

Svaigi zāgētas koksnes mitruma ietekme uz garumā līmētu priedes koksnes apdares dēļu robežstiprību liecē

J. Iejavs¹

Iejavs, J. (2009). The influence of the green timber moisture content on the bending strength of the lengthwise glued pine cladding board. Mežzinātne / Forest Science 19(52): p. 134-143.

Kopsavilkums: Paaugstināta mitruma koksnes līmēšana ļauj ekonomēt resursus augstas pievienotās vērtības produktu izgatavošanai. Pētījumā, izmantojot paaugstināta mitruma priedes (*Pinus sylvestris* L.) koksni, novērtētas divas, piecu dažādu kombināciju, ķīļtapu savienojumu līmēšanas tehnoloģijas: vienkomponta nesošo konstrukciju poliuretāna līme (Purbond HB 440); vienkomponta nenesošo konstrukciju poliuretāna līme (Bostik XPU 18268 F); divkompontu fenol-rezorcīna-formaldehīda līme ar sojas proteīniem (Prefere 4030\SI-300 un Prefere 4030\SIPC-500) un divkompontu fenol-rezorcīna-formaldehīda līme ar kazeīna proteīnu (Prefere 4030\C80). Pētījuma mērķis: izzināt priedes koksnes mitruma daudzuma ietekmi uz garumā līmētu apšuvuma dēļu robežstiprību liecē pēc žāvēšanas. Robežstiprība liecē noteikta, izmantojot standarta LVS EN 408 13. punkta metodiku. Papildus rādītāji – koksnes mitruma daudzums un blīvums – noteikti pirms līmēšanas un pēc žāvēšanas. Pētījuma rezultātā konstatēts, ka abu līmju veidu (poliuretāna un fenol-rezorcīn-formaldehīda ar sojas vai kazeīna hidrolizātiem) visu piecu līmju marku pielietošanas un kombināciju gadījumos iegūtajiem paraugiem ir pietiekami augsta robežstiprība liecē, un eksperimentos izmantotās tehnoloģijas ir piemērotas līmēto apdares dēļu izgatavošanai.

Nozīmīgākie vārdi: paaugstināts mitrums, ķīļtapu savienojums, robežstiprība liecē.

...

Iejavs, J., Latvian University of Agriculture. **The influence of the green timber moisture content on the bending strength of the lengthwise glued pine cladding board.**

Abstract: Finger jointing of green timber makes possible an efficient production of value-added wood. Green gluing is a new production method for established wood based products. In the conventional gluing process, when gluing dry wood, the first step is to dry the wood material to correct moisture content to achieve necessary properties of the wood. Normal wood moisture content will be in the range from 5 % to 18%. In the green gluing technology the moisture content of the wood will be higher than fibre saturation point and it may vary a lot. Green gluing is applied on the wood material at early stage in the production process, before a lot of work has been invested in the material. This leads to a reduction of the cost of raw material. No need to dry the waste as it is eliminated before drying, reduced

¹ Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, Kokapstrādes katedra, Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija; e-pasts: janis.iejavs@e-koks.lv

energy consumption and with improved value of the waste material. The present research evaluates finger jointing of green European pine (*Pinus sylvestris* L.) timber with two adhesive systems in five variations: one-component structural polyurethane (Purbond HB 440); one-component non structural polyurethane (Bostik XPU 18268 F); two-component phenol resorcinol formaldehyde with soy protein (Prefere 4030\SI-300 and Prefere 4030\SIPC-500) and two-component phenol resorcinol formaldehyde with casein protein (Prefere 4030\C80). The aim of the research: to investigate the influence of the pine wood moisture content on green glued pine cladding board critical bending strength after drying. The samples have been made according to standard cladding processing and finger jointing technology, but with divers adhesive system application. 4-point critical bending strength according to LVS EN 408, moisture content and density before gluing and after drying were evaluated. In total were tested 100 specimens 20 for each adhesive system and adhesive combination. For statistical analysis were used standard MS Excel and SPSS software. Both adhesive systems (polyurethane and two-component phenol resorcinol formaldehyde with soy ore casein protein) obtain necessary critical bending strength for producing cladding boards. After drying process, phenol resorcinol formaldehyde combination systems have 30% higher average critical bending strength than polyurethane systems. Several European Union countries collaborate in the COST action E34 to work out the core document "Green gluing of wood" for structural application. That will open up new opportunities upon both structural and non-structural gluing of green wood and will increase the efficiency of the glue-lam producing process.

Key words: green gluing, finger jointing, bending strength.

...

Иеявс Я., Латвийский сельскохозяйственный университет, Кафедра лесозаготовки. **Влияние повышенной влажности свежепиленной древесины на предельную прочность продольно клеенных обшивочных досок сосны на изгиб после сушки.**

Резюме: Процесс склеивания свежепиленной древесины помогает сэкономить ресурсы на изготовление продуктов с повышенной добавленной стоимостью. Используя сосну (*Pinus sylvestris* L.) с повышенной влажностью, в проведенном исследовании оценены два вида клея в пяти разных комбинациях, технологии клеевки с зубчато-клиновым соединением: однокомпонентный строительный полиуретановый клей (Purbond HB 440); однокомпонентный нестроительный полиуретановый клей (Bostik XPU 18268 F); двухкомпонентный клей феноло-резорцино-формальдегидный с соевыми протеинами (Prefere 4030\SI-300 и Prefere 4030\SIPC-500) и двухкомпонентный клей феноло-резорцино-формальдегидный с казеиновым протеином (Prefere 4030\C80). Цель исследования - изучить влияние содержания влажности свежепиленной сосновой древесины на предельную прочность продольно клеенных обшивочных досок сосны на изгиб после сушки. Используя методику 13 пункта стандарта LVS EN 408, определена предельная прочность образцов. Перед процессом склеивания и после

сушки образцов были определены дополнительные показатели – плотность и содержание влажности в древесине.

В процессе исследования выяснено, что оба вида клея, во всех пяти комбинациях (полиуретановый и феноло-резорцино-формальдегидный с казеиновым и с соевыми гидролизаторами) позволяют изготовить сосново-обшивочные доски с достаточно высокими показателями предельной прочности древесины на изгиб.

Ключевые слова: повышенная влажность, зубчато-клиновое соединение, предельная прочность на изгиб.

Ievads

Samazinoties tirgū piedāvāto sortimentu dimensijām un palielinoties to cenām, rodas nepieciešamība attīstīt dažādu materiālu līmēšanas tehnoloģijas, tādējādi no zemākas kvalitātes un mazāku dimensiju kokmateriāliem iegūstot materiālus ar augstāku pievienoto vērtību. Viens no veidiem, kā attīstīt ražošanu un ekonomēt līdzekļus, ir pārveidot ražošanu tā, lai samazinātos attiecīgā apstrādes procesa izmaksas. Kā uzskatāms piemērs ražošanas izmaksu optimizācijai atzīmējama šajā pētījumā apskatītā svaigi zāgētas (ar paaugstinātu mitruma daudzumu) koksnes līmēšanas tehnoloģija, kas būtiski atšķiras no sausas koksnes tādas pašas apstrādes tehnoloģijas ar to, ka līmēšanu izdara pirms kokmateriālu žāvēšanas. Tā rezultātā žāvētavās nonāk jau salīmētas vienāda garuma bezdefektu sagataves, tādējādi ievērojami (par 30 līdz 40%) samazinot žāvēšanas izmaksas². Starptautiskajā publikācijā (Sterley, 2004) ir pierādītas iespējas līmēt paaugstināta mitruma priedes koksni

vienlaikus ar nesošo konstrukciju ražošanu. Tajā apskatītas šajā rakstā minētajām analoģiskās līmēšanas tehnoloģijas ar atšķirīgu ķīļtapu savienojumu izgatavošanas tehnoloģisko procesu (ķīļtapu izmēri, presēšanas spiediens, paraugu dimensijas u.c.), kā rezultātā šajā pētījumā iegūtos lieces robežstiprības rādītājus būtu nekorekti tieši salīdzināt ar iepriekš-minētajā publikācijā iegūtajiem. Pēc Stērlijas (Sterley, 2004), izmantojot slapjas priedes koksnes līmēšanai trīs attiecīgas tehnoloģijas (vienkomponenta poliuretānu, fenol-rezorcīna-formaldehīdu un fenol-rezorcīna-formaldehīdu kombinācijā ar sojas hidrolizātu) un saskaņā ar LVS EN 408 13. punktu, iegūti garumā līmētie priedes koksnes konstrukciju kokmateriāli ar vidējo robežstiprību liecē 41,7 MPa.

Pētījuma mērķis: noskaidrot svaigi zāgētu, ar ķīļtapu garumā saudzētu priedes koksnes apdares dēļu līmēšanas iespējas, izmantojot dažāda veida līmēšanas tehnoloģijas. Tā īstenošanai izvirzīti šādi darba uzdevumi: apkopot informāciju par koksnes ar paaugstinātu mitruma daudzumu līmēšanas iespējām; izstrādāt svaigi zāgētas koksnes līmēšanas un pārbaudes metodiku; veikt slapjas koksnes līmēšanas iespēju izpēti, analizēt iegūtos rezultātus un izdarīt secinājumus.

² Tehniski ekonomisks novērtējums transport-sausas un svaigi zāgētas koksnes līmēšanas un tālākapstrādes tehnoloģiju pārnesei Latvijās kokapstrādes uzņēmumos. [WWW dokuments]. - URL http://www.zm.gov.lv/doc_upl/38.pdf - [Resurss apskatīts 2009. gada 12. martā].

Materialis un metodes

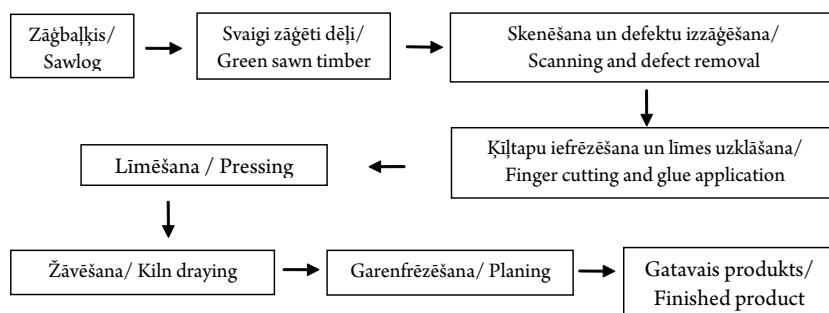
Pētījumu veikšanai izmantota profilētu priedes koksnes (*Pinus sylvestris* L.) apdares dēļu izgatavošanas tehnoloģija un nesošo konstrukciju kokmateriālu pārbaudes metodika. Garumā saaudzēšanai ar ķīļtapas savienojumu tika izgatavotas svaigi zāģētas priedes koksnes bezdefektu (LVS EN 385, 2002) sagataves, kam sākotnējie šķērsriezuma izmēri bija 20x80 mm. Šādas sagataves plaši pielieto profilēto apdares dēļu izgatavošanai. Sagatavju galos ir rūpnieciski iestrādātas ķīļtapas, kuru garums 10 mm, tapas solis 3,7 mm un pielaide tapas galos 0,6 mm, tā, lai tās būtu redzamas sagataves platajā skaldnē.

Svaigi zāģētu, līmētu apdares dēļu izgatavošanas principiālā shēma parādīta 1. attēlā.

Pētījumā izmantotas divu veidu vienkomponta, ar mitrumu reaģējošas poliuretāna līmes: Bostik XPU 18268 F un Purbond HB 440. Līmi Bostik XPU 18268 F plaši pielieto kokrūpniecības uzņēmumos sausas koksnes ($w \leq 16\%$) līmēšanai, bet līmi Purbond HB 440 –

nesošajās koka konstrukcijās, kam mitruma daudzums w nepārsniedz 18%. Kā otrs līmes variants izmantota fenolrezorcīnformaldehīda (PRF) sveķu līme Prefere 4030 kombinācijā ar sojas vai kazeīna olbaltumvielu hidrolizātiem. Viens no šīs līmes komponentiem ir uzņēmuma *Dynea* ražotā nesošo konstrukciju PRF sveķu līme Prefere 4030, ar cietinātāju Prefere 5803, ko pirms līmēšanas pievieno sveķiem attiecībā 1:0,15. Otrs komponents ir sojas vai kazeīna hidrolizāts, kas izstrādāts Latvijas uzņēmumā *PPE Serviss*. Hidrolizātu apzīmējumi un raksturojums dots 1. tabulā.

Abi iepriekš minētie komponenti tiek uznesti ķīļtapu savienojumam dalīti ar iemērkšanas metodi. Komponentiem saskaroties, notiek ķīmiska reakcija, kā rezultātā strauji norisinās žēlēšana, vēlāk – cietēšana. Pielietojot abu veidu līmes, paraugu līmēšana garumā veikta ar gala spiedienu 4 MPa un izturēšanas laiku zem spiediena – 4 sekundes. Poliuretāna līmju uzklāšana izdarīta, izmantojot iemērkšanas metodi. Abos gadījumos līmes uzklājums kontrolēts ar svēršanas paņēmieni. Pielietota aukstā līmēšana.



1. attēls. Produktu izgatavošanas principiālā shēma, izmantojot paaugstināta mitruma koksnes līmēšanas tehnoloģiju.

Figure 1. Schematic illustration of the green finger jointing process.

1. tabula, Table 1

Sojas un kazeīna hidrolizātu raksturojums
Characteristics of the soy and casein hydrolyze

Tehniskais rādītājs <i>Technical characteristic</i>	Komponenta apzīmējums <i>Marking of the component</i>		
	SI-300	SIPC-500	C80
Izejviela <i>Raw material</i>	soja <i>soy</i>	soja <i>soy</i>	biezpiens <i>curd</i>
pH skaitlis <i>pH N°</i>	12,2	11,3	8,1
Viskozitāte (Brookfild, 20°C) <i>Viscosity (Brookfild, 20°C)</i>	30 000	14 000	35 000
Sausnas daudzums, % <i>Solid content, in %</i>	41	38	42
Krāsa <i>Color</i>	tumši brūna <i>dark brown</i>	gaiši brūna <i>light brown</i>	dzeltenīga <i>yellowish</i>
Smarža <i>Smelt</i>	amonjaka <i>ammonia</i>	amonjaka <i>ammonia</i>	-

Izmēritais priedes koksnes mitruma vidējais daudzums pirms limēšanas – 110% (no 37 līdz 165%), bet vidējais koksnes blīvums – 897 kg m⁻³ (robežās no 562 līdz 1082 kg m⁻³).

Pēc paraugu limēšanas veikta to mākslīgā žāvēšana 60°C temperatūrā, līdz vidējais mitruma daudzums sasniedzis 18±2% vērtību. Pēc žāvēšanas un pirms pārbaudēm limētie paraugi vienu nedēļu ievietoti kondicionēšanas telpā nestandarta apstākļos, kur relatīvais gaisa mitrums 75±5% un gaisa temperatūra 20±2°C (Боравиков, Уголев, 1989), kā rezultātā mitruma daudzums paraugos izlīdzinājās materiāla šķērsgrīzumā un starp paraugā savienotajām sagatavēm.

Pēc paraugu kondicionēšanas veikta to garenfrēzēšana un precīza sagarumošana, iegūstot sagataves ar šķērsgrīzuma izmēriem 15x75 mm un garumu 300 mm, kas izmantotas turpmākajās pārbaudēs.

Savienojumu robežstiprība liecē platajā skaldnē noteikta saskaņā ar standarta LVS EN 408 13. punkta prasībām un šī

standarta 1. attēla shēmu (LVS EN 13183-1, 2003), izmantojot materiālu mehāniskās testēšanas iekārtu Zwick Z100.

Visi paraugu faktiskie izmēri pirms pārbaudes noteikti pēc standarta LVS EN 325 (LVS EN 325, 2000) metodikas.

Katrai līmes markai un līmju kombinācijai pārbaudīti 20 paraugi, kā rezultātā iegūti vismaz 15 rādītāji robežstiprībai liecē. Pētījumā pavisam pārbaudīti 100 limēti paraugi. Koksnes mitruma daudzums pirms limēšanas un pārbaudes brīdī kontrolēts, izmantojot standarta LVS EN 13183-1 (LVS EN 13183-1, 2003) metodiku. Koksnes blīvums pirms limēšanas un pēc žāvēšanas noteikts saskaņā ar standartu LVS EN 408 (LVS EN 13183-1, 2003) un ISO 3131 (ISO 3131, 1975) kombinēto metodiku.

Datu statistiskā apstrāde veikta, izmantojot datorprogrammu MS Excel un SPSS standarta funkcijas (Arhipova, Bāliņa, 2006).

Rezultāti un diskusija

Četrpunktu robežstiprības lieces pārbaude platajā skaldnē veikta svaigi zāģētai priedei, kas limēta garumā, izmantojot divu veidu un trīs dažādu kombināciju līmes. Pēc limēšanas visi paraugi izžāvēti vidēji līdz 18% mitruma daudzumam.

Katras līmju markas (ne mazāk kā 15 paraugu), kā arī robežstiprības liecē vidējās vērtības, papildus un statistiskie rādītāji – standartnovirze (s) un variācijas koeficients (v) – doti 2. tabulā.

Pētījumā izmantotās priedes koksnes vidējais blīvums pie 18% mitruma daudzuma bija 530 kg m^{-3} (skat. 2. tabulu).

Katras līmēto paraugu grupas vidējā robežstiprība liecē, kas izteikta procentos no

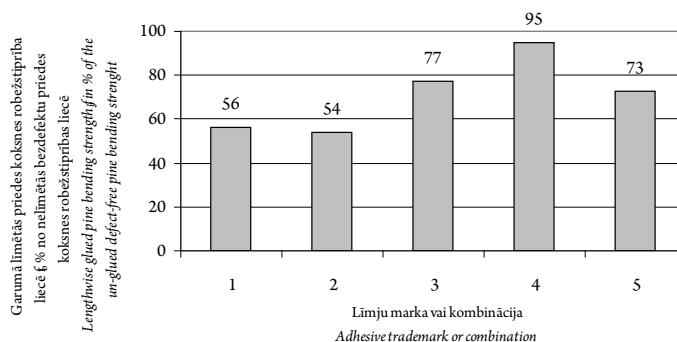
nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes vidējās robežstiprības liecē, uzskatāmi parādīta 2. attēlā.

Garumā limējot paaugstināta mitruma daudzuma (vidējais koksnes mitruma daudzums – $w_{\text{vid}}=121\%$) priedi ar nesošo konstrukciju poliuretāna līmi HB 440, pēc žāvēšanas līdz 18% mitruma, iespējams iegūt līmēto materiālu, kam robežstiprība liecē ir $38,4 \text{ MPa}$ jeb 56% no nelīmētas bezdefektu priedes koksnes robežstiprības liecē ($68,8 \text{ MPa}$) (Spulle, 2007). Izmantojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes ($w_{\text{vid}}=117\%$) limēšanā nenesošo konstrukciju līmi XPU 18268 F, pēc žāvēšanas iespējams iegūt līmēto materiālu, kam robežstiprība liecē ir $37,3 \text{ MPa}$, kas sastāda 54% no nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes

2. tabula, Table 2

Līmēto paraugu papildus rādītāji un robežstiprība liecē
Bending strength and additional parameters for glued samples

Līmes veids Type of adhesive	Poliuretāns Polyurethane		PRF + proteīni PRF + proteins		
Līmes marka Adhesive trademark	HB 440	XPU 18268 F	Prefere 4030\ SI-300	Prefere 4030\ SIPC-500	Prefere 4030\ C80
Vidējais blīvums (standartnovirze s ; variācijas koeficients v , %), kg m^{-3} Average density (standard deviation s ; coefficient of variation v , in %), in kg m^{-3}	520 (64; 12)	525 (121; 23)	513 (56; 11)	569 (60; 11)	526 (41; 8)
Vidējais mitruma daudzums pirms limēšanas (s ; v , %), % Average moisture content before gluing (s ; v , in %), in %	121 (32; 26)	117 (31; 26)	112 (38; 34)	102 (12; 12)	94 (43; 46)
Vidējais mitruma daudzums pirms pārbaudes (s ; v , %), % Average moisture content before testing (s ; v , in %), in %	18,0 (1,1; 6)	17,5 (0,4; 2)	18,5 (0,5; 5)	17,9 (0,8; 5)	18,1 (0,9; 5)
Vidējā robežstiprība liecē (s ; v , %), MPa Average bending strength (s ; v , in %), in MPa	38,4 (6,5; 17)	37,3 (7,0; 19)	53,1 (9,6; 18)	65,5 (10,1; 15)	50,0 (7,2; 14)
Vidējais līmes uzklājums, g m^{-2} Average adhesive application, in g m^{-2}	190	160	340	260	340



2. attēls. Garumā līmētas priedes koksnes robežstiprība liecē % no nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes robežstiprības liecē.

Figure 2. Lengthwise glued pine bending strength in % of the un-glued defect-free pine bending strength.

Apraksts / Legend: 1 – HB 440; 2 – XPU 18268 F; 3 – Prefere 4030\SI-300;

4 – Prefere 4030\SIPC-500; 5 - Prefere 4030\C-80.

robežstiprības liecē. Paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes līmēšanai pielietojot nenesošo konstrukciju poliuretāna limi XPU 18268 F, iegūta par 3% zemāka robežstiprības liecē vidējā vērtība, nekā lietojot nesošo poliuretāna limi HB 440. Robežstiprības liecē vidējo vērtību atšķirība abām poliuretāna limju markām nav būtiska.

Saaudzējot garumā paaugstināta mitruma daudzuma ($w_{\text{vid}}=112\%$) priedi ar fenol-rezorcīna-formaldehīda līmes Prefere 4030 un sojas olbaltumvielu hidrolizātu SI-300 kombināciju, pēc žāvēšanas iespējams iegūt līmēto kokmateriālu ar vidējo robežstiprību liecē 53,1 MPa, kas ir 77% no nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes vidējās robežstiprības liecē. Slapjas priedes koksnes ($w_{\text{vid}}=102\%$) līmēšanā izmantojot fenol-rezorcīna-formaldehīda limi Prefere 4030 kombinācijā ar sojas olbaltumvielu hidrolizātu SIPC-500, iespējams iegūt līmēto savienojumu ar 65,6 MPa lielu vidējo robežstiprību liecē, kas sastāda 95% no nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes vidējās robežstiprības liecē.

Paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes ($w_{\text{vid}}=94\%$) līmēšanā izmantojot fenol-rezorcīna-formaldehīda limi Prefere 4030 kombinācijā ar kazeīna olbaltumvielu hidrolizātu C80, iespējams iegūt līmēto savienojumu ar 50,0 MPa lielu vidējo robežstiprību liecē, kas sastāda 73% no nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes vidējās robežstiprības liecē.

Pielietojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes līmēšanā ar mitrumu reaģējošas poliuretāna līmes, iegūti par 30% zemāki robežstiprības liecē vidējie rādītāji salīdzinājumā ar PRF un olbaltumvielu hidrolizātu kombināciju līmēm. Tajā pašā laikā visu limju pielietošanā iegūtie vidējie robežstiprības rādītāji liecina, ka, izmantojot paaugstināta mitruma daudzuma koksnes līmēšanas tehnoloģiju apdares dēļu līmēšanā, iespējams iegūt produktu ar pietiekami augstu robežstiprību liecē.

Pētot sakarības starp priedes koksnes mitruma daudzumu pirms līmēšanas un robežstiprību liecē pēc žāvēšanas, varam

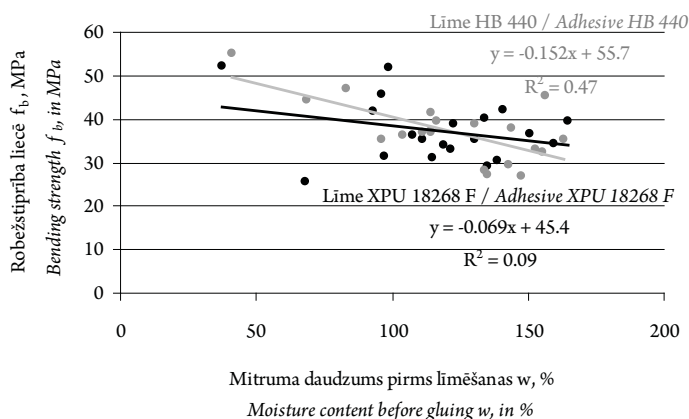
secināt, ka, izmantojot poliuretāna līmi HB 440, lineārā sakarība ir vidēji cieša un funkcionāli negatīva, ko raksturo korelācijas koeficients 0,67. Pielietojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes līmēšanā poliuretāna līmi XPU 18268 F, sakarība starp koksnes mitruma daudzumu pirms līmēšanas un robežstiprību liecē pēc žāvēšanas ir vāja, funkcionāli negatīva un to raksturo korelācijas koeficients 0,30 (skat. 3. att.).

Pētot sakarības starp priedes koksnes mitruma daudzumu pirms līmēšanas un robežstiprību liecē pēc žāvēšanas, varam secināt, ka, izmantojot PRF sveķu līmi Prefere 4030 kombinācijā ar sojas hidroli-zātiem SI-300 un SIPC-500, lineārā sakarība ir negatīva un, palielinoties koksnes mitruma daudzumam pirms līmēšanas, robežstiprība liecē pēc žāvēšanas samazinās. Sakarības ciešumu līmei Prefere 4030\SI-300 raksturo korelācijas koeficients 0,23 (sakarība vāja), līmei Prefere 4030\SIPC-500 – korelācijas koeficients 0,69 (sakarība vidēji cieša).

Paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes līmēšanā izmantojot līmes kombināciju Prefere 4030\C80 (PRF + kazeīna

hidrolizāts), sakarība starp koksnes mitruma daudzumu pirms līmēšanas un robežstiprību liecē pēc žāvēšanas ir funkcionāli pozitīva: palielinoties koksnes mitruma daudzumam pirms līmēšanas, līmētas priedes koksnes robežstiprība liecē pēc žāvēšanas palielinās. Sakarība šajā gadījumā ir cieša, ko raksturo korelācijas koeficients 0,90.

Līmes uzklājuma vidējās vērtības katrai pārbaudāmo paraugu grupai dotas 4. tabulā. Pielietojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes līmēšanā iemērķšanas paņēmieni un izmantojot poliuretāna līmes, iespējams iegūt savienojumu ar vidējo līmes uzklājumu 160 g m^{-2} (līmei XPU 18268 F) un 190 g m^{-2} (līmei HB 440). Minētie līmes uzklājumi ir ražotāja rekomendētajās optimālajās uzklājuma robežās. Pielietojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes līmēšanā ar iemērķšanas paņēmieni kombinēto PRF un olbaltumvielu proteīnu līmju kombinācijas, līmes uzklājums ir aptuveni divas reizes lielāks nekā poliuretāna līmju gadījumā. Orientējoši vidējais līmes uzklājums šajā gadījumā ir 300 g m^{-2} .



3. attēls. Priedes koksnes mitruma daudzuma pirms līmēšanas ietekme uz garumā līmētas priedes koksnes robežstiprību liecē pēc žāvēšanas.

Figure 3. The influence of the wood moisture content before gluing on the finger joined pine bending strength after drying.

Secinājumi

1. Pētījums veikts, paraugu izgatavošanu maksimāli pietuvinot reālajam apdares dēļu ražošanas procesam, kā rezultātā „slapjās” limēšanas tehnoloģiskā procesa ieviešana ražošanā un produkta kvalitātes apliecināšana ražotājam nebūs problemātiska.
2. Pētījuma rezultātā iegūta par 15% augstāka garumā limēto priedes koksnes apdares dēļu vidējā robežstiprība liecē, salīdzinot ar Stērlijas (Sterley, 2004) publicētajiem garumā limēto konstrukciju kokmateriālu robežstiprības liecē vidējiem rādītājiem.
3. Limējot paaugstināta mitruma daudzuma priedi, augstākā limēto apdares dēļu robežstiprība liecē sasniegta, izmantojot PRF un sojas hidrolizāta SIPC-500 kombināciju: iegūtā robežstiprība liecē ir 65,5 MPa, kas sastāda 95% no nelīmētas, bezdefektu priedes koksnes robežstiprības liecē.
4. Pielietojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes limēšanā ar mitrumu reaģējošas poliuretāna limes, iegūti vidēji par 30% zemāki vidējie robežstiprības liecē rādītāji salīdzinājumā ar PRF un olbaltumvielu hidrolizātu kombināciju limēm.
5. Pielietojot četru veidu limes un to kombinācijas (HB 440; XPU 18268 F; Prefere 4030\SI-300; Prefere 4030\SIPC-500), vērojama tendence, ka, palielinoties priedes koksnes sagatavju mitruma daudzumam pirms limēšanas, samazinās garumā limēto apšuvuma dēļu robežstiprība liecē pēc to žāvēšanas. Limes Prefere 4030\C80 izmēģinājumā vērojama pretēja tendence: jo lielāks sagatavju mitruma daudzums pirms limēšanas, jo lielāka limēto apšuvuma dēļu robežstiprība liecē pēc žāvēšanas.
6. Izmantojot paaugstināta mitruma daudzuma priedes koksnes paraugiem iemērķšanas paņēmieni, kļītapās var nodrošināt vidējo limes uzklājumu – 180 g m⁻² poliuretāna limēm un 300 g m⁻² PRF – olbaltumvielu limju kombinācijām.
7. Pašlaik, sadarbojoties vairākām Eiropas Savienības valstīm, tiek izstrādāta normatīvi tehniskā bāze svaigi zāgētas koksnes limēšanas tehnoloģiskā procesa ieviešanas reglamentētajā nesošo limēto konstrukciju kokmateriālu izgatavošanas sfērā, kas nākotnē ievērojami var palielināt limēto konstrukciju kokmateriālu ražošanas efektivitāti arī nereglamentētajā sfērā.

Literatūra

- Arhīpova, I., Bāliņa, S. (2006). Statistika ekonomikā un biznesā. Datorzinību Centrs, Rīga, 364 lpp.
- ISO 3131, (1975). Wood – Determination of density for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization, 2 lpp.
- LVS EN 325, (2000). Paraugu ģeometrisko izmēru noteikšanas prasības. Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 4.-5. lpp.
- LVS EN 385, (2002). Būvkoķu savienojumi – Ekspluatācijas noteikumi un ražošanas noteikumu minimums. Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 7.-8. lpp.

- LVS EN 408, (2003). Koka konstrukcijas – Konstrukciju kokmateriāli un limētie koka izstrādājumi – Dažu fizikālo un mehānisko īpašību noteikšana. Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 8.-16. lpp.
- LVS EN 13183-1, (2003). Zāģmateriālu mitrums – 1.daļa: Noteikšana ar žāvēšanas metodi. Latvijas Valsts Standarts, Rīga, 4.-5. lpp.
- Sterley, M.** (2004). Green gluing of wood. Licentiate Thesis. Royal Institute of Technology, Stockholm. 38 p.
- Spulle, U.** (2007). Paliktņu koka konstrukciju mehānisko īpašību pētījumi. Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. LLU, Meža fakultāte, Kokapstrādes katedra, Jelgava, 109 lpp.
- Tehniski ekonomisks novērtējums transportsausas un svaigi zāģētas koksnes limēšanas un tālākapstrādes tehnoloģiju pārnesei Latvijas kokapstrādes uzņēmumos. [WWW dokuments]. – URL http://www.zm.gov.lv/doc_upl/38.pdf - [Resurss apskatīts 2009. gada 12. martā].
- Боравиков, А. М., Уголев Б.** (1989). Справочник по древесине. Справочник. Лесная пром-сть, Москва, 296 с.