lieces moments 0.4 F_{\max} gadījumā un šim momentam atbilstošais lieces spriegums, un pretestības moments elastīgo deformāciju zonā.

Pārbaudes rezultātā iegūtās un teorētiski aprēķināto inerces un pretestības momentu vērtības apkopotas 4.3 tabulā.

4.3. tabula / Table 4.3

**Paliktņa konstrukcijas inerces un pretestības momenti /
Pallet construction inertia and resistance moments**

Rādītājs / Indicator	Mērvienība / Measure	Vērtība / Value
Augšējo dēlīšu inerces moments I_{x1} / Inertia moment of upper boards I_{x1}	mm^4	105470
Paliktņa šķēluma laukuma inerces moments I_{xt} / Inertia moment of pallet cut area I_{xt}	mm^4	28447680
Pārbaudes brīdī noteiktais vidējais inerces moments I_p / Average inertia moment in the testing moment I_p	mm^4	1897880
Augšējo dēlīšu pretestības moments W_{x1} / Resistance moment of upper boards W_{x1}	mm^3	14060
Paliktņa šķēluma laukuma pretestības moments W_{xt} / Inertia moment of pallet cut area W_{xt}	mm^3	391520
Pārbaudes brīdī noteiktais vidējais pretestības moments W_p / Average resistance moment in the testing moment W_p	mm^3	26120

Izmantojot iepriekš aprēķinātās pretestības momentu vērtības, noteikta to attiecība:

Šķērsgriezuma laukuma teorētiski aprēķinātais pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņa konstrukcija, salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu (skat. sakarību 4.5):

$$\frac{W_{xt}}{W_{x1}} = \frac{391520}{14060} = 28 \quad (4.5)$$

Pārbaudes brīdī noteiktā vidējā pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņa konstrukcija, salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu (skat. sakarību 4.6):

$$\frac{W_p}{W_{x1}} = \frac{26120}{14060} = 1.9 \quad (4.6)$$

Pārbaudes brīdī noteiktā vidējā pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņu konstrukcija salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu ir tikai 1.9 reizes. Tas izskaidrojams ar klucīšu un dēlīšu naglu savienojumu nestabilitāti slogojuma laikā.

4.3.2 Lapu koku paliktņu stinguma pētījumi

Pēc iepriekš aprakstītās metodikas veikti arī lapu koku (baltalkšņa) paliktņu elastības rādītāju pētījumi.

Pēc iepriekš aprakstītās metodikas (skat. 4.3.1 nodaļu) iegūtas un teorētiski aprēķinātas inerces momentu un pretestības momentu vērtības:

Lapu koku paliktņu konstrukciju gadījumā, šķērsgriezuma laukuma pretestības pieaugums, ko dod paliktņa konstrukcija, salīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestību lapu koku paliktņu gadījumā 1.8 reizes. Tāpat kā skuju koku paliktņu konstrukciju gadījumā, arī šajā gadījumā izskaidrojams klucīšu un dēlīšu naglu savienojumu nestabilitātes dēļ slogojuma laikā.

4.4 Paliktņu robežstiprība atkarībā no to ekspluatācijas apstākļiem

Koka konstrukciju ekspluatācijas apstākļus iedala trīs klasēs.

Koksnes materiāla aprēķina pretestību, ievērtējot tā ekspluatācijas apstākļus un ekspluatācijā izmantojamo slodzes raksturu, aprēķina pēc sakarības 4.7.

$$f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (4.7)$$

kur f_d - materiāla aprēķina pretestība, MPa;

f_k - koksnes materiāla pretestības raksturlielums (normatīvā pretestība), MPa;

k_{mod} - modifikācijas faktors, kas ievērtē slodzes ilgstošās darbības un ekspluatācijas apstākļu (mitruma) ietekmi;

γ_M - parciālais faktors materiāla īpašībai, jeb materiāla drošuma koeficients.

Nestspējas robežstāvokļu aprēķinos drošuma koeficientu koksnei un tās izstrādājumiem pieņem $\gamma_M=1.3$

Dotajā pētījumā paliktņi tiek pārbaudi to pielietošanai 2. ekspluatācijas apstākļu klasē. Veicot pārrēķinu, ievērtējot paliktņu sagatavju mitrumu, noteikta aprēķinu pretestība, izmantojot sakarību 4.7 un iegūtās vidējās skujkoku un lapu koku paliktņu sagatavju normatīvās pretestības vērtības (skat. 3.6. tabulu).

Skujkoku paliktņu sagatavēm pēc sakarības 4.8:

$$f_d = 0.8 \cdot \frac{34}{1.3} = 21 \text{ MPa} \quad (4.8)$$

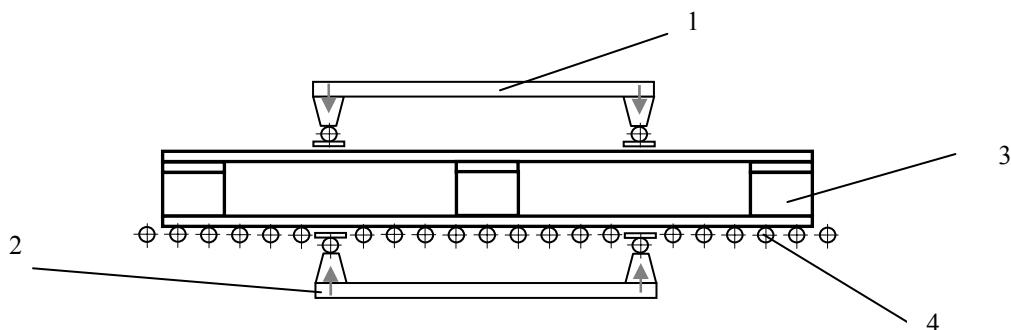
Lapu koku paliktņu sagatavēm pēc sakarības 4.9:

$$f_d = 0.8 \cdot \frac{29}{1.3} = 18 \text{ MPa} \quad (4.9)$$

Pētījuma rezultātā atrasta paliktņu dēlīšu elastības moduļa un paliktņu sagrāves spēka sakarība, kuru raksturo relatīvi augsts korelācijas koeficients lapu koku paliktņiem $R= 0.71$ (skat. sakarību 4.4), skujkoku paliktņiem $R=0.84$ (skat. sakarību 4.3).

Atrasta dēlīšu elastības moduļa un paliktņu robežstiprības sakarība- izmantojama datorprogrammas izstrādei paliktņu robežstiprības prognozēšanai.

Pētījuma rezultātus var izmantot paliktņu ražošanas procesā, tehnoloģiskajā līnijā ieviešot attiecīgu pārbaudes iekārtu paliktņu nestspējas prognozēšanai. Šī veltnīšu transportiera caurlaides tipa pārbaudes iekārtu būtu kā pēdējā tehnoloģiskā operācija paliktņu ražošanas procesā. Paliktņu slogošana tiktu veikta elastīgo deformāciju robežās pēc 4.6. attēlā redzamās slogošanas shēmas. Paliktņu slogošanas rezultātā tiktu noteikta paliktņu dēlīšu materiāla izlieces rādītājs, kurš ir noteicošais faktors, lai tos šķirotu pēc paliktņa nestspējas.



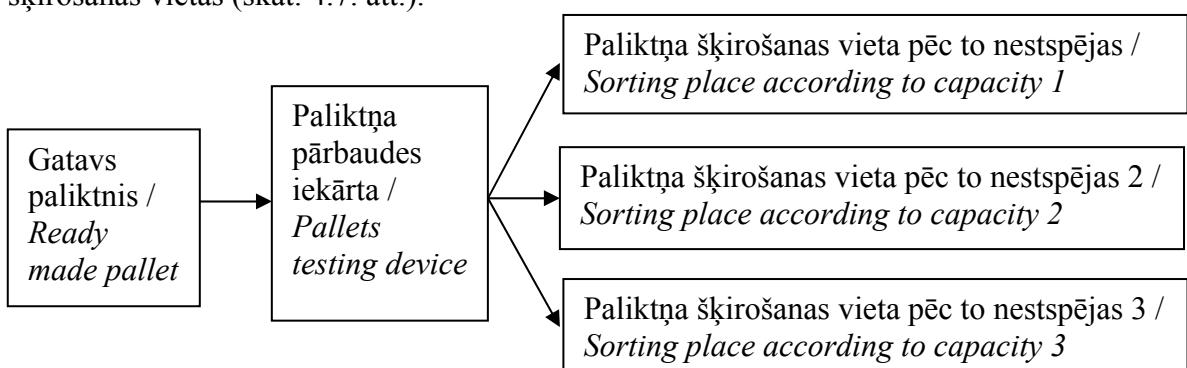
4.6 att. Paliktņu nestspējas pārbaudes iekārtas shēma

1- augšējā novietojuma slogošanas traversa; 2- apakšējā novietojuma slogošanas traversa; 3- paliktnis; 4- veltnīšu transportieris

Fig. 4.6 Scheme of pallets capacity testing machine:

1- traverse of upper load; 2- traverse of lower load; 3- pallet; 4- roller transporter

Šķirošanas rezultātā paliktņi tiktu sašķiroti pēc to nestspējas un novietoti paliktņu šķirošanas vietās (skat. 4.7. att.).



4.7 att. Paliktņu pārbaudes plūsmas shēma

Fig. 4.7 Scheme of pallets testing flow

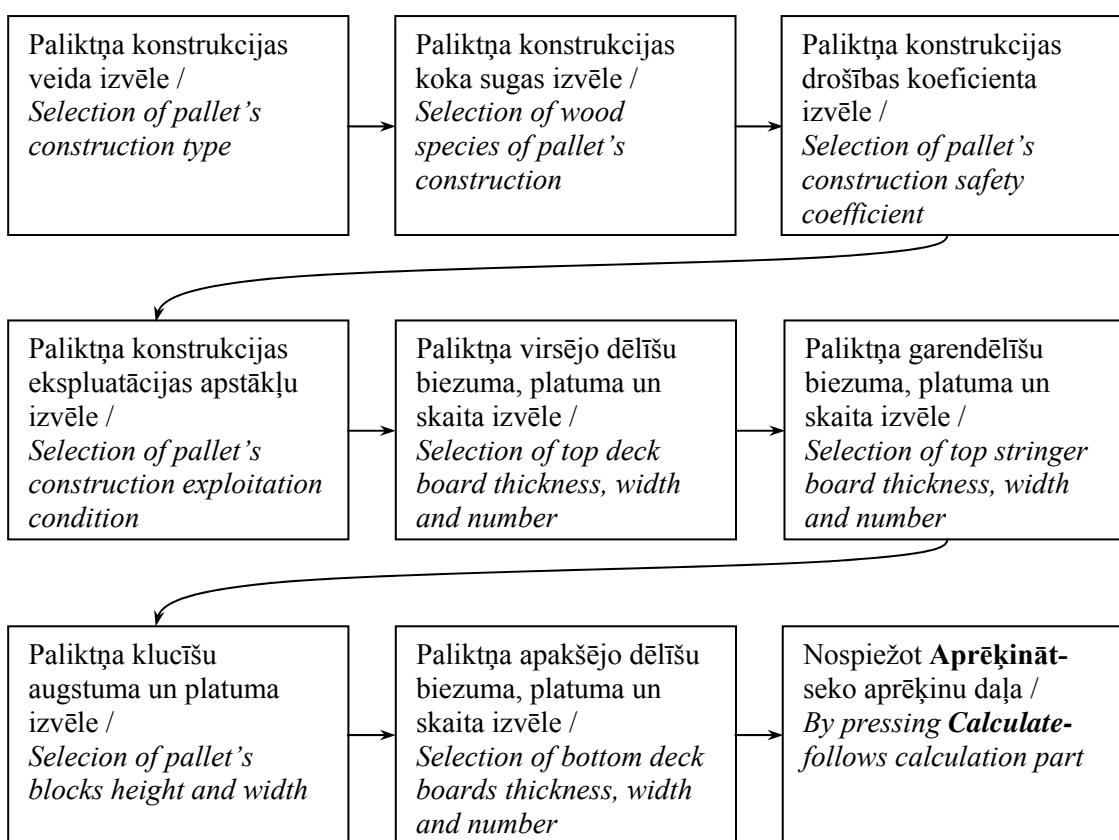
5 PALIKTŅU NESTSPĒJAS PROGNOZĒŠANA, IZMANTOJOT IZSTRĀDĀTO DATORPROGRAMMU

Paliktņu aprēķinu programma ir izveidota izmantojot programmēšanas valodu C# (C sharp). C# ir moderna, uz objektu orientēta programmēšanas valoda, kura nodrošina programmētājiem iespēju ātri veidot plaša mēroga aplikācijas jaunajai Microsoft®.NET platformai. Platforma nodrošinātā ar instrumentiem un pakalpojumiem un ir izmantojama aprēķiniem un komunikācijai. C# ir veidota kombinējot C++ un Microsoft Visual Basic®. Ar C# var veidot plaša ranga komponentes no augsta līmeņa biznesa līdz sistēmas līmeņa objektiem.

Aprēķinu programma ir veidota tā, lai lietotājam būtu viegli saprotama un izmantojama.

Aktivizējot paliktņu pārbaudes palaišanas pogu, ekrānā tiek atvērts galvenais datorprogrammas logs, kurā izvēlas paliktņa konstrukcijas veidu (skat. 5.2 un 5.3. att.).

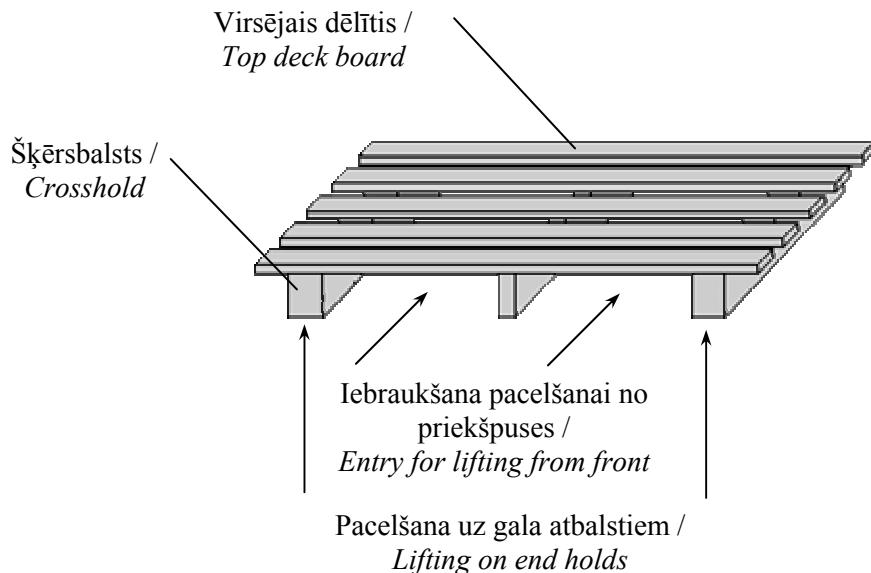
Tālākā darbība pa soļiem aprakstīta datorprogrammas lietošanas shēmā (skat. 5.1. att.).



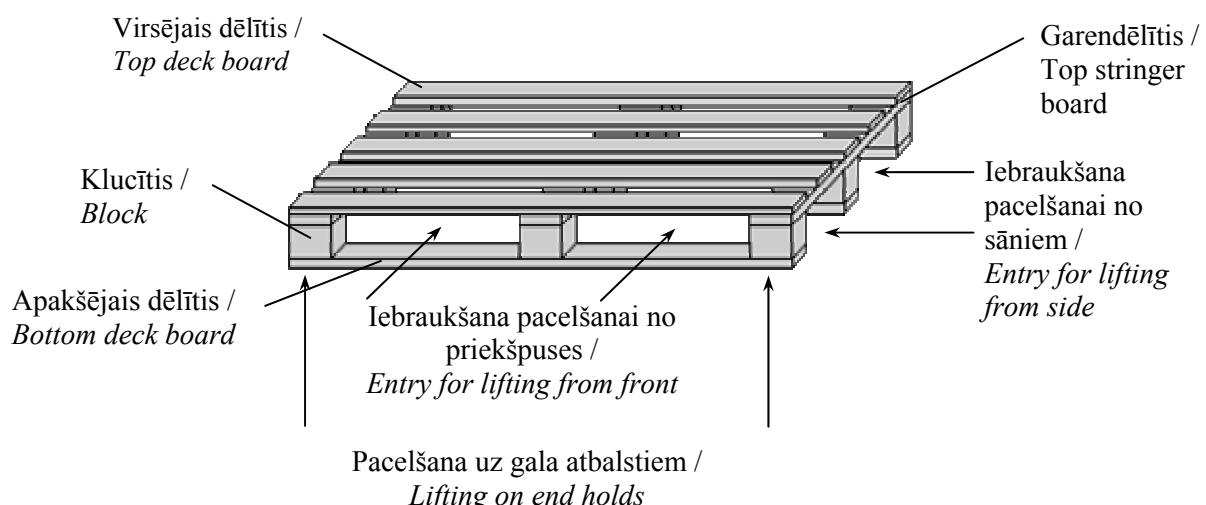
5.1 att. Paliktņu pārbaudes datorprogrammas lietošanas shēma

Fig. 5.1 Usage scheme of pallets' testing computer program

Pašlaik šajā paliktņu stipribas aprēķinu metodikā ir iestrādāti aprēķini divu veidu paliktņiem - divvirzienu paliktnim (skat. 5.2. att.) un četru virzienu paliktnim (skat. 5.3. att.). Paliktņi atšķiras ar to konstrukciju un pacelšanas veidu - divvirzienu paliktnis tiek pacelta tikai no priekšas, bet četrvirzienu paliktni var pacelt no priekšas un sāniem.



5.2. att. Divvirzienu paliktnis
Fig. 5.2 Two-way pallet



5.3. att. Četrvirzienu paliktnis
Fig. 5.3 Four-way pallet

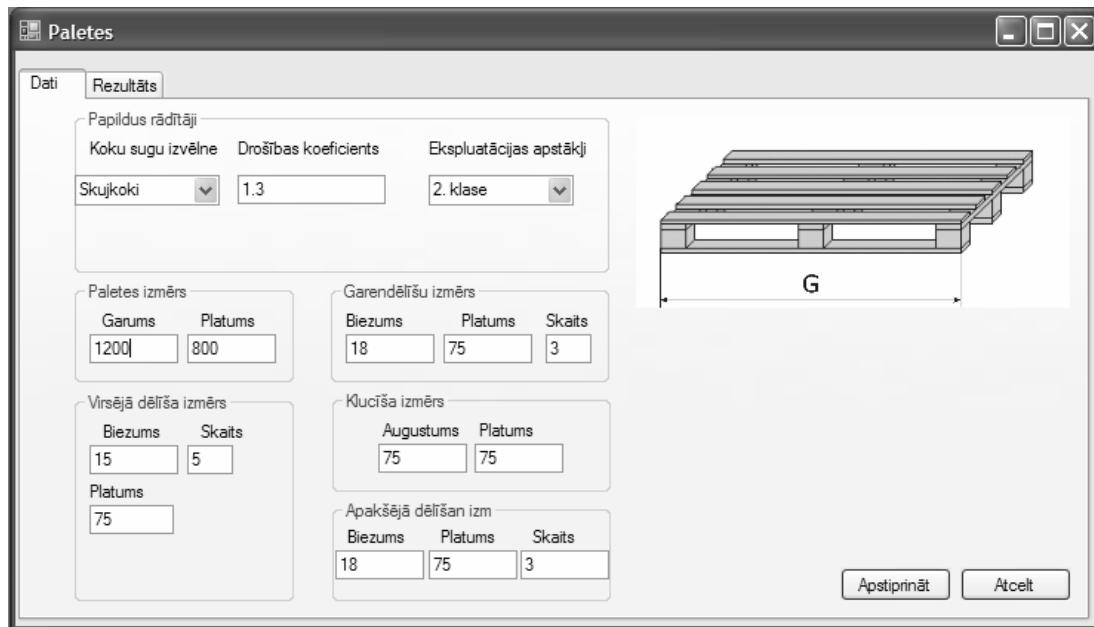
Papildinājumi ir viegli pievienojami, jo programma sastāv no pievienoja modeļiem. Piemēram, ja izstrādāts aprēķins atšķirīgas konstrukcijas paliktniem, tas kā modelis tiek pievienots programmas pamatlāzai. Tas ļauj viegli uzlabot un pilnveidot programmas darbību, neiejaucoties programmas struktūrā.

Programma sastāv no divām daļām:

1. Datu ievades daļa (skat. 5.4. att.)
2. Aprēķinu daļa (skat. 5.5. att.).

Datu ievades daļā tiek ievadīti dati, kuri nepieciešami aprēķiniem. Datu ievades daļā vizuāli atspoguļots paliktnis, kurā norādīti ievades laukā pieprasītie dati. Tas ļauj samazināt kļūdaini ievadīto datu iespēju un ļauj vieglāk lietotājam orientēties programmā, garantējot pareizu aprēķinu rezultātu. Pārvietojoties pa ievades laukiem, tiek vizuāli attēloti vieta paliktnī un norādītas tās vietas, kuru

izmērus ir nepieciešams ievadīt. Paliktņu aprēķinos ir iestrādāta metodika, ka augšējo dēļšu platumus var atšķirties. Lai aprēķini būtu precīzi, programmā ir iestrādāta tabula, kurā ievada visu augšējo dēļšu izmērus (tikai gadījumā, kad tie atšķiras). Katram paliktnim tiek aktivizēti tikai tie ievades lauki, kuri nepieciešami aprēķiniem. Datu ievades daļā ir papildus radītāju izvēles logs, kurā ir jāizvēlas koku suga- skujkokai vai lapu koki; drošības koeficients, kurš koksnes materiāliem ir $\gamma_M = 1.3$; un ekspluatācijas apstākļi, kurus iedala trīs klasēs.

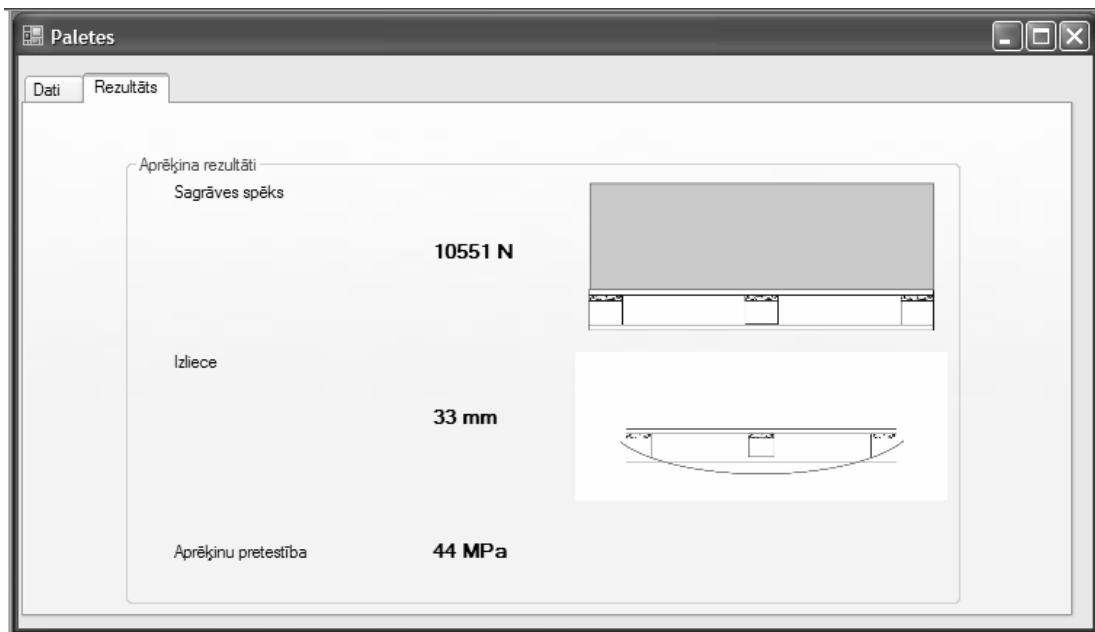


5.4. att. Datu ievades daļa

Fig. 5.4 Data entry part

Veicot visu iepriekš minēto datu ievadi, veic šo datu apstiprināšanu, un rezultāti tiek atspoguļoti aprēķinu daļā (skat. 5.5. att.). Aprēķinu daļā tiek norādīta aprēķinu robežstiprība un izliece milimetros, kā arī paliktņa sagrāves spēka, kā arī parādīti attēli, kas vizuāli ļauj labāk saprast aprēķināto rādītāju.

Legūtos aprēķinu rezultātus var eksportēt uz MS Word programmu. Eksportēšanas funkcija ir iebūvēta aprēķinu programmā. Izmatojot MS Word iespējas, aprēķinu rezultātu formu var izdrukāt, nosūtīt pa e-pastu vai saglabāt.



5.5. att. Aprēķinu daļa
Fig. 5.5 Calculation part

Izmantojot aprēķinu programmu, var viegli operēt ar materiālu izmēriem un noteikt, kādām slodzēm konkrētais paliktnis ir paredzēts. Tas ļauj ietaupīt materiālu patēriņu, kā arī konstruēt paliktni ar nepieciešamiem šķērsgriezuma izmēriem konkrētām slodzēm.

6 SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

- 1 Iegūti Latvijā augušās apses (*Populus tremula* L.) koksnes fizikāli- mehānisko īpašību rādītāji: robežstiprība liecē $f_b = 90.7 \text{ MPa}$, elastības modulis liecē $E_b = 12.6 \text{ GPa}$, vidējais koksnes blīvums $\rho = 521 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pie 12% mitruma. Pētījumā iegūtie rādītāji ir salīdzinoši zemāki nekā iepriekš egles koksnei veiktajā pētījumā: robežstiprība vidēji par 15.6%, bet elastības modulis par 9.4%. Iegūtie rādītāji ir salīdzinoši zemāki nekā iepriekš priedes koksnei veiktajā pētījumā: robežstiprība vidēji par 20.1%, bet elastības modulis par 12.5%.
- 2 Iegūti Latvijā augušā baltalkšņa (*Alnus incana* L. Moench) koksnes fizikāli- mehānisko īpašību rādītāji: robežstiprība liecē $f_b = 85.5 \text{ MPa}$, elastības modulis liecē $E_b = 10.5 \text{ GPa}$, vidējais koksnes blīvums $\rho = 510 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pie 12% mitruma. Pētījumā noskaidrots, ka iegūtie rādītāji ir salīdzinoši zemāki nekā iepriekš egles koksnei veiktajā pētījumā: robežstiprība vidēji par 20.5%, bet elastības modulis par 24.5%. Iegūtie rādītāji ir salīdzinoši zemāki nekā iepriekš priedes koksnei veiktajā pētījumā: robežstiprība vidēji par 24.7%; bet elastības modulis par 27.1%.
- 3 Latvijā augušās apses koksnes elastības modula un robežstiprības liecē vērtības ir augstākas nekā baltalkšņa koksnei: robežstiprība par 5.7%, elastības modulis par 16.7%.
- 4 Veikta paliktnu sagatavju šķirošana kvalitātes šķirās P1 un P2 atbilstoši standarta LVS EN 12246 prasībām ar mērķi- noteikt katras kvalitātes šķiras īpatsvaru. Priedes koksnes paliktnu sagatavju kvalitāte ir augsta, P1 kvalitātes šķirā ietilpst 73.4%, P2 kvalitātes šķirā ietilpst 8.4%, bet brāķētās sagataves sastāda 18.2%. Egles koksnes paliktnu sagatavju P1 kvalitātes šķirā ietilpst 67.4%, P2 kvalitātes šķirā ietilpst 20.6%, bet brāķētās sagataves sastāda 12%. Apses paliktnu sagatavju P1 kvalitātes šķirā ietilpst 67%, P2 kvalitātes šķirā ietilpst 12%, bet brāķu īpatsvars ir samērā liels, un tas sastāda 20.8%. Alkšņa paliktnu sagatavju P1 kvalitātes šķirā ietilpst 62.5%, P2 kvalitātes šķirā ietilpst 14.6%, bet brāķētās sagataves sastāda 22.9%.

- 5 Paliktņu sagatavju pētījuma rezultātā iegūti vidējie robežstiprības un elastības moduļa liecē rādītāji pie koksnes mitruma 12%. Priedes koksnes paliktņu sagatavēm robežstiprība liecē 73.8 MPa, elastības modulis liecē 11.4 MPa pie koksnes blīvuma $470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; egles koksnes paliktņu sagatavēm robežstiprība liecē 71.5 MPa, elastības modulis liecē 10.5 MPa pie koksnes blīvuma $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavēm robežstiprība liecē 68.4 MPa, elastības modulis liecē 8.8 MPa pie koksnes blīvuma $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; apses koksnes paliktņu sagatavēm robežstiprība liecē 69.1 MPa, elastības modulis liecē 9.2 MPa pie koksnes blīvuma $498 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Saīdzinot skujkoku un lapu koku paliktņu sagatavju vidējos robežstiprības rādītājus, lapu kokiem tie ir nedaudz zemāki- apses koksnei par 4.2%, alkšņa koksnei par 4.8%.
- 6 Paliktņu sagatavju stiprības rādītāji pie koksnes mitruma 12% ir atkarīgi no kvalitātes šķiras:
 - egles koksnes paliktņu sagatavju vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai ir 69.0 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 25.9% zemāka- 51.1 MPa;
 - priedes koksnes paliktņu sagatavju vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai ir 75.0 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 37.3% zemāka- 47.0 MPa;
 - apses koksnes paliktņu sagatavju vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai 68.7 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 23.1 % zemāka- 52.8 MPa;
 - baltalkšņa koksnes paliktņu sagatavju vidējā robežstiprība liecē P1 šķirai 62.8 MPa, bet P2 šķirai tā ir par 23.6% zemāka- 48.0 MPa.
- 7 Pētījumu rezultātā atrasta paliktņa dēlīšu elastības moduļa un paliktņa sagraoves spēka sakarība pie paliktņu sagatavju mitruma W=20%, kuru raksturo regresijas vienādojums:
 - skujkokiem (priede un egle) $F = 1.10 \cdot E_b - 437.66$;
 - lapu kokiem (baltalksnis un apse) $F = 1.30 \cdot E_b - 129.1$.
 Minētās sakarības raksturo relatīvi augsts korelācijas koeficients skujkoku paliktņiem $R=0.84$, lapkoku paliktņiem $R=0.71$.
- 8 Izstrādāta nesaigrajoša pārbaudes metode paliktņu nestspējas noteikšanai, kura balstīta uz paliktņu dēlīšu materiāla elastības moduļa noteikšanu, paliktņa konstrukciju sloganot elastīgo deformāciju robežās.
- 9 Pētījuma rezultāti- dēlīšu elastības moduļa un paliktņu stiprības sakarība un izstrādātā datorprogramma, lietojot programmēšanas valodu C# (C sharp), izmantojama paliktņu stiprības prognozēšanai atkarībā no dēlīšu izmēriem, koksnes mehāniskajām īpašībām un ekspluatācijas apstākļiem.
- 10 Noteikti paliktņu pretestības momenti sagraoves brīdī, ņemot vērā dēlīšu un klucīšu savienojumus.
- 11 Pārbaudes brīdī noteiktā vidējā pretestības momenta pieaugums, ko dod paliktņu konstrukcija, saīdzinot ar augšējo dēlīšu pretestības momentu gan skujkoku, gan lapu koku paliktņiem ir tikai 2 reizes.
- 12 Pētījuma rezultāti var tilt izmantoti izstrādājot attiecīgu iekārtu paliktņu nestspējas noteikšanai, kas iekļaujama paliktņu ražošanas procesa tehnoloģiskajā līnijā.
- 13 Paliktņu nestspēja atkarīga ne tikai no dēlīšu izmēriem, koksnes mehāniskajām īpašībām un ekspluatācijas apstākļiem, bet arī no dēlīšu un klucīšu savienojumu stabilitātes.

Priekšlikumi

- 1 Paliktņu konstrukcijas nestspējas prognozēšanai un paliktņu sagatavju robežstiprības optimālai izmantošanai, ražošanas procesā paliktņu sagataves jāšķiro P1 un P2 šķirās, kā to nosaka standarta LVS EN 12246 prasības.
- 2 Izmantojot iegūtos pētījuma rezultātus un izstrādāto pārbaudes metodiku, paliktņu izgatavošanas tehnoloģiskajā līnijā jāizveido kontroles iekārta paliktņu nestspējas prognozēšanai un šķirošanai.
- 3 Pētījumi jāturpina, veicot paliktņu pretestības raksturlielumu izpēti, klucīšu un dēlīšu savienojumu ietekmes uz paliktņu nestspējas izzināšanai.

DARBA APROBĀCIJA / APROBATION OF RESEARCH RESULTS

**Promocijas darba pētījumu rezultātu prezentācija zinātniskajās konferencēs /
Research of the thesis presented at the scientific conferences**

- 1 *Mechanical Properties of Wood Species for the Pallet Production.* Research for Rural Development 2004, LLU, Jelgava, Latvija, 2004. 19- 22. maijs.
- 2 *Datorprogramma paliktnu stiprības prognozēšanai.* Zinātne un prakse nozares attīstībai, LLU, Meža fakultāte, Jelgava, Latvija, 2004. 3- 4. novembris.
- 3 *Lapkoku paliktnu sagatavju kvalitātes pētījumi.* Zinātne un prakse nozares attīstībai, LLU, Meža fakultāte, Jelgava, Latvija, 2004. 3- 4. novembris.
- 4 *Statistical criteria of strength of wood pallet components.* 5th Nordic-Baltic Agrometrics Teaching Conference, Otepää, Igaunija, 2005. 15- 17. jūnijs.
- 5 *Investigation of the quality of blanks of wooden pallets.* 19th Scientific Conference of Wood Technology Faculty „Wood- material of the XXI-st century”. Warsaw Agricultural University, Rogow, Polija, 2005. 8- 9. novembris
- 6 *Koka paliktnu stiprības sākotnējie pētījumi.* Zinātne un prakse nozares attīstībai, LLU, Meža fakultāte, Jelgava, Latvija, 2006. 15- 16. marts.
- 7 *Initial Research of Strength of the Wooden Pallets.* Research for Rural Development 2006, LLU, Jelgava, Latvija, 2006. 17- 19. maijs.
- 8 *Research of strength of Euro pallets.* The 5th International symposium Wood structure and properties 2006, Zvolen, Slovākija, 2006. 3- 6. septembris.

**Zinātniskās publikācijās par promocijas darba tēmu /
Scientific publication related to the subject of the thesis**

- 1 Spulle U., Pušinskis V. Mechanical properties of wood species for the pallet production. *Research for rural development 2004*, Jelgava, 2004, 204- 208. pp.
- 2 Spulle U., Pušinskis V. Skujkoku (egles un priedes) paliktnu sagatavju kvalitātes pētījumi. *Latvijas Lauksaimniecības universitātes raksti*, Nr. 14 (309). Jelgava, 2005. 108- 113. pp.
- 3 Spulle U., Pušinskis V., Hrols J., Dolacis J. Investigation of the quality of blanks of wooden pallets. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forestry and Wood Technology*. No 57. Warsaw. 2005, 209.-213. pp.
- 4 Spulle U., Pušinskis V., Rasmanis R. Statistical criteria of strength of the wooden pallet components. *Fifth Nordic-Baltic Agrometrics Conference, Conference report 1*, Uppsala, 2006, 139- 142. pp.
- 5 Spulle U., Ošs J., Pušinskis V. Initial Research of Strength of the Wooden Pallets. *International Scientific Conference Proceedings, Research for Rural Development 2006*, Jelgava, 2006, 284- 288. pp.
- 6 Spulle U., J. Pušinskis V. Research of strength of Euro pallets. *Proceedings of the 5th IUFRO Symposium „Wood Structure and Properties 06”*, Zvolen, 2006, 485- 489. pp.

GENERAL DESCRIPTION OF WORK

Background

The area covered by forests in Latvia is about 3 million hectares or almost 45% of the total territory. The area of forests in the last 70 years from 1935 till 2005 has increased by 1.7 times and it has a tendency to increase at the cost of agricultural lands.

The growing forest stock in all forest is 569 million m³, of which conifer trees- 330 million m³, deciduous trees- 239 million m³.

The total current increase of wood stock in Latvia is 16.5 million m³.

According to the size of area occupied by the main species of the total forest area's are: pine- 37.2%, birch- 30%, spruce-18.2%, grey alder- 6.8%, aspen- 3.8%, black alder- 2.7%, ash- 0.6%, oak- 0.3% and other species- 0.2%.

The forest industry is the largest export industry in the country. In Latvia the industry produces goods mainly for export- almost 90% of the production goes to other countries.

The main export goods are- sawn timber, plywood, pulpwood, particle boards, pallets and their timber components.

Export of different wood products constantly increases, especially export of sawn timber and pallets and their timber components.

The amount of wood processing industry's export since 1996 has increased more than two times, in 2005 it reached the amount of 796.846 million lats and it forms 27% of total export value of Latvia.

From 1995 till 2002 the total export of wood packaging products has increased 27 times.

In 2003 the amount of wood packaging products reached 163.5 thousand tons from the total wood processing industry's export, but import- 7.6 thousand tons.

In 2004 the export of main wood packaging products reached the amount of 156.5 thousand tons from the total export, but in 2005 it decreased till 146.7 thousand tons or by 6.2%.

But in the import field the tendency is completely different- in 2004 the import of wood packaging products was 9.7 thousand tons, but in 2005 it increased to 16.6 thousand tons or 71.9%.

Expressing in financial terms in the first ten months of 2006 the export of wood packaging products has increased by 7.5% and has reached the amount of 21.8 million lats. The situation in wood packaging products import is different and in the first ten months of 2006 the import has increased by 0.5% and reaches the amount of 2.8 million lats.

The main producers of pallets and their components are Marko KEA, Kurekss and Lindeks.

In order to produce pallets and their components in Latvia are used:

1. small diameter (10... 16 cm) softwood (spruce and pine) round assortments and hardwood (mainly, aspen and grey alder) packaging logs diameter of 10... 40 cm.
2. thin outer boards provided by saw mills with thickness of 14... 19 mm.

Raw materials for different producing processes become more expensive and together with that also competition in the market becomes stronger. It must be also considered that the number of research done about hardwood usage is small because attention as always paid to softwoods. It is important not only increase of the usefulness but also as many as possible uses of the cheaper and more rapidly growing wood for example grey alder, aspen a.o.

In exploitation process of pallets resistance and load carrying capacity are both the most important part. As literature researches prove the resistance of pallet very much depends on components of the pallet and characteristic values of strength and modulus of elasticity.

Since mentioned characteristics of various woods differ then in pallet constructions the size of crosscut used in components of the wood depends not only on load, characteristic properties and exploitation conditions but also on scale of characteristic strength.

For fast and strategically forecasting of dimensional crosscut it is necessary to develop a computer program, as well as develop non destructive method for sorting the pallets according to load carrying capacity.

Aim of the thesis

Taking into account the above- mentioned considerations, the aim of this paper is to study the connection between the resistance of pallets and the modulus of elasticity of staves, to develop non destructive testing method in order to define the load carrying capacity of pallets, as well as develop a computer program to forecast the load carrying capacity of pallets.

Major objectives

- Research of bending strength and the modulus of elasticity in bending of wood species used for pallets production;
- Research of quality, bending strength and modulus of elasticity in bending of the components of the pallets;
- Research of connection between resistance of pallets and modulus of elasticity of components of the pallets;
- Research of characteristic values of pallets resistance in bending, taking into account component and block joints;
- Development of non destructive method to define load carrying capacity of pallets;
- Development of computer program using programming language C# (C sharp), to forecast the load carrying capacity of pallets according to the size of boards, wood species, their mechanical properties and exploitation conditions.

Research methods

Research according to the aim and tasks was done using mathematic calculations and computer modeling, as well as experimental methods of gaining data. The base of the methods used is studies of wood and components of the pallets mechanical properties, analyze and comparison, as well as development of non destructive method with which would be possible fulfill the above- mentioned tasks.

The methods used and described in this paper allow define the load carrying capacity of pallets according to wood species, size of board's dimensional crosscut and exploitation conditions. There were used laboratory and computer programs of Scientific Laboratory of Wood and Wood Products of Latvia University of Agriculture and Testing Laboratory of Wood and Wood Products Research and Development Institute.

Pallets used for the research where picked up of pallets which were produced in a pallet production unit. In order to define the mechanical properties universal testing machine of material resistance ZWICK/Z100 Nr. 146956 was used.

For processing the information MS Excel Analyze-it computer programs were used.

Scientific novelty

- Non destructive method to define the resistance of pallets, based on defining the elastic deformation of board material, was developed.
- Computer program using programming language C# (C sharp) was developed, to forecast the load carrying capacity of pallets according to the size of boards, wood species, their mechanical properties and exploitation conditions.
- Research methods and gained data can be used in order to develop a machine to define pallets load carrying capacity in production process technological line.
- Physical mechanical properties was carried out for grey alder (*Alnus incana* L. Moench) and aspen (*Populus tremula* L.), as well as the affect of wood defects in components of the pallets defining physical mechanical properties for large dimensional cross section samples.

Results and practical significance

Using the research data it is possible to judge about physical mechanical properties of grey alder (*Alnus incana* L. Moench) and aspen (*Populus tremula* L.) grown in Latvia.

The results of pallet components quality and mechanical properties prove that resistance and in durance of pallets depend of quality of components and their mechanical properties. In order to insure the guaranteed quality of pallets load carrying capacity it would be advisable to sort out components by loading the pallet construction within elastic deformation boundaries.

As the result of studies the computer program forecasting the pallets load carrying capacity was developed, as well as non destructive method to define pallet load carrying capacity that is possible to use in technological production process for sorting pallets.

Structure of the thesis

The paper consists of five chapters:

- 1st chapter- description of literature sources used regarding productions of pallets and materials used in production, as well as information about previous testing methods.
- 2nd chapter- describes research results of physical mechanical properties of hardwood (aspen, grey alder) standard (clear) wood samples that are used in pallets production.
- 3rd chapter- describes research results of the pallet components quality and their physical mechanical properties.
- 4th chapter- provides research results about constructive solutions by assessing softwood and hardwood pallet construction strength and resistance.
- 5th chapter- describes research results about dimensional crosscut size definition of pallet components by developing a computer program to forecast pallets load carrying capacity according to the size of components, wood species and exploitation conditions using programming language C# (C sharp).

The thesis contains 110 pages, 76 figures, 27 tables.

The bibliography consists of 91 sources.

1 DESCRIPTION OF LITERATURE

In this chapter there were analyzed results of studies carried out by different authors regarding mechanical properties of wood species used in pallet production.

It was proved that the main factors affecting mechanical properties are density, moisture content, and percentage of latewood; scale factor and presence of defects (see figure 1.1).

If the size of samples is increased irregular pressure division in crosscut occurs because of anisotropic influence. Irregular pressure division and presence of defects in large cross section wood samples decrease the wood resistance in comparison with standard (clear) wood samples. Components used for pallets production are also considered to be large dimensional cross section wood samples. Taking into account the above mentioned aspects components of pallet should be sorted before using them in pallets production and during the sorting those characteristics and defects that influence the resistance of pallet should be detected, for example, those defects that are possible to detect visually- knots, cracks, etc.

Studies of different authors about wood physical mechanical properties and their mutual coherence are summarized in table 1.1.

As it is seen in the table 1.1 and proved by studies of foreign scientists then the most significant coherence is between area of knot size and modulus of elasticity in bending.

All the mentioned studies were carried out using standard and rectangle samples and it is not completely clear if the material would behave the same if they were used in construction. Therefore in continuing research the construction of pallet, requirements and testing methods were studied.

The most widespread construction in the whole world and also in Europe is called block pallet (see figure 1.2).

There are also studied other possibilities of material usage and their properties (see Table 1.2).

According to table 1.2 the major competitor of solid wood is OSB boards (Oriented strandboard). Speaking of the most used material for pallets production in Europe the wood must be considered, therefore, further studies are carried out on constructions of wood pallets.

Analyzing checking methods used for pallets it was proved that the most used method is test in bending (see figure 1.3).

When studying and analyzing pallets checking methods there was not resistance testing method founded that did not destroy the construction. Therefore, the next aim in further studies was to develop a non destructive method in order to detect the resistance of the construction and to forecast its load carrying capacity. The data from literature analyses were used in solving exercises of the paper.

2 PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD USED IN PALLETS PRODUCTION

Wood is anisotropic material- its physical mechanical properties depend on various factors especially on fiber direction. Different wood species have different physical mechanical properties and the dispersion can be very large.

Producers of pallets lack complete information about characteristics of wood physical mechanical properties used in pallets production; therefore there is a necessity to describe the above- mentioned properties.

Therefore the research of hardwood used in pallets production was carried out by using comparison of mechanical properties in bending, taking into account wood density and moisture content, which were present during the testing. Wood moisture during the testing was 12%.

Testing was carried out by using standard methods DIN 52186.

The comparison of hardwood results and tests of Latvia University of Agriculture on softwood (spruce and pine) previously was carried out. Results are summarized in table 2.1.

Research results are compared to former researches carried out on softwood- spruce wood researches in 2002 and 2005 and pine wood in 2005 by LUA Wood Processing Department about spruce and pine mechanical properties.

The results show that indicators of bending properties of spruce grown in Latvia wood's bending strength and modulus of elasticity in bending are comparatively higher than of grey alder: bending strength on average by 20.5% higher; but modulus elasticity by 24.5% higher.

Indicators of bending properties of pine grown in Latvia wood's bending strength and modulus of elasticity in bending are comparatively higher than of grey alder wood: limit in bending on average by 24.7% higher; but modulus of elasticity by 27.1% higher.

Indicators of bending properties of spruce grown in Latvia wood's bending strength and modulus of elasticity in bending are comparatively higher than of aspen: bending strength on average by 15.6% higher; but modulus of elasticity by 9.4% higher.

Indicators of bending properties of pine grown in Latvia wood's bending strength and modulus of elasticity in bending are comparatively higher than of aspen: bending strength on average by 20.1% higher; but modulus of elasticity by 12.5% higher.

Indicators of bending properties of aspen grown in Latvia wood's bending strength and modulus of elasticity in bending are comparatively higher than of grey alder: bending strength in bending on average by 5.7% higher; but modulus of elasticity by 16.7% higher.

3 PALLETS COMPONENT QUALITY AND PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES

If the size of samples increase, the number of possible defects increases as well and also influence of scale factor increases that will diminish indicators of sample mechanic properties.

Pallets components are also considered as large cross section samples, therefore research of quality and mechanical properties of wood species pallet component used in pallets production should be carried out.

In order to carry out the bending strength research of pallets components it was necessary also to sort them according to quality categories of LVS EN standard requirements 12246.

Pallets components are divided into P1 and P2 quality categories. The above-mentioned standard is meant to be for dividing materials into quality categories.

The research was carried out to detect the proportion of each type's quality, as well as to detect average mechanical properties of pallets components.

The quality research is necessary for the detecting which wood defects makes up the greatest proportion in each quality category.

According to standard LVS EN 1310 (2000) for measurement of knots there are two methods: "General method" – assorting according to external features and "Alternative method" if resistance of sawn material or any other material should be measured.

Sorting of components of pallets is done according to "Alternative method", which states that the area of the crosscut is to be surveyed on the wide side of pallet's component.

Results about wood defects according to wood species and quality categories are summarized in table 3.1.

It was studied that the most common wood defect is branches~ 80%. In further studies the limit tests to pallets components was carried out to pallets components without wood defects and to components with defects.

Tests were carried out using methods of LVS EN 408 standard.

3.1 Pine wood pallets components bending strength

Testing 55 pine wood pallets components (size 17×100×315 mm) without wood defects following average values were obtained: bending strength $f_b= 87.1$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b= 12.0$ GPa (see table 3.2. and 3.6.), with average wood density of $\rho= 470$ kg·m⁻³. Coherence of mechanical properties is shown in Figure 3.1.

Detected average value of bending strength of pine wood pallets components with wood defects: $f_b= 60.4$ MPa, average value of modulus of elasticity in bending $E_b= 10.8$ GPa (see table 3.2. and 3.6.), with average density $\rho=470$ kg·m⁻³. Coherence of mechanical properties is shown in Figure 3.2.

There were examined 110 samples. Average limit values of pine pallets components with and without wood defects: bending strength $f_b= 73.8$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b= 11.4$ GPa, with average wood density $\rho= 470$ kg·m⁻³.

Pine wood pallets components without wood defects values of bending strength are higher than to those with wood defects: bending strength by 30.7%, modulus of elasticity in bending 10.2%.

In table 3.2 it is shown that the highest value of bending strength are to pine wood pallets components without wood defects and to LVS EN 12246 Pl category samples.

Average value of bending strength to Pl category is 75 MPa, to P2 category it is by 37.3% lower - 47 MPa.

There was carried out recalculation of pine wood pallets components bending strength value from wood moisture content 12% to 20% (see Table 3.2), which was necessary for further calculations of pallets resistance.

3.2 Spruce wood pallets components bending strength

Testing 50 spruce wood pallets components without wood defects (size 17×100×315 mm), it was reckoned that average value of bending strength is $f_b= 79.7$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b= 11.0$ GPa (see Table 3.3. and 3.6), with average density $\rho= 450$ kg·m⁻³. Coherence of mechanical properties is shown in Figure 3.3.

For comparison there were examined also 50 spruce wood pallets components with wood defects and the average value of bending strength is $f_b= 63.2$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b= 9.9$ GPa (see table 3.3. and 3.6.), with average density of wood $\rho=450$ kg·m⁻³. Coherence of mechanical properties is shown in Figure 3.4.

There were established also average value of bending strength and modulus of elasticity in bending of spruce wood pallets components with and without wood defects: bending strength $f_b= 71.5$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b= 10.5$ GPa, with average wood density $\rho= 450$ kg·m⁻³.

Mechanical properties in bending of pallets components without wood defects are higher than to those with wood defects: bending strength by 20.7%, modulus of elasticity in bending by 10% (see table 3.3.).

In table 3.3 it is shown that the highest value of bending strength are to spruce wood pallets components without wood defects and to LVS EN 12246 Pl category samples.

Average value of bending strength to Pl category is 69.0 MPa, to P2 category it is by 25.9% lower- 51.1 MPa (see table 3.3).

There was carried out recalculation of spruce wood pallets components bending strength value from wood moisture content 12% to 20% (see table 3.3.), which was necessary for further calculations of pallets resistance.

3.3 Aspen wood pallets components bending strength

Testing 53 aspen wood pallets components without wood defects (size 15×100×315 mm), it was reckoned that average value of bending strength is $f_b= 81.6 \text{ MPa}$, modulus of elasticity in bending $E_b= 11.7 \text{ GPa}$ (see table 3.4. and 3.6), with average density $\rho= 498 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Coherence of mechanical properties is shown in figure 3.5.

There were examined aspen wood pallets components with wood defects and the average value of bending strength is $f_b= 56.6 \text{ MPa}$, modulus of elasticity in bending $E_b= 6.7 \text{ GPa}$ (see table 3.4. and 3.6.), with average density of wood $\rho= 498 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Coherence of mechanical properties is shown in figure 3.6.

There were examined 106 samples and established also average values of bending strength and modulus of elasticity in bending of spruce wood pallets components with and without wood defects: bending strength $f_b= 69.1 \text{ MPa}$, modulus of elasticity in bending $E_b= 9.2 \text{ GPa}$, with average wood density $\rho= 498 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (see table 3.4. and 3.6).

Mechanical properties in bending of pallets components without wood defects are higher than to those with wood defects: bending strength by 30.6%, modulus elasticity in bending 42.7%

In table 3.4 it is shown that the highest value of bending strength are to aspen wood pallets components without wood defects and to LVS EN 12246 Pl category samples.

An average value of bending strength to Pl category is 68.7 MPa, to P2 category it is by 23.1% lower- 52.8 MPa.

There was carried out recalculation of aspen wood pallets component bending strength value from wood moisture content 12% to 20% (see table 3.4.), which was necessary for further calculations of pallets resistance.

3.4 Grey alder wood pallets components bending strength

Testing 62 grey alder wood pallets components without wood defects (size 15×75×315 mm), it was reckoned that average value of bending strength is $f_b= 76.4 \text{ MPa}$, modulus of elasticity in bending $E_b= 9.8 \text{ GPa}$ (see table 3.5. and 3.6), with average density $\rho= 480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Coherence of mechanical properties is shown in figure 3.7.

There were examined 62 grey alder wood samples of pallets component with wood defects and the average value of bending strength is $f_b= 60.3 \text{ MPa}$, modulus of elasticity in bending $E_b= 7.8 \text{ GPa}$ (see table 3.5. and 3.6.), with average density of wood $\rho= 480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Coherence of mechanic properties is shown in figure 3.8.

There were established average values of bending strength and modulus of elasticity in bending of grey alder wood pallets components with and without wood defects: bending strength in bending $f_b= 68.4 \text{ MPa}$, modulus of elasticity in bending $E_b= 8.8 \text{ GPa}$, with average wood density $\rho= 480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (see table 3.5. and 3.6).

Mechanical properties in bending of pallet components without wood defects are higher than to those with wood defects: bending strength by 21.1%, modulus of elasticity in bending by 20.4%.

In table 3.5 it is shown that the highest values of bending strength are to grey alder wood pallets components without wood defects and to LVS EN 12246 Pl category samples.

An average value of bending strength to Pl category is 62.8 MPa, to P2 category it is by 23.6% lower- 48.0 MPa.

There was carried out recalculation of grey alder wood pallets component value from wood moisture content 12% to 20% (see table 3.5.), which was necessary for further calculations of pallets resistance.

In the research there were detected also normative (5% percentile) values of bending strength and modulus of elasticity in bending, which are necessary for forecasting the load carrying value of a pallet when reckoning components crosscut sizes. The results are summarized in table 3.6.

Research results show that comparing spruce and pine wood pallet components without wood defects bending strength and modulus of elasticity in bending values pine wood has a higher value than spruce: bending strength averagely by 8.5%, but modulus of elasticity by 8.3%.

Comparing spruce and pine wood pallet components with wood defects bending strength and modulus of elasticity in bending pine wood bending strength is lower averagely by 4.4%, but modulus of elasticity in bending is higher by 8.3%.

Comparing grey alder and aspen wood pallet components without wood defects bending strength and modulus of elasticity in bending values, grey alder has them lower: limit averagely by 6.4%, modulus of elasticity in bending by 16.2%.

Comparing grey alder and aspen wood pallet components with wood defects, bending strength of aspen is lower averagely by 6.1%, modulus of elasticity is lower averagely by 14.1%.

Comparing softwood and hardwood pallets components without wood defects, hardwood has them a little lower – aspen wood by 2.3%, alder wood by 8.4%.

Comparing softwood and hardwood average values of pallets components with wood defects, aspen wood has it a little lower by 8.4%, and grey alder does not have a significant difference.

Comparing softwood (pine, spruce) and hardwood (aspen, grey alder) average bending strength values of pallets components between quality categories P1 and P2 the difference makes up to 27.5%.

4 RESEARCH OF PALLET CONSTRUCTION

4.1 Research of softwood (spruce, pine) pallet construction resistance and modulus of elasticity in bending

From the point of view of exploitation significant requirements of pallets are resistance and load carrying capacity.

The pallets meant for experimental research were produced in the Pallet Company.

In research first were used softwood (pine and spruce) wood pallets, which crosscut sizes are available in Figure 4.1.

After detecting resistance and modulus of elasticity in bending indicators of 47 softwood pallets, the same work in detecting mechanical properties of 33 hardwood pallets (grey alder and aspen) was carried out.

For practical research of the resistance checking machine ZWICK Z 100 ($F_{max}= 100 \text{ kN}$) was used, where the maximum width of samples to check is 600 mm, which was the reason for recalculating the load.

Since pallets are mainly to be used in the second exploitation regime (moisture conditions)- $t=20^\circ\text{C}$ and $W=85\%$, then climatization of pallets to be checked was carried out.

Testing aim is to develop a method of forecasting the resistance of pallets without destroying them.

Characteristic indicators of pallets' cut area used in calculations are shown in table 4.1.

When studying the LVS standards no objective method was found that could be used for detecting the modulus of elasticity for pallet boards.

Load scheme that helps in achieving the aim is shown in table 4.2.

Load is realized in borders of elastic deformation recording deformation accordingly to 0.1 F_{max} and 0.4 F_{max} load.

To detect load and according deformation limits, 3 pallets were examined, which during testing were destroyed according to the scheme showed in figure 4.2 (see table 4.1.).

According to obtained results for following research such load values were chosen: $F_{10}=F_{1500}=1500$ N and $F_{40}=F_{6000}=6000$ N

Testing 47 softwood pallets during which by adding power of F_{10} and F_{40} record bending values average bending deformation indicators of $w_{10}= 4.7$ mm, $w_{40}= 12.3$ mm were obtained. These indicators were used in further calculations in order to detect pallets' board modulus of elasticity average values.

For calculations of modulus of elasticity according to load scheme where whole three hold beams are used (see figure 4.2.) that are symmetrically loaded with concentrated power in two points and bending formulate that is formed from coherence 4.1.

In current case when reckoning modulus of elasticity the total sum of upper and lower boards bending should be considered.

Since the board cut inertia moments of upper and lower boards are approximately the same, then board material average modulus of elasticity is reckoned according to coherence 4.2.

From calculations done the average modulus of elasticity value was gained $E_b= 10000$ MPa.

In order to forecast pallets destroying power according to certain value of modulus of elasticity a possible coincidence of these values should be found. To achieve the aim testing of pallets should be carried out where pallets are loaded till destruction.

Analyzing current pallet testing standards the most appropriate loading scheme is considered to be LVS EN 8611-1 (see figure 4.3).

In limits of elastic deformation several loading force and modulus of elasticity coherences were found, but the tightest correlation is observed ($R=0.84$) when deformations were recorded in scope of load force ($F_{40}-F_{10}$). Ultimate force and modulus of elasticity coherence is described by correlation equation 4.3 (see figure 4.4).

Forecasted value of destroying power using the value of the modulus of elasticity is reckoned according to coherence 4.3.

Using the obtained coherence 4.3, the forecasted average destroying force is $F_{max}=10570$ N. The average destroying force obtained in experiments according to the load scheme (see figure 4.3.) $F_{max}=10770$ N. The difference is 2%.

4.2 Research of hardwood (grey alder, aspen) pallet construction resistance and modulus of elasticity in bending

Since also hardwood is used in pallets' production (mainly used are aspen and grey alder) then according to previously described methods of detecting values of limits and board material modulus of elasticity, research by using pallets of hardwood (grey alder and aspen) is carried out.

Using load scheme (see figure 4.2.), the load of hardwood pallets in limits of elastic deformations was carried out, recording deformation accordingly 0.1 F_{max} and 0.4 F_{max} load.

In order to detect load and according deformation limits, 3 pallets were examined, which during the test were destroyed according to scheme showed in figure 4.2. (see table 4.2).

Following obtained results, for further research these load values were chosen: $F_{10}=F_{1500}=1500$ N and $F_{40}=F_{6000}=6000$ N

Carrying out tests of 33 pallets during which using added force F_{10} and F_{40} bending values were recorded, average bending deformation indicators $w_{10}= 7.9$ mm, $w_{40}= 17.5$ mm were obtained. These indicators were used in further calculations, detecting average values of pallets board material modulus of elasticity.

Also hardwood pallets upper and lower boards cut area inertia moments are approximately the same because the pallets components crosscut sizes are chosen the same as for softwood pallets.

The average modulus of elasticity of the hardwood pallets board is reckoned according to coherence 4.2.

Obtained average value of the modulus of elasticity from research is $E_b= 7350$ MPa.

In order to forecast pallets destroying power according to the certain value of the modulus of elasticity there was found a possible coincidence of these values. For this reason a test was carried out during which pallets were loaded till destruction.

In limits of elastic deformation several coherences between the load force and the modulus of elasticity were found. But the best aspect describing the coherence between destroying force and the modulus of elasticity is correlation equitation 4.4 (see table 4.5.).

Forecasted value of the destroying power by using the value of modulus of elasticity is reckoned according to coherence 4.4:

By using the obtained coherence 4.4 the average forecasted destroying force is $F_{max}=9430$ N. The average destroying force of hardwood obtained in experiments according to load scheme (see figure 4.3.) is $F_{max}=9400$ N.

Coherence between board modulus of elasticity and the pallet resistance in bending can be used in developing the computer program for forecasting the load carrying capacity of the pallets.

4.3 Stiffness research of pallets constructions

4.3.1 Stiffness research of softwood pallets

In the results of research several indicators were obtained, such as: resistance limit in destroying moment and according to the inertia moment, bending moment, bending moment in case of 0.4 F_{max} and according to this moments bending strength and the resistance moment in the zone of elastic deformations.

Values of inertia and the resistance moments obtained during practical tests theoretic research are summarized in table 4.3.

Using before reckoned resistance moment values following the proportion was set:

Increase of the theoretically reckoned crosscut area that is given by the pallet construction in comparison to the resistance moment of the upper boards (see coherence 4.5).:

Increase of the average resistance moment recorded in testing that is given by the pallet construction in comparison to the resistance moment of the upper boards (see coherence 4.6).:

The increase of average resistance moment during testing that is given by the pallet construction in comparison to the resistance moment of the upper boards is only 1.9 times. That can be caused by instability of the joints of blocks and boards nails.

4.3.2 Stiffness research of hardwood pallets

Using above- mentioned methods also hardwood (grey alder) pallets elasticity indicators were researched.

Using the above- mentioned method (see chapter 4.3.1) inertia and resistance moments values were obtained and theoretically reckoned.

In case of the hardwood pallet constructions, increase of the crosscut areas resistance given by the pallet construction in comparison to resistance of upper boards is 1.8 times. Like in the case of softwood pallets construction, also here the reason for instability could be the joints of blocks and boards nails.

4.4 Pallet strength depending on exploitation conditions

Wood construction exploitation conditions are divided into three groups.

Resistance of wood material is reckoned according to coherence 4.7, taking into account is exploitation conditions and the load type during exploitation

In load carrying capacity limit calculations safety coefficient for wood and its products is accepted $\gamma_M=1.3$

In the current research pallets were examined for using in the second exploitation class. When performing recalculations, taking into account the moisture contents of pallets components, resistance of calculations was set by using coherence 4.7 and obtained the average softwood and hardwood pallets components normative resistance values (see table 3.6.). For the softwood components (see coherence 4.8), for the hardwood components (see coherence 4.9).

In the result of research coherence between modulus of elasticity of the pallets boards and the pallets destroying force was found that is characterized by relatively high correlation coefficient to hardwood pallets $R=0.71$ (see coherence 4.4), softwood pallets $R=0.84$ (see coherence 4.3).

There was found coherence between the board's modulus of elasticity and the pallets ultimate force that can be used in computer programs development to the forecast pallets load carrying capacity.

Research result may be used in the pallets production by introducing in technologic line according to the testing machine for forecasting the pallets load carrying capacity. This roller transporter passing type testing machine would be as the last technologic operation in the pallets production process. Loading of pallets would be performed in borders of elastic deformation according to the scheme shown in figure 4.6. After loading the bending value of the pallets board material would be detected, this is also the main factor in sorting them by the load carrying capacity.

After assortment pallets would be assorted according to their load carrying capacity and placed in assortment places (see figure 4.7).

5 FORECASTING LOAD CARRYING CAPACITY OF THE PALLETS, USING THE DEVELOPED COMPUTER PROGRAM

Pallets calculation program is developed by using the programming language C# (C sharp). C# is modern, object- oriented programming language that gives opportunities to form large-scale applications to new Microsoft®.NET platform. Platform is provided with tools and services and may be used for calculations and communication. C# is formed by combining C++ and Microsoft Visual Basic®. With C# it is possible to form wide range components starting with high level business class till objects of system level.

Calculating program is formed to be user friendly- easy to operate and understand.

When activating pallets testing buttons, on the screen a new window of computer program is opened in which one can choose the type of pallet's construction (see figure 5.2 and 5.3).

Further activities are described in usage scheme of the computer program (see figure 5.1).

Currently in this calculation method there are calculations of two types of pallets- two-way pallet (see figure 5.2) and four-way pallet (see figure 5.3.). The pallets differ in construction and lifting methods- two- way pallet may be lifted only from front, but four- way pallet may be lifted from front and from sides.

Additions are easy to attach because the program consists of attaching models. For example, if there is a calculation for different construction pallet, it as a model is attached to base of the program, which allows improving and perfecting the performance of the program without interfering in its structure.

Program consists of two parts:

1. Data entry part (see figure 5.4)
2. Calculation part (see figure 5.5).

In data entry part, necessary data for calculations are inputs. In this part there is a visual demonstration of pallet where required data are indicated. It allows diminish the possibility of inputting the wrong data and provides a possibility easier navigate the program by guarantying precise calculation result. Moving around the input fields, visual demonstration on a pallet is available and those places are indicated of which the data is required. It is possible that the size of upper boards may differ. In order for calculations to be precise, in the program there is a table where all the sizes of upper boards are available (only in the case when the sizes are differing). Only those fields are activated of each pallet that is necessary for the calculations. In data entry part there is additional field where the wood type should be indicated, safety coefficient, which for wood materials is $\gamma_M = 1.3$; and exploitation conditions that are divided into three categories.

After inputting the data, they are processed and the results are shown in calculation part (see figure 5.5). In calculation part the limit and bending in millimeters are provided, as well as the destroying power and figures that provide a better understand of each indicator calculated.

All the acquired data can be transported to program MS Word. Exporting function is built in the calculation program. By using MS Word possibilities calculation results may be printed, sent by e-mail or saved.

By using the calculation program it is easy to work with sizes of materials and detect for what kind of load every particular pallet is meant for. It allows saving material usage and building a pallet with necessary crosscut sizes for particular loads.

6 CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

- 1 There were obtained physical mechanical properties of the aspen (*Populus tremula* L.) grown in the Republic of Latvia: bending strength $f_b = 90.7$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b = 12.6$ GPa, average wood density $\rho = 521 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ with moisture content of 12%. Results obtained in the research are comparatively lower than the same properties of spruce wood in research carried out earlier: bending strength averagely by 15.6%, but modulus of elasticity by 9.4%. Obtained properties are relatively lower than in research on pine wood carried out before: bending strength averagely 20.1%, but modulus of elasticity by 12.5%.
- 2 There were obtained physical mechanical properties of the grey alder (*Alnus incana* L. Moench): bending strength $f_b = 85.5$ MPa, modulus of elasticity in bending $E_b = 10.5$ GPa, average wood density $\rho = 510 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ with moisture content of 12%. Results obtained in the research are comparatively lower than the same properties of spruce wood in research carried out earlier: bending strength averagely by 20.5%, but modulus of elasticity by 24.5%. Obtained properties are relatively lower than in research of pine wood carried out before: bending strength averagely by 24.7%; but modulus of elasticity by 27.1%.

- 3 Values of modulus of elasticity and bending strength of the aspen grown in Latvia are higher than the same values of the grey alder wood: bending strength by 5.7%, modulus of elasticity by 16.7%.
- 4 Sorting of the pallets components according to P1 and P2 category of LVS EN 12246 standard was carried out with an aim to detect the proportion of the every type's quality. The quality of pine wood pallet components is high, P1 quality category holds 73.4% of quantity, P2 quality category holds 8.4% of production but defectives hold 18.2% of the production. Spruce wood pallet components P1 quality category holds 67.4% of the production, P2 quality category holds 20.6%, but defectives hold 12%. Aspen wood pallet components- P1 quality category holds 67% of the production, P2 quality category holds 12%, but the proportion of the defectives is comparatively large and sums up 20.8% of the production. Grey alder wood pallet components- P1 quality category holds 62.5%, P2 quality category holds 14.6%, but the defectives sum up 22.9% of the production.
- 5 In the result of pallets components there were obtained average properties of bending strength and modulus of elasticity in bending with wood moisture content of 12%. Pine wood pallet components bending strength is 73.8 MPa, modulus of elasticity in bending 11.4 MPa with wood density of $470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; spruce wood pallet components bending strength is 71.5 MPa, modulus of elasticity in bending 10.5 MPa with wood density of $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; grey alder wood pallet components bending strength is 68.4 MPa, modulus of elasticity in bending 8.8 MPa with wood density of $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; aspen wood pallet components bending strength is 69.1 MPa, modulus of elasticity in bending 9.2 MPa with wood density of $498 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Comparing the average properties of bending strength of pallet components hardwood has them a little lower- aspen wood by 4.2%, grey alder wood by 4.8%.
- 6 Pallet components properties with wood moisture content of 12% depend on quality category:
 - average bending strength of the spruce pallet components for quality category P1 is 69.0 MPa, but P2 quality category has it lower by 25.9%- 51.1 MPa;
 - average bending strength of the pine pallet components for quality category P1 is 75.0 MPa, but P2 quality category has it lower by 37.3%- 47.0 MPa;
 - average bending strength of the aspen pallet components for quality category P1 is 68.7 MPa, but P2 quality category has it lower by 23.1 %- 52.8 MPa;
 - average bending strength of the grey alder pallet components for quality category P1 is 62.8 MPa, but P2 quality category has it lower by 23.6%- 48.0 MPa.
- 7 After the research was carried out, the coherence between pallets' board modulus of elasticity and the pallets destroying force was found with wood moisture content of $W=20\%$, that is characterized by regression equation:
 - softwood (pine and spruce) $F = 1.10 \cdot E_b - 437.66$;
 - hardwood (grey alder and aspen) $F = 1.30 \cdot E_b - 129.1$.

The mentioned coherences are characterized by relatively high correlation coefficient for the softwood pallets $R=0.84$, hardwood pallets $R=0.71$.
- 8 Developed non destructive testing method to detect the load carrying capacity of pallets, which is based on detecting the pallets' board modulus of elasticity by loading the pallet's construction in limits of elastic deformation.
- 9 Results of research- coherence between the boards modulus of elasticity and pallets resistance and developed computer program using programming language C# (C sharp), may be used to forecast the resistance of the pallets depending on sizes of boards, wood mechanical properties and the exploitation conditions.
- 10 Detected resistance moments in destroying moment taking into account the joints of boards and blocks.

- 11 Increase of the average resistance moment that is given by the pallet's construction in comparison to the resistance moment of the upper boards both for softwood and hardwood is only 2 times.
- 12 The research results may be used in developing the machine for detecting pallets load carrying capacity and the machine could be included in the technologic line production process.
- 13 The load carrying capacity of the pallets depends not only on the size of boards, wood mechanical properties and exploitation conditions but also on the stability of joints of blocks and boards.

Suggestions

- 1 To optimize the usage of pallets bending strength and forecast the load carrying capacity of the pallets constructions, the pallet components should be assorted according to the quality categories of P1 and P2 as it is set in requirements of LVS EN 12246 standard.
- 2 By using research results and the developed testing method, in the technologic line of processing control machine of forecasting the pallets load carrying capacity and sorting the pallets.
- 3 Research should be carried out by working on studying characteristic values of the pallets resistance, impact of the blocks and boards joints on the pallet load carrying capacity.