



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE  
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE  
MEŽA FAKULTĀTE  
FORESTRY FACULTY  
KOKAPSTRĀDES KATEDRA  
WOOD TECHNOLOGY DEPARTMENT

*Mg.sc.ing. KASPARS ZUDRAGS*

**PAAUGSTINĀTAS ĪPATNĒJĀS STIPRĪBAS  
SAPLĀKŠŅA PLĀTNES  
PLYWOOD PANELS WITH IMPROVED SPECIFIC STRENGTH**

Promocijas darba kopsavilkums  
inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) grāda iegūšanai  
Summary of the thesis  
for acquiring the Doctor's Degree of Engineering science (Dr.sc.ing.)

JELGAVA

2010

Promocijas darba vadītāji:  
*Supervisors:*

Dr.habil.sc.ing., Dr.h.c.silv. Henn Tuherm  
Dr.habil.sc.ing. Kārlis Rocēns

Promocijas darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes (LLU) Meža fakultātes Kokapstrādes katedrā un akciju sabiedrībā „Latvijas Finieris”. Pētījumi veikti laika posmā no 2004. līdz 2010. gadam.

*The research has been carried out at the Latvia University of Agriculture (LLU), Forest faculty, Department of Wood Processing and join stock company Latvijas Finieris. Research was started in 2004 and was finished in 2010.*

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers:*

Dr.habil.sc.ing. Arnolds Šķēle, Latvijas Lauksaimniecības universitātes profesors, Latvijas Zinātnes padomes eksperts / *professor of Latvia University of Agriculture, expert of Latvian Council of Science;*

Dr.sc.ing. Andris Čate, Rīgas Tehniskā universitāte profesors, Latvijas Zinātnes padomes eksperts / *professor of Riga Technical University, expert of Latvian Council of Science;*

Dr. Antanas Baltrušaitis, Kauņas Tehnoloģijas universitātes asociētais profesors / *assoc. professor of Kaunas University of Technology.*

Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta no Eiropas Savienības Sociālā fonda un Meža attīstības fonda.

*Thesis for a Doctor's degree particularity has been financed by Eiropean Social Fund and Forest Development fund.*



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2010. gada 22. jūlijā plkst. 11:00, Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē.

Ar promocijas darba kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgavā, <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

Atsauksmes promocijas padomes sekretāram, LLU profesoram Dr.sc.ing. A. Drēskam, Akadēmijas iela 11, Jelgava, Latvija, LV-3001 vai [mfmezizm@llu.lv](mailto:mfmezizm@llu.lv).

*The defence of the thesis will be held at the open meeting of the Promotion Council of LLU Forest Science and Material Science (Wood Material and Technology sub-branch), in the meeting hall at 11:00 on 22 July 2010, Dobeles street 41, Jelgava, Latvia.*

*The summary of the thesis is available in the Fundamental Library of LLU, Liela iela 2, Jelgava, or <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>.*

*References are welcome to be sent to Dr.sc.ing. A. Dreska, the Secretary of the Promotion Council, Akademijas street 11, Jelgava, Latvia, LV-3001 or [mfmezizm@llu.lv](mailto:mfmezizm@llu.lv).*

# SATURS / TABLE OF CONTENT

<b>1. DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS .....</b>	<b>4</b>
1.1. TĒMAS AKTUALITĀTE .....	4
1.2. PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI .....	5
1.3. PĒTĪJUMU METODES.....	5
1.4. PROMOCIJAS DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE .....	5
1.5. IEGŪTIE REZULTĀTI UN PRAKTISKĀ NOZĪME .....	6
1.6. DARBA STRUKTŪRA.....	6
1.7. DARBA APROBĀCIJA .....	6
<b>2. SITUĀCIJAS ANALĪZE .....</b>	<b>9</b>
2.1. KOKSNES PLĀTŅU INDUSTRIJA .....	9
2.2. BĒRZA SAPLĀKŠŅA RAKSTUROJUMS.....	9
2.3. AUGSTAS ĪPATNĒJĀS STIPRĪBAS SAPLĀKŠŅA RAŽOŠANA .....	10
<b>3. METODIKA .....</b>	<b>12</b>
3.1. MATERIĀLA IZVĒLE UN PARAUGU SAGATAVOŠANA .....	12
3.2. TESTA METODES UN APRĪKOJUMS .....	13
3.3. DATU APSTRĀDE UN ANALĪZE.....	13
<b>4. REZULTĀTI .....</b>	<b>14</b>
4.1. SAPLĀKŠŅA LIECES ĪPAŠĪBU APRĒĶINU METODIKA.....	14
4.2. SAKLĀJUMA SHĒMAS OPTIMIZĒŠANA.....	16
4.3. SAPLĀKSNIS AR VIĻŅVEIDA VIDUSKĀRTU.....	18
4.4. SAPLĀKSNIS AR RIBOTU VIDUSKĀRTU .....	20
<b>5. SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI.....</b>	<b>27</b>
<b>1. GENERAL DESCRIPTION OF THESIS.....</b>	<b>28</b>
1.1. BACKGROUND .....	28
1.2. THE AIM AND THE TASKS .....	29
1.3. RESEARCH METHODS .....	29
1.4. SCIENTIFIC NOVELTY .....	29
1.5. RESULTS AND THEIR PRACTICAL SIGNIFICANCE.....	30
1.6. THESIS STRUCTURE.....	30
1.7. PROBATION OF RESEARCH RESULTS.....	30
<b>2. SITUATION ANALYSIS .....</b>	<b>33</b>
2.1. WOOD-BASED PANEL INDUSTRY .....	33
2.2. SPECIFICATION OF BIRCH PLYWOOD .....	33
2.3. HIGHER SPECIFIC STRENGTHEN PLYWOOD PRODUCTION.....	33
<b>3. METHODOLOGY.....</b>	<b>36</b>
3.1. MATERIAL AND SAMPLING .....	36
3.2. TEST METHODS AND EQUIPMENT .....	36
3.3. DATA PROCESSING AND ANALYSIS .....	36
<b>4. RESULTS.....</b>	<b>37</b>
4.1. PLYWOOD BENDING PROPERTIES CALCULATION METHOD .....	37
4.2. VENEER LAY-UP OPTIMIZATION.....	37
4.3. PLYWOOD WITH CORRUGATED CORE.....	38
4.4. PLYWOOD WITH I-CORE.....	38
<b>5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS .....</b>	<b>41</b>

# 1. DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS

## 1.1. Tēmas aktualitāte

Koksnes plātņu ražošana ieņem nozīmīgu vietu ES kokrūpniecības nozarē. Saasinoties konkurencei, plātņu materiālu tirgū nepieciešams ražot racionālākus un konkurētspējīgākus izstrādājumus, tādējādi sekmējot jaunus pētījumus par inovatīviem produktiem t. sk. augstas īpatnējās stiprības koksnes plātņu izstrādi un to ieviešanu ražošanā. Koksnes plātņu industrijas attīstība ir cieši saistīta ar zema blīvuma un augstu mehānisko īpašību koksnes plātņu izstrādi.

Meža nozare ir nozīmīga Latvijas tautsaimniecībā, tās devums ir aptuveni 5 % no iekšzemes kopprodukta. Saplākšņu eksporta vērtība 2007. gadā sasniedza 8.4 % no visas meža nozares produkcijas eksporta vērtības un sastādīja 85 miljoni LVL 2008. gadā. Gandrīz puse no Latvijā saražotajām koksnes plātnēm ir bērza saplākšņi. Salīdzinot ar citām koksnes plātnēm, bērza saplākšņiem piemīt augstas mehāniskās īpašības un relatīvi liela tilpummasa.

Pamatojoties uz pasaules pieprasījumu un rūpniecības attīstības tendencēm, jaunu un konkurētspējīgu koksnes plātņu materiālu ražošana ar paaugstinātu īpatnējo lieces stiprību ir viena no kokapstrādes nozares prioritātēm arī Latvijā. Promocijas darbā ir apkopoti autora analītiskie un praktiskie pētījumi, kas veikti šī uzdevuma izpildei. Jauno produktu paredzams pozicionēt tirgū kā speciālu produktu ar augstu pievienoto vērtību un paaugstinātu īpatnējo lieces stiprību. Ar paaugstinātu īpatnējo stiprību saprotot koksnes plātnes ar augstāku lieces stiprības un blīvuma attiecību nekā tradicionāli ražotām bērza saplākšņa plātnēm. Pētījumu virziens atbilst dokumentā „Latvijas mežsaimniecības un uz koksnes resursiem balstītas rūpniecības tehnoloģiskās platformas vīzija 2030” minētajiem iespējamiem pētījumu virzieniem.

Īpatnējo stiprību vēl sauc par stiprības attiecību pret masu. Materiālus ar augstu īpatnējo stiprību ikdienā pielieto kosmosa, sauszemes un gaisa transporta, sporta industrijā, pielietojumos kur materiāla zemā masa gūst virsroku pār materiāla augsto cenu.

Paaugstinātas īpatnējās stiprības koksnes plātnes veicinās koksnes plātņu industrijas attīstību un konkurētspēju. Šāds produkts ir pieprasīts tirgū (piem. transporta industrijā) un uz doto brīdi netiek piedāvāts. Augstas īpatnējās stiprības koksnes plātņu galvenās pielietojuma sfēras ir:

- kravas konteineru ražošana;
- automašīnu būve – kravas un pasažieru transports;
- kuģu būve – jahtas, militārie kuģi (atmīnētāji).

Pielietojot plātnes ar paaugstinātu īpatnējo stiprību, prognozējams koksnes materiālu patēriņa samazinājums un atlikumu racionāla izmantošana. Jāatzīmē, ka arī transporta industrijā sagaidāmi vairāki ieguvumi, kas ir saistīti ar ekoloģiju:

- loģistikā samazināsies transporta vienības pašmasa un tāpat būs iespējams pārvadāt vairāk kravas;
- mazāks degvielas patēriņš uz vienu kravas vienību samazinās vides piesārņojumu un saudzēs neatjaunojamus dabas resursus.

Autors vairākus gadus strādā kā eksperts Eiropas Standartizācijas organizācijas CEN tehniskās komitejas TC 112 „Koksnes plātnes” darba grupās WG 4 „Testa metodes” un WG 2 „Saplākšnis”. Darbā iegūtā pieredze standartizācijas jautājumos koksnes plātņu nozarē ļauj profesionāli izvērtēt nozares standartus un piedalīties jaunu standartu izstrādē. Darbā pievērsta uzmanība standartam LVS ENV 14272:2003

„Saplākšnis - Dažu mehānisko īpašību aprēķina metode” un no promocijas darbā iegūtajām atziņām sniegti priekšlikumi tā uzlabošanai.

Darba matemātisko modeļu aprobācijai izmantoti un izgatavoti vairāk kā 300 splākšņa un 150 kārtaino plātņu paraugi un veiktas mehāniskas paraugu pārbaudes, statistiski apstrādājot testa datus.

## 1.2. Pētījuma mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis - izstrādāt splākšņa plātnes ar augstākām īpatnējās lieces stiprības un stinguma īpašībām, salīdzinot ar tradicionāli ražotiem splākšņiem.

Pētījuma mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi darba **uzdevumi**:

- izgatavot splākšņus ar ribotu un viļņotu viduskārtu, un ārējās kārtās vairāku blakus esošo finieru šķiedru virzienu orientāciju vienā virzienā un noteikt to lieces stiprības un stinguma raksturotājlukumus;
- noteikt paaugstinātas īpatnējās stiprības splākšņa, ar ribotu viduskārtu, racionālu ribu izmērus un izvietojuma ģeometriju;
- izstrādāt lielformāta splākšņa plātnes viļņveida viduskārtas ražošanas tehnoloģisko risinājumu;
- veikt splākšņa lieces stiprības un elastības moduļa LVS ENV 14272:2003 aprēķinu metodikas validāciju, izmantojot dažāda biezuma splākšņa eksperimentālo pārbaužu rezultātus un izstrādāt priekšlikumus aprēķinu metodes uzlabošanai (ievērtējot visu finieru slāņu ietekmi uz prognozējamiem lielumiem, neatkarīgi no to šķiedru orientācijas).

## 1.3. Pētījumu metodes

Pētījumi veikti izmantojot matemātiskās modelēšanas un eksperimentālo datu iegūšanas metodes. Eksperimentālie fizikāli mehānisko īpašību rezultāti salīdzināti un analizēti ar matemātisko aprēķinu rezultātiem. Eksperimentālie darbi veikti akciju sabiedrības „Latvijas Finiera” rūpnīcas „Lignums” Attīstības, kvalitātes un jauno tehnoloģiju nodaļas laboratorijā. Lieces īpašības noteiktas ar firmas „Zwick” iekārtām - „Zwick 020” un „Zwick 400”, kuru maksimālās sloģošanas jaudas attiecīgi ir 2 un 40 tonnas.

Izvērtēti trīs splākšņa produkti ar paaugstinātu īpatnējo stiprību:

- splākšnis ar optimizētu finieru saklājumu;
- splākšnis ar ribotu viduskārtu;
- splākšnis ar viļņotu viduskārtu.

Pētījumu rezultātu analīzei un grafiskam attēlojumam izmantotas datorprogrammas SPSS 17, Sigma Plot 12, MS Excel, attēli veidoti ar MS Visio un Corel Draw.

## 1.4. Promocijas darba zinātniskā novitāte

Izstrādāts splākšņa produkts ar ribotu viduskārtu, kura īpatnējā lieces stiprība ir par 20 % augstāka nekā bērza splākšnim Riga Ply.

Pierādīts, ka racionālais splākšņa ar ribotu viduskārtu ribu izmēri un izvietojuma ģeometrija ir sekojoša - splākšņa apšuvuma biezums 9 mm, ribu orientācija 45° pret apšuvuma segfiniera šķiedru virzienu, ribu finieru novietojums perpendikulārs pret plātnes plakni, ribu un dobumu attiecība 1 : 3.

Izstrādāti saplākšņa ar viļņotu viduskārtu ražošanas tehnoloģijas posmi, kas atšķiras no jau zināmiem ar saplākšņa viduskārtas izveidošanas konstrukciju, kura sastāv no daudzām savstarpēji savienotām viļņveida saplākšņa plātnēm.

Uzlabots LVS ENV 14272:2003 saplākšņa lieces īpašību modelēšanas algoritms, ievērtējot visu finieru ietekmi uz plātnes lieces īpašībām.

### **1.5. Iegūtie rezultāti un praktiskā nozīme**

Sniegtas rekomendācijas trīs veidu saplākšņa plātņu ar paaugstinātu īpatnējo lieces stiprību ražošanai.

Uzlabota metodika saplākšņa lieces īpašību aprēķināšanai, kas ļauj saplākšņa ražotājam modelēt plātņu lieces īpašības, atkarībā no finieru saklājuma shēmas.

Iesniegts saplākšņa ar viļņotu viduskārtu ražošanas paņēmiena LR patenta pieteikums Nr P-10-73 „Trīs kārtu kompozītmateriāls no saplākšņu plātnēm un paņēmieni tā izgatavošanai”.

### **1.6. Darba struktūra**

Darbs strukturēts sešās nodaļās:

1. nodaļa. Koksnes plātņu industrijas analīze Latvijā un Eiropā.
2. nodaļa. Latvijas Finieris AS bērza saplākšņa raksturojums un to mehānisko īpašību ietekmējošie faktori.
3. nodaļa. Augstas īpatnējās stiprības koksnes plātņu, t. sk. arī saplākšņa, ražošanas paņēmieni.
4. nodaļa. Pētījumu metodika.
5. nodaļa. Pētījumu rezultāti par saplākšņa lieces īpatnējās stiprības uzlabošanu. Rezultāti aptver finieru saklājuma shēmas optimizēšanu un saplākšņa plātņu ar viļņveida un ribotu viduskārtu pārbaudes.
6. nodaļa. Secinājumi un priekšlikumi

Kopumā darbs noformēts uz 115 lpp, 100 att. un 27 tabulās.

Darbā izmantoti 110 literatūras avoti.

### **1.7. Darba aprobācija**

#### **Publikācijas**

1. Tuherm H., Ludvigsonē – Rudzīte S., Zudrags K. *Wood Processing Industries in Latvia*. Technologia Drewna No 43, Poznaņa, Polija, 2007, 55 – 65. lpp.
2. Zudrags K., Tuherm H., *Relationship of birch (Betula sp.) plywood bending properties determined according to the European standards EN 789 and EN 310*. International scientific conference “Research for Rural Development 2007” proceedings, Jelgava, Latvija, 2007, 181 – 187. lpp.
3. Zudrags K., *The analysis of imported plywood in Latvia*. Proceedings of the 3th meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Helsinki, Somija, 2007, 41 – 47. lpp.
4. Ludvigsonē-Rudzīte S., Zudrags K., *Plywood Image in Latvia*. Papers of the Nova course Wood Engineering - Products and Their Utilization, Department of Forest Resource Management Publications Nr 43, University of Helsinki, Helsinki, Somija, 2008, 23 – 36. lpp.

5. Zudrags K., Ludvigsonē – Rudzīte S., *Bending Properties of Special Lay-up Plywood*. Proceedings of the 4th meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Rīga, Latvija, 2008, 114 – 118. lpp.
6. Andersons B., Andersone I., Biziks V., Irbe I., Grinsh J., Zudrags K., *Peculiarities of the Thermal Modification of Hard Wood*. Proceedings of European Conference on Wood Modification 2009, Stoholma, Zviedrija, 2009, 141 – 145. lpp.
7. Biziks V., Zudrags K., Andersone I., Andersons B., Grinsh J., Sansonetti E., *Improvement of the Properties of Birch plywood by Thermal Modification*. Proceedings of Inetrnational Panel Product Symposium, Nante, Francija, 2009, 99 – 109. lpp.
8. Zudrags K., Kalnins K., Jekabsons G. Ozolins O., *Bending Properties of Plywood I-core Sandwich panels*. Proceedings of the 5th meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Kopenhāgena, Dānija, 2009, 169 – 175. lpp.
9. Kalnins K., Jekabsons G., Zudrags K., Beitlers R. *Metamodels in optimisation of plywood sandwich panels*. Proceedings of 9th International Conference "Shell Structures, Theory and Applications", Volume 2, Proceedings of the 9th SSTA Conference, Jurata, Polija, 2009, 291 – 294. lpp.
10. Zudrags K., Medved S., Hakkı Alma M., *Mechanical Properties of Wood-Based Panels*. Performance in use and new products of wood based composites, 2009, 87 – 102. lpp.
11. Зудрагс К., *Лесные будни Латвии*, žurnāls ЛесПромИнформ №8 (66), 2009, 164 – 167. lpp.

#### **Nolasīti referāti zinātniskajās konferencēs par promocijas darba tēmu**

1. The 2<sup>th</sup> meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Stoholma, Zviedrija, 31.10.2006, referāts: “*Determination of Characteristic Bending Properties of Birch Plywood by EN 310 Test Method*”.
2. XX sesja naukowa “Badania dla meblarstwa”, Poznaņa, Polija, 24.11.2006, referāts: “*Wood Processing Industries in Latvia*”.
3. International scientific conference “Research for Rural Development-2007”, LLU, Jelgava, 2007, referāts: „*Relationship of birch (Betula sp.) plywood bending properties determined according to the European standards EN 789 and EN 310*”.
4. The 3<sup>rd</sup> meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE) 2007, Helsinki, 29-30.10.2007, referāts: „*The Analysis of imported plywood in Latvia*”.
5. LLU Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference „Zinātne un prakse nozares attīstībai”, 16.-17.04.2008, Jelgava, referāts: “*Saplākšņu noturības pētījumi pret sēņu iedarbību*”.
6. LLU Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference „Zinātne un prakse nozares attīstībai”, 16.-17.04.2008, Jelgava, referāts: “*Saplākšnis LLU kokapstrādes studiju programmas studentu skatījumā*”.

7. The 4<sup>th</sup> meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE) 2008, Rīga, 13.-14.11.2008, referāts: “*Bending Properties of Special Lay-up Plywood*”.
8. European Conference on Wood Modification-2009, Stoholma, Zviedrija, 27.04.2009, referāts: “*Peculiarities of the Thermal Modification of Hard Wood*”.
9. The 5<sup>th</sup> meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE) 2009, Kopenhāgena, Dānijā, 1.-2.10.2009, referāts: “*Bending Properties of Plywood I-core Sandwich panels*”.

#### **Citas aktivitātes saistībā ar promocijas darba tēmu**

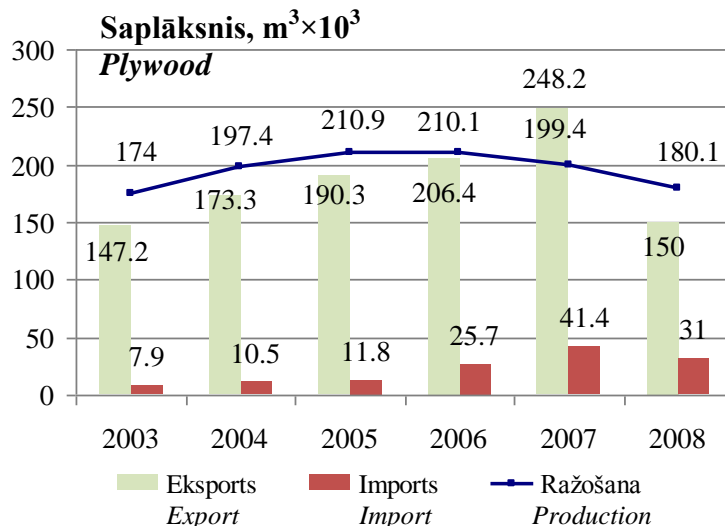
1. Eksperts Eiropas Standartizācijas darba grupā CEN TC 112 WG 4 „Testa metodes”.
2. Eksperts Eiropas Standartizācijas darba grupā CEN TC 112 WG 2 „Koksnes plātnes”.
3. Vadības komitejas loceklis COST akcijā Nr 49 „Koksnes plātņu procesi un īpašības”.
4. Eiropas projekts G6RD-CT2000-00273 „Saplākšņa līmējuma pārbaude un novērtēšana saskaņā ar EN 314-1 un EN 314-2”.
5. Valsts pētījuma programma Nr 09-VP-4.4 „Lapu koku audzēšanas un racionālas izmantošanas pamatojums, jauni produkti un tehnoloģijas”
6. LZP sadarbības projekts Nr 06.0032.1.3. „Atjaunojamo izejvielu kompleksas izmantošanas zinātniskie pamati”.
7. Meža attīstības fonda zinātniskās izpētes projekts Nr 180909/S109 "Paaugstinātas īpatnējās stiprības koksnes plātnes".

## 2. SITUĀCIJAS ANALĪZE

### 2.1. Koksnes plātņu industrija

Šajā nodaļā raksturota Latvijas meža nozare un dots ieskats par koksnes plātņu industrijas apjomiem pasaulē un Latvijā. Īpaša uzmanība veltīta transporta industrijas attīstībai, jo katru gadu palielinās tās pieprasījums pēc koksnes plātņu materiāliem un pieaug to tehnoloģiskās prasības.

Kokrūpniecība ir otra lielākā pārstrādes nozare Latvijā ar nozares apgrozījumu 1.1 miljardu latu 2007. gadā. Kokrūpniecība nodrošināja 27 % no kopējiem Latvijas eksporta ienākumiem. Saplākšņa ražošana Latvijā ieņem nozīmīgu lomu meža produkcijas eksporta jomā. Līdz 2006. gadam novērojams saplākšņa ražošanas kāpums (skat. 1. att.). 2007. gads iezīmējās ar ražošanas kritumu, ko izsauca izejvielu (koksnes) nepietiekamība tirgū. Gadumijā samazinājās koksnes pieejamība tirgū, jo laika apstākļu dēļ (siltās ziemas) samazinājās mežizstrādes apjomi. Saplākšņa iekšējais patēriņš Latvijā ir aptuveni 30 tk. m<sup>3</sup> gadā. 2007. gadā Latvijā saražoja 11.6 % no visa FEIC (Eiropas saplākšņa ražotāju asociācija) ietilpstošo uzņēmumu saražotā lapu koku saplākšņa.



1. att. Saplākšņa ražošanas dinamika, eksports un imports Latvijā.

*Fig. 1. Dynamic of plywood production, export and import in Latvia.*

Galvenās eksporta valstis ir Apvienotā Karaliste - būvniecības nozarei, Vācija - būvniecības un transporta nozarēm, Francija - būvniecības nozarei. Bērza saplākšni eksportē uz vairāk kā 40 valstīm. Nozīmīgu lomu spēlē arī eksports uz Dienvidkoreju 7.7 tk. m<sup>3</sup> 2007. gadā, kur pārsvarā bērza saplākšni izmanto kuģubūvē. Pārdošanas apjoms Dienvidkorejā 2007. gadā bija 3 reizes lielāks kā 2005. gadā, kas saistīts ar „Latvijas Finieris” AS „ieiešanu” kuģu būves industrijā.

2007. gadā viens no galvenajiem saplākšņa noieta tirgiem ES bija transporta industrija - kuģu, treileru, autobusu un automašīnu būvē. Stabils noiets bija būvniecības industrijā, kur lielāko daļu saplākšņa izmanto betonēšanas veidņiem.

### 2.2. Bērza saplākšņa raksturojums

Dots bērza saplākšņa raksturojums un tā mehānisko īpašību ietekmējošie faktori. Bērza saplākšnis ir salīmēts no 1.45 mm biezām bērza (*Betula sp.*) lobītā finiera

loksnēm, izmantojot fenola sveķu līmi. Šķiedru virziens blakus esošajām kārtām saplākšņa plātnē ir perpendikulārs. „Latvijas Finieris” AS ražotais bērza (*Betula sp*) saplākšnis tirgū piedāvāts ar tirdzniecības zīmi *Riga Ply*. Bērza saplākšnis *Riga Ply* ar nominālo biezumu 28 mm šī darba ietvaros ir izvēlēts kā etalons, pret kuru salīdzināti jaunizstrādātie saplākšņi.

Finieru kārtu skaits var būt sākot ar 3 līdz pat 35 finieru kārtām. Lielāko daļu saplākšņa veidu līmē ar fenola- formaldehīda sveķu līmi. Bērza saplākšņa *Riga Ply* mitrums ir robežās no 7 % līdz 10 % un blīvums svārstās no 650 ... 750 kg×m<sup>-3</sup> gaisa temperatūrā 20° C un relatīvā mitrumā 65 %.

### 2.3. Augstas īpatnējās stiprības saplākšņa ražošana

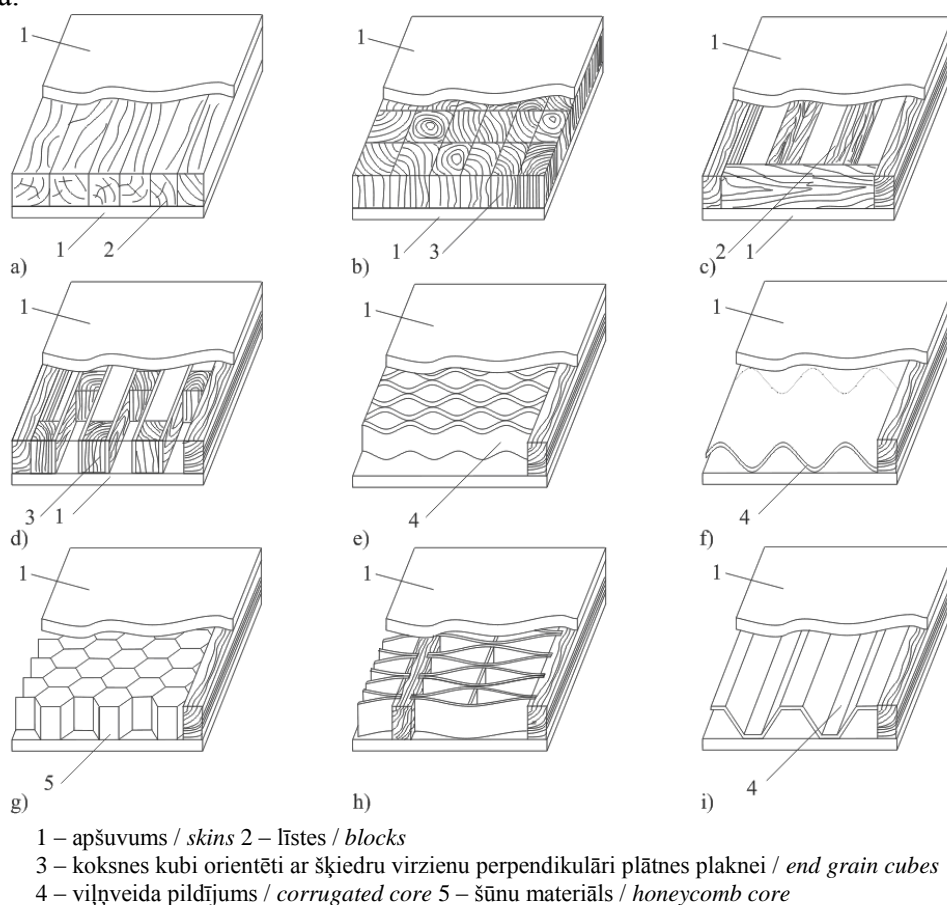
Nodaļā aprakstīti dažādi jau zināmie augstas īpatnējās stiprības koksnes plātņu ražošanas paņēmieni. Bērza saplākšņa mehāniskās īpašības var uzlabot vairākos veidos:

- optimizējot finieru saklāšanas shēmas – uzlabojot mehāniskās īpašības plātnes vienā virzienā;
- izmantojot materiālus ar augstākām mehāniskām īpašībām – pastiprinot ar tiem saplākšni;
- optimizējot plātnes šķērsriezumu – veidojot kārtainās (*sendwich*) plātnes;
- veidojot trīsdimensiju struktūras – orientējot finierus ne tikai plaknē, bet arī perpendikulāri plātnes plaknei.

**Saplākšņa mehānisko īpašību uzlabošana ar ne-koksnes kompozītmateriāliem** Pirmsākumi koksnes mehānisko īpašību uzlabošanai ar stiklašķiedru meklējami pagājušā gadsimta 60. gados. Amerikas saplākšņu asociācija septiņdesmitajos gados veica pētījumus par saplākšņa mehānisko īpašību uzlabošanu, izmantojot neorientētu stiklašķiedru, sacirstu šķiedru klājumu un saustu audumu, pielīmētu ar vinilestera un poliesteru sveķiem. Iegūtās plātnes bija izturīgas, viegli apstrādājamas un labojamas. Bērza saplākšņa *Riga Ply* lieces īpašību uzlabošanas iespējas pētītas arī Meža attīstības fonda finansētajā projektā „Paaugstinātas īpatnējās stiprības koksnes plātnes” un Tirgus orientētais pētījuma projektā „Kompozītmateriāli saplākšņa īpašību uzlabošanai”. Projektu ietvaros veiktajos eksperimentos konstatēts, ka, aplīmējot saplākšni ar stikla šķiedru, ir iespējams būtiski uzlabot saplākšņa nestspēju. Viens no praksē vieglāk realizējamiem variantiem ir stikla šķiedru sietu izmantošana. Kā vienu no perspektīvākajiem variantiem norāda sieta uzlīmēšanu uz saplākšņa virsmas, izmantojot fenola sveķu laminātus (ar termoreaktīvajiem sveķiem piesūcinātus papīrus). Šāds aplīmēšanas veids ir tehnoloģiski vienkāršs un pēc būtības neatšķiras no ražošanā esošā laminēšanas procesa, kurā izmanto divas un vairāk lamināta kārtas. Aplīmējot saplākšni ar stikla šķiedru, var uzlabot saplākšņa lieces īpašības robežās no 10 ... 20 %.

**Kārtaino koksnes plātņu galvenā priekšrocība**, salīdzinot ar tradicionālajām koksnes plātnēm, ir to zemā masa. Neskatoties uz to, tām piemīt liela mehāniskā izturība, formas stabilitāte un zema siltumvadība. Kārtaino plātņu ražošanā var pielietot kokmateriālus vai kombinēt kokmateriālus ar dažādiem ne-koksnes materiāliem, tādējādi iegūstot kārtainās plātnes ar dažādām īpašībām. Pareizi izvēloties materiālus, ir iespējams uzlabot vienu vai vairākas īpašības. Plātnes mehāniskās īpašības ir iespējams uzlabot, pielietojot plānus finierus, kas piesūcināti ar sintētiskiem sveķiem vai armējot ar metālu un dažādu šķiedru materiāliem, piem., stikla šķiedru vai oglekļa šķiedru. Blīvumu var samazināt, izveidojot plātnes, centrālajā daļā dobumus vai centrālo daļu aizstājot ar zema blīvuma materiāliem, piem., dažādu putu materiāliem vai zemāka

blīvuma koksni. Dažas no iespējamajām koksnes plātņu konstrukcijām var aplūkot 2. attēlā.



**2. att. Kārtaino plātņu konstrukcijas.**  
**Fig. 2. Sandwich panel constructions.**

**Viļņveida koksnes plātnes.** Viļņveida plātnes plaši pazīstamas un pielietojamas kokapstrādes nozares galveno konkurentu vidū – plastmasas un metāla industrijā, kur tās izmanto vieglu plātņu ražošanā, tādējādi samazinot izstrādājumu svaru. Ņemot vērā kokapstrādes nozares attīstību un tendences, viļņveida koksnes plātņu ražošanas ieviešana sniegtu vairākus labumus:

- samazinātu izejmateriālu patēriņu;
- dotu iespēju pielietot zemākas kvalitātes materiālus, piem., sasmalcinātu koksni, skaidas, šķiedras utt.);
- varētu mazināties līmvielas patēriņš.

Jāatzīmē, ka to ražošanā ir vērojami arī negatīvie aspekti:

- var palielināties līmvielas patēriņš, ja kokskaidu vai kokšķiedru trīs dimensijas plātnes aizstāj ar masīvkoka vai saplākšņa plātnēm;
- sarežģīts ražošanas process, kas nosaka augstas ražošanas izmaksas.

Viens no galvenajiem trūkumiem viļņveida plātņu ražošanā ir sarežģītais ražošanas process. Izgatavojot viļņveida liekti līmētās saplākšņa detaļas, darbojas virkne ierobežojumu:

- izliekuma rādiuss;
- finieru biezums un šķiedru orientācija;
- gatavās detaļas forma un izmēri.

Darbā izstrādātas saplākšņa plātnes ar divu veidu viļņveida profila viduskārtu.

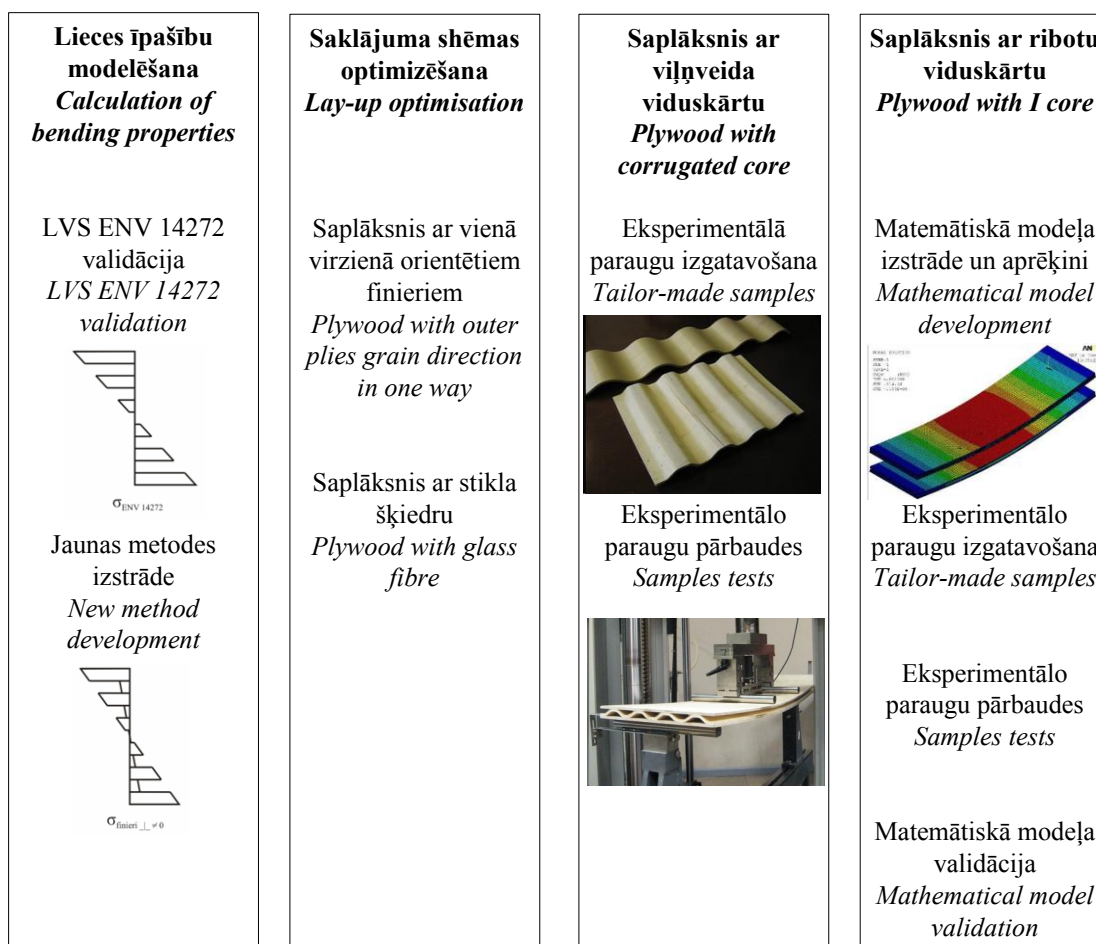
### 3. METODIKA

#### 3.1. Materiāla izvēle un paraugu sagatavošana

Darbā izstrādātais saplāksnis orientēts ar pielietojumu transporta industrijā – auto piekabju un sabiedriskā transporta grīdas ražošanā, tāpēc kā etalons izvēlēts bērza (*Betula sp*) saplāksnis Riga Ply ar biezumu 28 mm.

Darba izstrādes posmi shematiski parādīti 3. attēlā. Pētnieciskais darbs veikts „Latvijas Finieris” AS.

Pārbaudes paraugi izgatavoti no ražošanā pieejamiem izejmateriāliem, kuri atlasīti gadījuma rakstura atlasē. Bērza finieris bez redzamiem defektiem izmantots, izgatavojot viļņveida saplāksņus. Pārējos gadījumos nav izvirzītas speciālas prasības attiecībā uz bērza finieri. Izmantojot rūpnieciski ražotu saplāksni, paraugi izgatavoti tā, lai maksimālās slodzes zonā nebūtu vizuāli redzami koksnes defekti (piem., zari un plaisas).



Secinājumi un rekomendācijas / *Conclusions and recommendations*

#### 3. att. Darba izstrādes posmi.

Fig. 3. Structure of thesis.

### 3.2. Testa metodes un aprīkojums

Paraugu mehāniskās pārbaudes veiktas rūpnīcas „Lignums” Attīstības, kvalitātes un jauno tehnoloģiju nodaļas laboratorijā. Lieces īpašības noteiktas ar firmas „Zwick” iekārtām, „Zwick 020” un „Zwick 400”, kuru maksimālās slogošanas jaudas attiecīgi 2 un 40 tonnas. Lieces īpašības pārbaudes paraugiem noteiktas saskaņā ar LVS EN 310:2001 „Koka skaidu plāksnes - Elastības moduļa un lieces spēka noteikšana” un LVS EN 789:2005 „Koka konstrukcijas - Testa metodes - Koksnes plātņu mehānisko īpašību noteikšana” standartiem. Minētās pārbaudes metodikas savstarpēji atšķiras ar slogojuma shēmām, parauga izmēriem un citiem pārbaudes nosacījumiem.

Paraugu izmēru uzmērīšana veikta saskaņā ar standartu LVS EN 325:2000 „Koka skaidu plāksnes - Paraugu izmēru noteikšana” prasībām. Paraugu mitruma saturs  $8 \pm 2$  %.

### 3.3. Datu apstrāde un analīze

Īpatnējā stiprība ir materiāla stiprības dalījums ar blīvumu:

$$f_{ip} = \frac{f}{\rho},$$

kur

$f_{ip}$  – materiāla īpatnējā stiprība,  $\text{kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ ;

$f$  – materiāla stiprība, GPa;

$\rho$  – materiāla blīvums,  $\text{kg} \times \text{m}^{-3}$ .

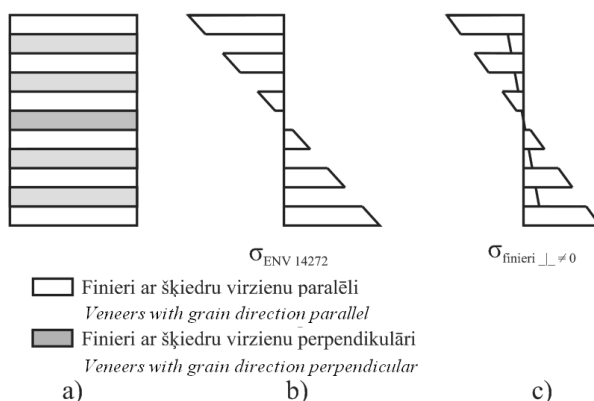
Datu ticamības intervāli aprēķināti pieņemot, ka dati atbilst normālajam sadalījumam un ar varbūtību 95 %. Faktoru būtiskumu analizēts izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi un datu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanai izmantots t-tests ar būtiskuma līmeni  $\alpha = 0.05$ . Datu apstrāde veikta ar MS Excel, SPSS 17 un Sigma Plot 12 datorprogrammu palīdzību.

## 4. REZULTĀTI

### 4.1. Saplākšņa lieces īpašību aprēķinu metodika

Saplākšņa lieces īpašību aprēķinu metodika LVS ENV 14272 balstās uz katras finieru kārtas ar šķiedru virzienu, paralēli īpatsvaru plātnes šķērsgriezumiem.

Izstrādātā saplākšņa lieces īpašību aprēķināšanas metodikā piedāvāts aprēķinos ievērtēt arī finierus ar šķiedru virzienu perpendikulāri slogošanas virzienam. Darbā salīdzinātas trīs metodes, kuras balstās uz pieņēmumiem, ka perpendikulāri orientētiem finieriem lieces īpašības sastāda 5; 10 un 15 % no paralēli orientētu finieru lieces īpašībām. Turpmāk tekstā 5 % metode, 10 % metode un 15 % metode. Metodes LVS ENV 14272 un modificētās metodikas principiālā spriegumu epīru shēmas attēlotas 4. att.



#### 4. att. Lieces spriegumu epīru principiālās shēmas:

a) saplākšņa šķērsgriezums; b) LVS ENV 14272; c) jaunizstrādātās metodes.

**Fig. 4. Bending stress diagrams:**

a) *plywood crosssection; b) according to the LVS ENV 14272; c) developed method.*

Metožu validācijai izmantoti bērza saplākšņa, ar biezumu 12; 15 un 18 mm, eksperimentāli iegūtie rezultāti.

Bērza finiera (biezums 1.45 mm) lieces īpašības, kas aprēķinātas pēc LVS ENV 14272 un autora aprēķinu metodēm, dotas 1. tabulā.

**1. tabula / Table 1**

#### Bērza finiera lieces īpašības *Bending properties of birch veneer*

Apzīmējums / <i>Notation</i>	Lieces stiprība / <i>bending strength</i>		Lieces elastības modulis / <i>bending modulus of elasticity</i>	
	paralēli, <i>parallel</i> MPa	perpendikulāri, <i>perpendicular</i> MPa	paralēli, <i>parallel</i> MPa	perpendikulāri, <i>perpendicular</i> MPa
ENV 14272	134	-	20408	-
5 %	134	6.7	20156	1008
10 %	129	12.9	19420	1942
15 %	125	18.8	18734	2810

Saplākšņa lieces stiprības vērtības aplūkojamas 2. tabulā, aprēķinātas izmantojot 1. tabulā uzrādītās bērza finiera vērtības. Aprēķinos izmantojot autora piedāvātās

metodikas, lieces stiprības vērtības perpendikulāri šķiedru virzienam, ir ar zemākām vērtībām. Rezultāti, kas aprēķināti pēc LVS ENV 14272, uzrāda relatīvo kļūdu summu 65 % apmērā. Savukārt, ievērtējot šķērsfinieru lieces īpašības kā 5 % no paralēli orientētu finieru vērtībām, relatīvā kļūdu summa sastāda 42 %. Tā ir mazākā relatīvo kļūdu summa starp metodēm.

2. tabula / Table 2

**Lieces stiprība**  
**Bending strength**

Saplākšņa finieru kārtu skaits, gab. <i>Plywood veneer count, pcs</i>	Aprēķināšanas metodika / <i>Calculation method</i>				
	Eksperimentāli <i>Experimental</i>	ENV 14272	5 %	10 %	15 %
<b>Paralēli šķiedru virzienam / <i>Parallel to grain direction</i></b>					
9	79.7	73.2	72.4	71.9	71.5
11	81.7	66.0	68.2	68.1	67.9
13	65.6	65.5	65.6	65.6	65.6
<b>Perpendikulāri šķiedru virzienam / <i>Perpendicular to gran direction</i></b>					
9	53.1	59.7	52.0	51.0	50.0
11	55.1	60.3	53.1	52.3	51.5
13	50.2	57.6	53.4	52.8	52.2

Elastības moduļa rezultāti (skat. 3. tabulu), kas aprēķināti pēc LVS ENV 14272 uzrāda relatīvo kļūdu summu 68 % apmērā, savukārt, ievērtējot šķērsfinierus kā 5 % no paralēli orientētiem finieriem, relatīvā kļūdu summa sastāda 54 %. Mazākā relatīvo kļūdu summa ir metodes „15 %” rezultātiem – 49 %.

3. tabula / Table 3

**Lieces elastības modulis**  
**Bending modulus of elasticity**

Saplākšņa finieru kārtu skaits, gab. <i>Plywood veneer count, pcs</i>	Aprēķināšanas metodika / <i>Calculation method</i>				
	Eksperimentāli <i>Experimental</i>	ENV 14272	5 %	10 %	15 %
<b>Paralēli šķiedru virzienam / <i>Parallel to grain direction</i></b>					
9	14649	12501	12353	12298	12245
11	13950	11681	11968	11946	11924
13	11718	11718	11718	11718	11717
<b>Perpendikulāri šķiedru virzienam / <i>Perpendicular to gran direction</i></b>					
9	9384	7907	8811	9064	9299
11	9726	8727	9196	9416	9620
13	8836	8690	9446	9644	9827

LVS ENV 14272 metodes rezultātu relatīvā kļūda sasniedz 24 % robežu. Lielākā novirze konstatēta aprēķinot stiprību paralēli šķiedru virzienam 15 mm saplāksnim. Izmantojot LVS ENV 14272 aprēķinu metodiku 7, aprēķinātie rezultāti no 12 ir ar relatīvo kļūdu virs 10 %. Aprēķinot lieces stiprību perpendikulāri šķiedru virzienam, metode dod 9 ... 13 % augstākus rezultātus.

Mazākā rezultātu novirze ir aprēķinos, izmantojot 5 % metodi. Četri rezultāti no 12 ir ar kļūdu virs 10 %, lielākā kļūda – aprēķinātais rezultāts ir 20 % zemāks nekā eksperimentāli noteiktais.

#### 4.2. Saklājuma shēmas optimizēšana

**Lieces īpašību uzlabošana ar vienādā virzienā orientētiem finieriem.** Saklājuma shēmas optimizēšanas iespēju izvērtēšanai eksperimentāli izgatavotas 10 bērza (*Betula sp.*) saplākšņa plātnes ar speciālu finieru saklājuma konstrukciju (skat. 4. tabulu). Saplākšņa biezumi izvēlēti tā, lai tie atbilstu transporta industrijā pieprasītajiem saplākšņa biezumiem. Finiera biezums paraugiem ir 1.45 mm.

4. tabula / Table 4

Saplākšņa saklājuma shēmas  
*Plywood lay-up*

Apzīmējums <i>Notation</i>	Finieru skaits, gab. <i>Veneer count, pcs</i>	Kārtu skaits aprēķinos, gab. <i>Veneer count in calculations, pcs</i>	Plātnes nominālais biezums, mm <i>Nominal thickness of plywood, mm</i>	Saklājuma shēma <sup>a</sup> / <i>Lay-up<sup>a</sup></i>
Spec 2 <sup>b</sup>	20	15	27	—   —   —   — —   —   —   —
<i>Riga Ply</i> 28 <sup>c</sup>	20	19	27	—   —   —   —   — —   —   — —   —   —

<sup>a</sup> apzīmējumi:

| – finieri ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij;

*veneers with grain direction parallel to lengthwise*

— – finieri ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij;

*veneers with grain direction perpendicular to lengthwise*

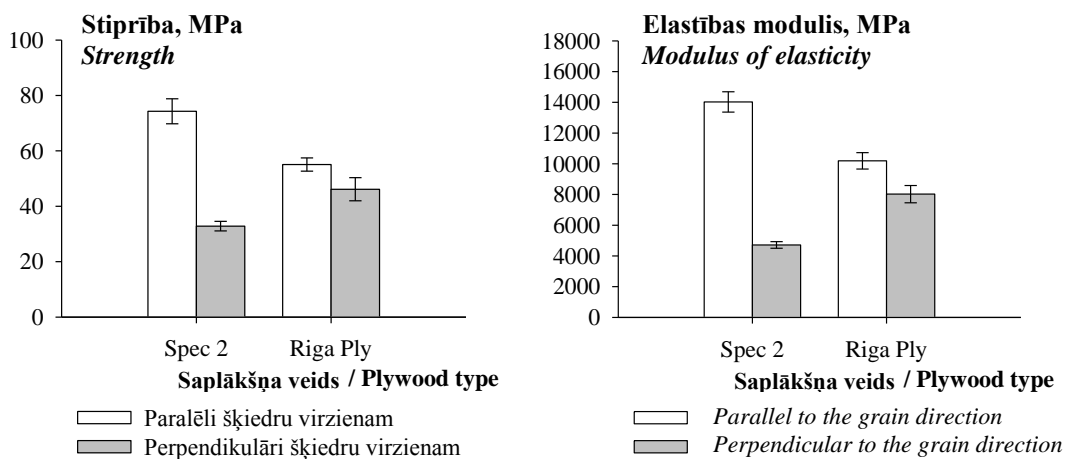
<sup>b</sup> – speciālas finieru saklājuma konstrukcijas saplākšnis;

*special lay-up plywood*

<sup>c</sup> – bērza saplākšnis *Riga Ply*.

*birch plywood Riga Ply*

Plātnēm noteiktas lieces īpašības saskaņā ar LVS EN 310 un LVS EN 789 pārbaudes metodikām. Lieces īpašības noteiktas saskaņā ar LVS EN 789 un ir aplūkojamas 5. attēlā.

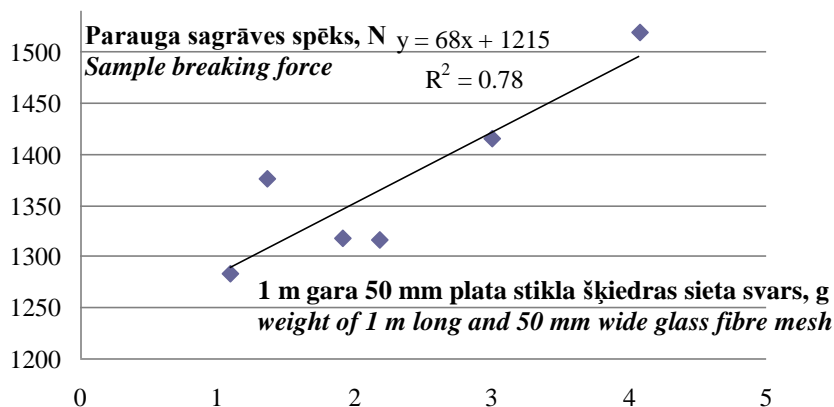


**5. att. Saplākšņa lieces īpašības saskaņā ar LVS EN 789.**  
**Fig. 5. Plywood bending properties according to the LVS EN 789.**

Īpatnējā lieces stiprība saplāksnim Spec 2 paralēli segfinieru šķiedru virzienam ir  $106 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ , saplāksnim *Riga Ply* –  $78.7 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ .

**Lieces īpašību uzlabošana izmantojot ne-koksnes materiālus.** Eksperimentāli aplīmēts 9 mm biezs *Riga Ply* bērza saplāksnis ar stikla šķiedras produkciju. Saplākšņa *Riga Ply* viena plātne atlasīta no ražošanas, ievērojot nejaušības principu, un sazāģēta mazākos paraugos ar izmēriem  $600 \times 900 \text{ mm}$ . Stikla šķiedras sieti uzlīmēti uz saplākšņa ( $600 \times 900 \text{ mm}$ ), izmantojot termoreaktīvu pārklājuma – laminātu. Lamināts ir papīrs piesūcināts ar termoreaktīviem fenola formaldehīda sveķiem, temperatūras ietekmē sveķi izkūst un sacietē, veidojot cietu pārklājumu ar labām adhēzijas īpašībām ar koksni. No tās pašas plātnes izgatavoti arī kontroles paraugi. No katra parauga veida izgatavoti 5 lieces paraugi un lieces īpašības noteiktas saskaņā ar LVS EN 310.

Veikta vienfaktora lineārās regresijas analīze, lai noteiktu sakarības ciešumu starp stikla šķiedras sieta svaru un paraugu nestspēju (skat. 6. att.).



**6. att. Sakarība starp stikla šķiedras svaru un paraugu sagrāves spēku.**  
**Fig. 6. Relationship between the glass fibre mesh and samples breaking force.**

### 4.3. Saplāksnis ar viļņveida viduskārtu

Lai izvērtētu finieru biezuma ietekmi uz viļņveida plātņu lieces īpašībām, plātnes salīmētas no septiņiem 0.8 mm un četriem 1.45 mm bieziem finieriem. Saplākšņa saklājuma shēma dota 5. tabulā.

5. tabula / Table 5

**Viļņveida saplākšņa saklājuma shēmas**  
*Corrugated plywood lay-up*

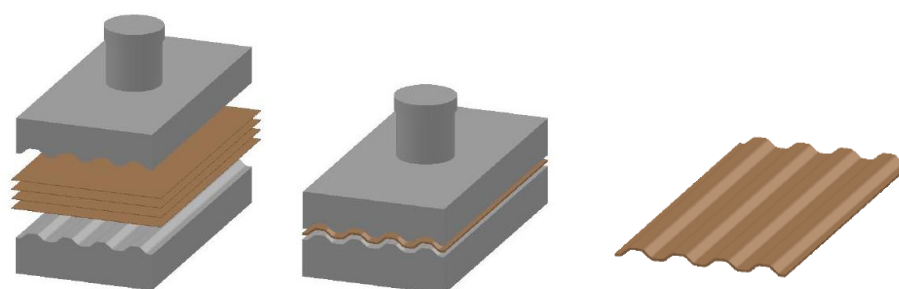
Apzīmējums <i>Notation</i>	Finieru skaits, gab. <i>Veneer count, pcs</i>	Finieru biezums, mm <i>Veneer thickness, mm</i>	Plātnes biezums, mm <i>Panel thickness, mm</i>	Saklājuma shēma <sup>a</sup> <i>Lay-up<sup>a</sup></i>
3D-A	7	0.8	5.6	—   —   —
3D-B	4	1.45	5.6	— —

<sup>a</sup> apzīmējumi / symbols:

- – finieri ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes viļņa profilam;  
*veneers with grain direction perpendicular to lengthwise*
- | – finieri ar šķiedru virzienu paralēli plātnes viļņa profilam.  
*veneers with grain direction parallel to lengthwise*

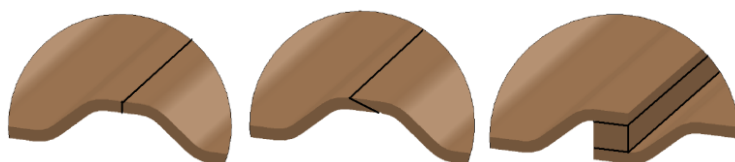
Viļņveida plātnes izgatavotas ar aukstās presēšanas paņēmieni speciālā presformā, izmantojot līmi Calcolit 1974 (Casco Adhesives Akzo Nobel). Viļņveida saplākšņa presēšanas spiediens 1.6 ... 1.9 MPa, laiks virs 6 h.

Viduskārta izgatavota no vairākiem savstarpēji kopā savienotiem mazāka izmēra viļņveida saplākšņiem. Plātnes izgatavošana ar nelielu viļņu daudzumu un tālākā to savienošana var atrisināt problēmu, ko izsauc plātņveida materiāla viļņveida liekšana. Ja līklīnijas garums pārsniedz presē ievietoto izejmateriālu garumu, viļņveida plātnē rodas stiepes spriegumi, kuru rezultātā izejmateriāls var tikt salauzts, vai veidojas dažāda biezuma un stiprības zonas. Viļņveida saplākšņi izgatavoti vienkāršās presformās (skat. 7. att.).



**7. att. Viļņveida plātnes ražošanas shēma.**  
*Fig. 7. Corrugated plywood production scheme.*

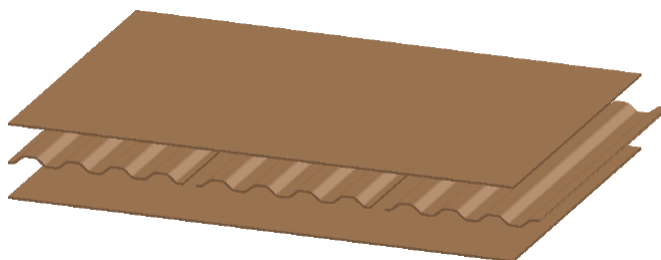
Viļņveida saplākšņus savā starpā var savienot dažādos veidos. Daži no savienojumu veidiem doti 8. attēlā. Kā papildus stiprības elementus var izmantot naglas, skavas, skrūves vai citus stiprinājumus.



**8. att. Viļņveida saplākšņu savienojuma veidi.**

*Fig. 8. Corrugated plywood joints types.*

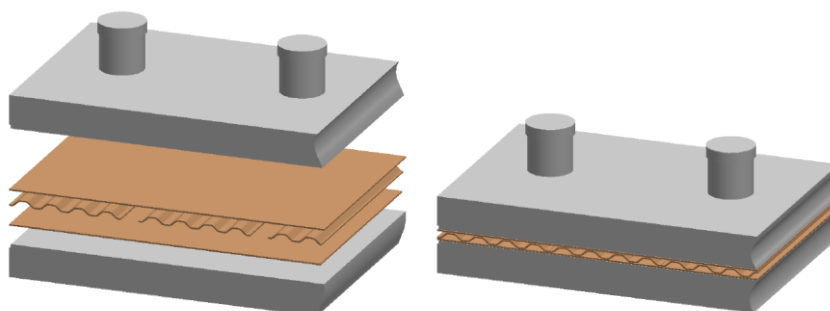
Plātnes savā starpā var savienot neierobežotā skaitā, tādējādi iegūstot liela izmēra plātnes, skat. 9. att.



**9. att. Lielizmēra saplākšņa ar viļņveida viduskārtu veidošanas princips.**

*Fig. 9. Large scale corrugated plywood core formation principle.*

Iegūstot liela izmēra viļņveida plātņi, to tālāk presē aplīmē ar plakaniem saplākšņa materiāliem (skat. 10. att.). Savienojuma stiprības uzlabošanai papildus var izmantot metāla naglas, skavas, skrūves vai citus stiprinājumus.



**10. att. Lielizmēra saplākšņa kārtainās plātnes veidošana.**

*Fig. 10. Large scale plywood with corrugated core formation.*

Eksperimentāli saražotajām saplākšņa plātnēm ar viļņveida viduskārtu noteiktas lieces īpašības saskaņā ar LVS EN 789.

Lieces stiprības un elastības moduļa vērtības saplākšņa plātnēm ar viļņveida viduskārtu aplūkojamas 6. tabulā. Augstāka īpatnējā stiprība  $71.3 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$  ir plātnei ar 4 mm apšuvumu un biezumu 26.8 mm. Otrā veida viļņa plātnei ar 6.5 mm saplākšņa apšuvumu īpatnējā stiprība ir  $54.6 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$  un biezums 27.7 mm. Abām plātnēm ir līdzīga lieces robežstiprība attiecīgi 27.1 MPa un 28.1 MPa. Otrā varianta 3D plātnes, aplīmējot ar 6.5 mm biezu saplākšni (2\_3D-B\_6.5), slodzes nestspēja ir par 11 % augstāka nekā plātnei ar 3D-B\_4 viduskārtu.

**Saplākšņa ar viļņotu viduskārtu lieces īpašības**  
*Bending properties of plywood with corrugated core*

Apzīmējums <i>Notation</i>	Stiprība <i>Strength</i>		Elastības modulis <i>Modulus of elasticity</i>		Īpatnējā stiprība* <i>Specific strength</i>
	paralēli <i>parallel</i>	perpendikulāri <i>perpendicular</i>	paralēli <i>parallel</i>	perpendikulāri <i>perpendicular</i>	
	MPa	MPa	MPa	MPa	
3D-A	15.5		2860		
3D-B	6.0		1349		
3D-A_4	21.6	12.8	9935	4943	56.8
3D-B_4	27.1	17.5	11252	5231	71.3
3D-B_6.5	30.3	17.7	7160	7179	70.4
2_3D-B_6.5	28.1		8723		54.6

\* - stiprākā virzienā / *in strongest direction*

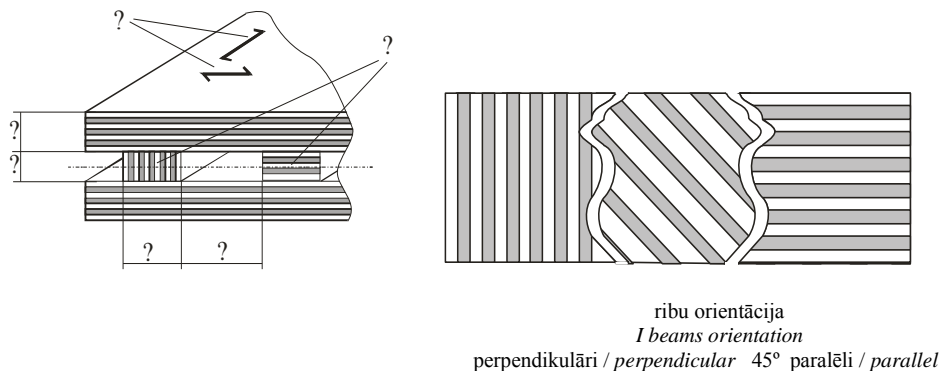
#### 4.4. Saplākšnis ar ribotu viduskārtu

Saplākšņu ar ribotu viduskārtu parametru optimizācijai eksperimentāli izgatavoti un izvērtēti pieci parametri.

Eksperimentāli izgatavoto plātņu biezums ir 28 mm. Tas atbilst saplākšnim, ko pielieto auto piekabju ražošanā. Paraugu izgatavošanā izmantoti vairāki mainīgie parametri:

- augšējā apšuvuma biezums;
- apšuvumu saplākšņa virsējā finiera šķiedru orientācija pret paraugu garenasi;
- ribu platums;
- attālums starp ribām;
- ribu orientācija pret parauga garenasi;
- ribu finieru šķiedru virziens pret apšuvuma plakni.

Kārtaino plātņu ar ribotu viduskārtu mainīgie parametri aplūkojami 11. attēlā.

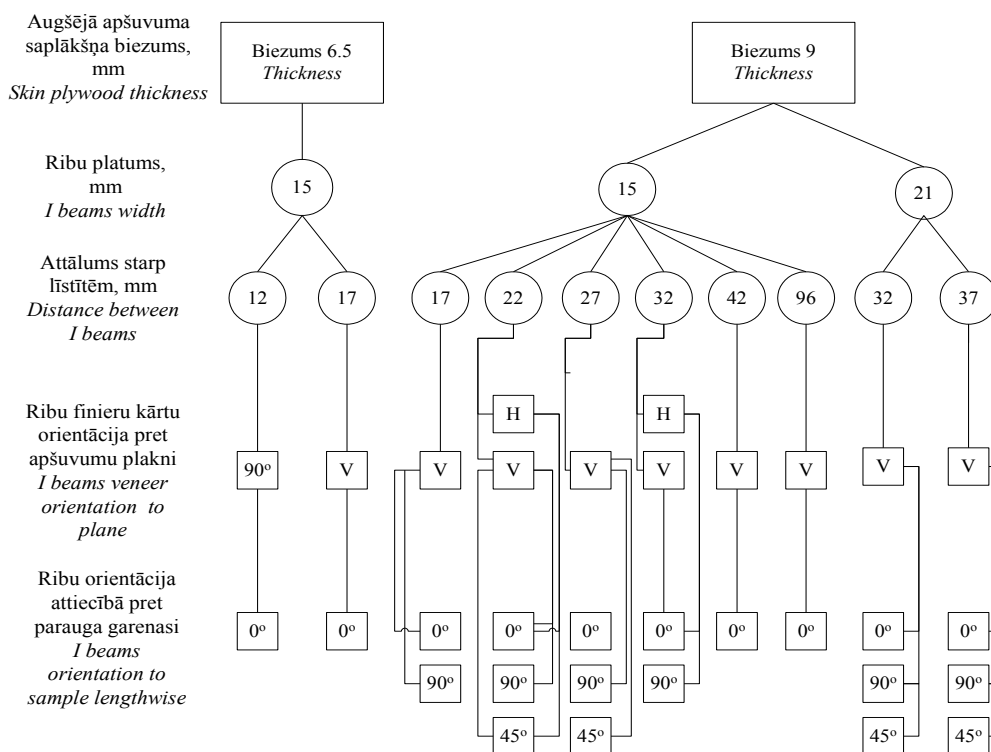


**11. att. Eksperimentālo paraugu mainīgie parametri.**

*Fig. 11. Variable parameters of experimental samples.*

Mainīgo parametru vērtības dotas 12. attēlā. Paraugiem izvēlēti divu veidu apšuvuma saplākšņi Riga Ply ar biezumu 6.5 un 9 mm. Plānāku apšuvumu izvērtēšana

nav veikta, jo plānāks saplākšnis neatbilstu produkta pielietošanas prasībām, piem., naglu un skrūvju noturībai.



**12. att. Saplākšņa ar ribotu viduskārtu manīgo parametru vērtības.**  
**Fig. 12. Variable parameters of plywood with I core.**

Paraugu marķējums satur informāciju par mainīgiem parametriem un veidots pēc sekojoša principa:

A	B	x	C	_	D	E	@	F	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

kur

A – ribu novietojums pret parauga garenasi:

II – paralēli parauga garenasij;

\_I\_ – perpendikulāri parauga garenasij;

> – 45° pret parauga garenasi;

B, C – apšuvuma saplākšņu biezums, mm:

6.5x9 – virsējais apšuvums no 6.5 mm bieza saplākšņa, apakšējais no 9 mm bieza saplākšņa;

9x9 – virsējais un apakšējais apšuvums no 9 mm bieza saplākšņa;

D – ribu biezums, mm;

E – ribu finieru orientācija attiecībā pret apšuvuma plakni:

= – ribu finieru orientācija horizontāli;

II – ribu finieru orientācija vertikāli;

F – attālums starp ribām, mm;

G – apšuvuma saplākšņa segfiniera šķiedru virziens pret parauga garenasi:  
 noklusētā vērtība paralēli parauga garenasij;

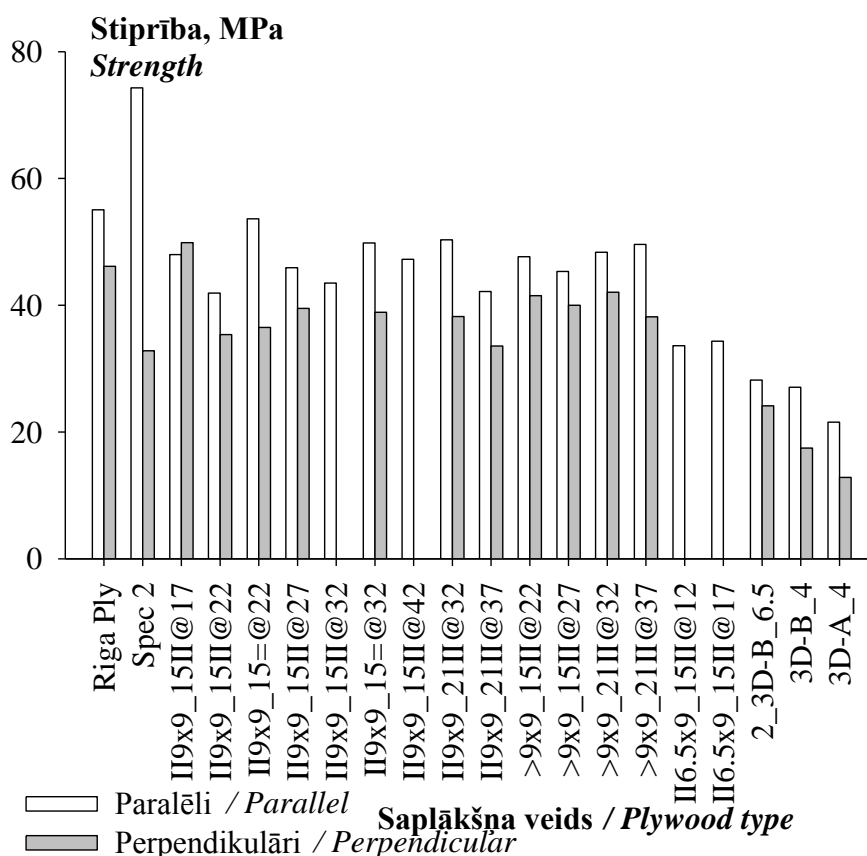
\_I\_ – perpendikulāri parauga garenasij.

Apzīmējuma piemērs:

A	B	x	C	_	D	E	@	F	G
II	9	x	9	_	15	=	@	22	
II9x9_15=@22									

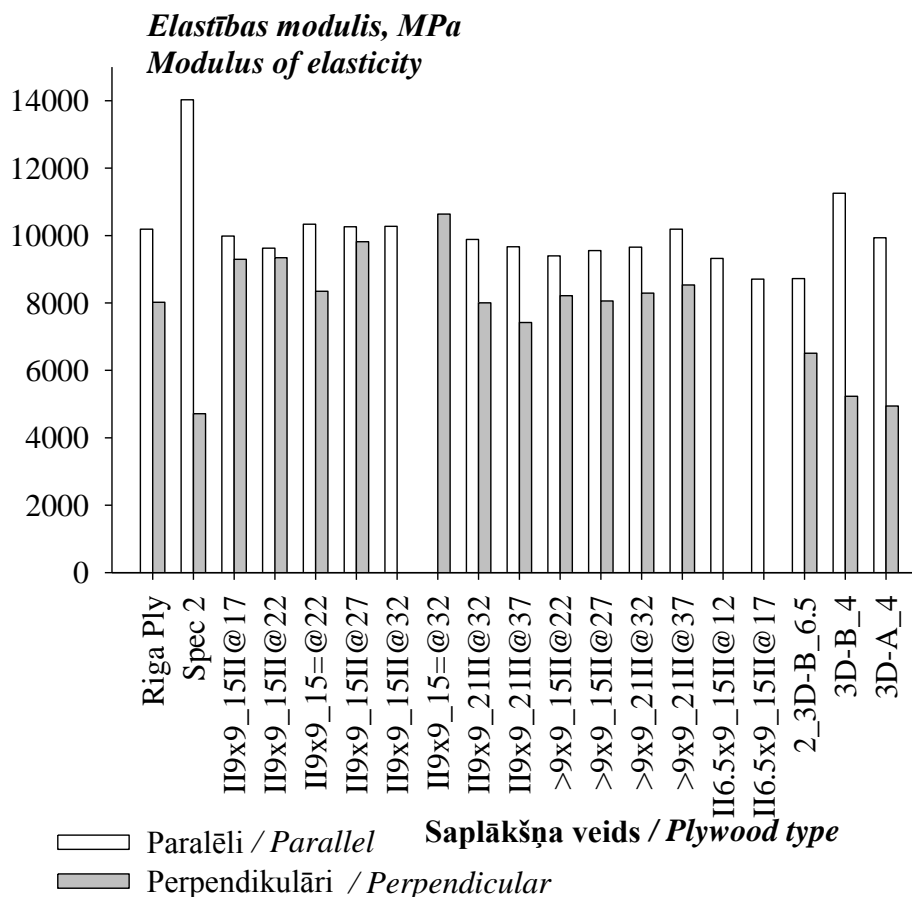
Atšifrējums: Ribu novietojums pret parauga garenasi paralēls, virsējā apšuvuma biezums 9 mm, apakšējā 9 mm, ribu platums 15 mm, ribas novietotas ar finieru orientāciju horizontāli plātnes plaknei, attālums starp ribām 22 mm, apšuvuma saplākšņa segfiniera šķiedru virziens paralēls parauga garenasij.

Saplākšņu ar ribotu un viļņveida viduskārtu lieces stiprības un stinguma īpašības, atkarībā no paraugu ribu orientācijas un apšuvuma saplākšņa segfiniera šķiedru virziena, aplūkojamas attēlos 13. un 14.



**13. att. Saplākšņu ar ribotu viduskārtu lieces stiprība.**  
**Fig. 13. Bending strength of plywood with I core.**

Saplākšņiem ar augšējo apšuvuma saplākšni, kura biezums ir 6.5 mm ir novērojama zemāka lieces stiprība un elastība.



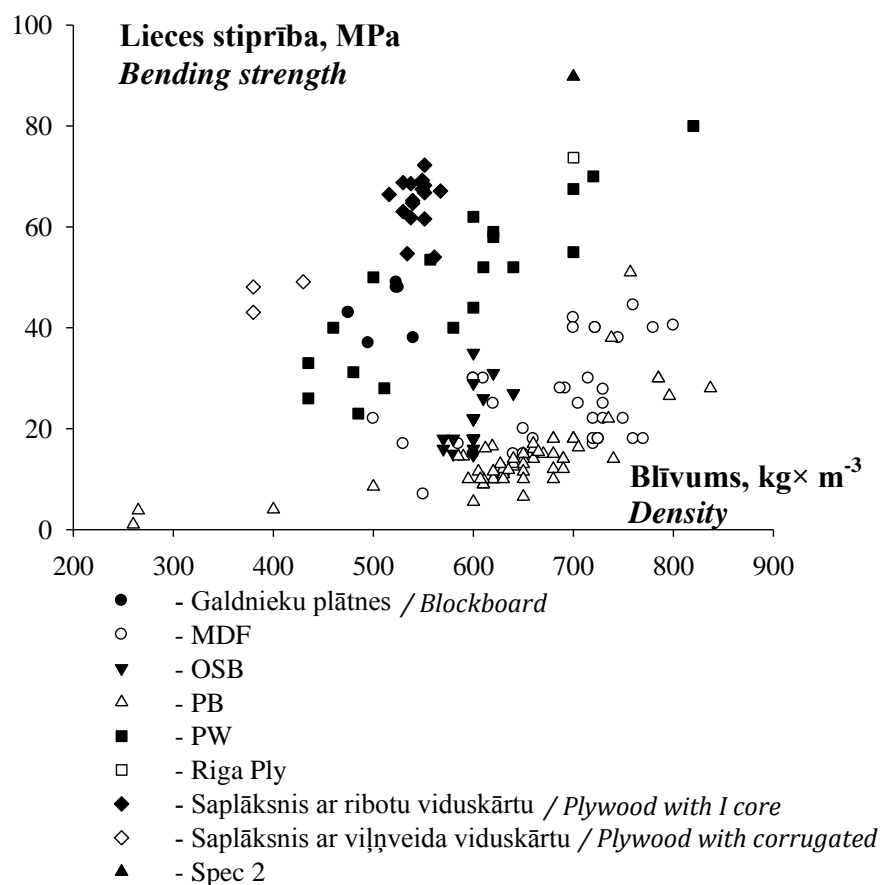
**14. att. Saplākšņu ar ribotu viduskārtu lieces elastība.**  
**Fig. 14. Bending modulus of elasticity of plywood with I core.**

Ņemot vērā kārtaino plātņu ar ribu viduskārtu eksperimentālos rezultātus, saplākšņa ar ribotu viduskārtu optimālie parametri ir sekojoši:

- ribu finieru orientācija pret plakni – vertikāla. Šāda ribu orientācija izvēlēta ņemot vērā ribu izgatavošanas nosacījumus, jo tādējādi saplākšņa ar ribotu viduskārtu ražošanā var izmantot dažādu biezuma saplākšņa izejmateriālus, kā arī iegūt maksimālo vidusslāņa pretestību cirpes spriegumiem;
- ribu orientācija pret apšuvuma saplākšņa segfinieru šķiedru virzienu – 45 °, tādējādi samazinot lieces īpašību atšķirību, atkarībā no sloģojuma, paralēli vai perpendikulāri apšuvuma saplākšņa segfiniera šķiedru virzienam;
- ribu pildījums viduskārtā ar attiecību 1 : 3.

Augstākā īpatnējā stiprība ir paraugiem II9x9\_15=@32 – 94.0 kN×m×kg<sup>-1</sup>; >9x9\_21II@37 – 92.3 kN×m×kg<sup>-1</sup>; II9x9\_21II@32 un II9x9\_15II@42 – 91.6 kN×m×kg<sup>-1</sup>.

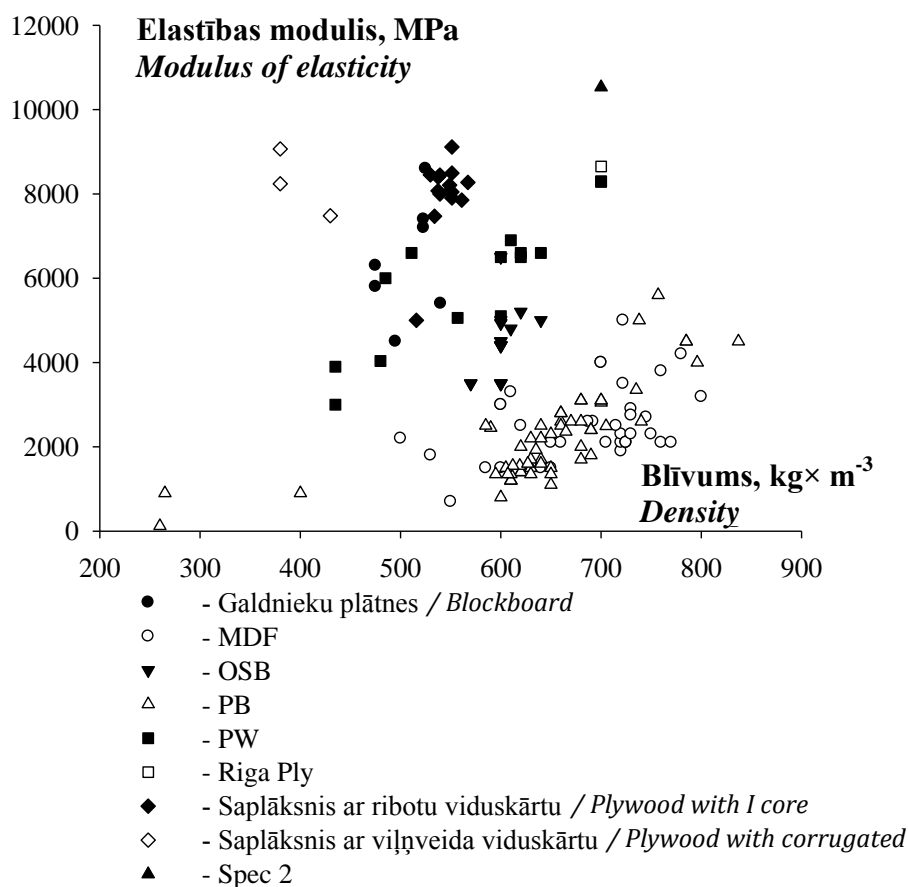
Dažādu koksnes plātņu lieces stiprības un blīvuma attiecības var aplūkot 15. att. Attēlā izmantoti dati no koksnes plātņu ražotāju produktu datu lapām un darbā eksperimentāli noteiktās vērtības noteiktas saskaņā ar LVS EN 789 un pārreķinātas izmantojot LVS EN 310 un LVS EN 789 rezultātu korelācijas regresijas vienādojumus.



**15. att. Koksnes plātņu lieces stiprības un blīvuma attiecība.**  
*Fig. 15. Wood based panels bending strength to density ratio.*

Eksperimentāli izgatavotām plātnēm ir augstas mehāniskās īpašības, salīdzinot ar citām koksnes plātnēm. To lieces stiprība ir augstāka nekā pārējām plātnēm pie attiecīga blīvuma. Rezultāti ļauj apgalvot, ka darbā izvirzītais mērķis, izstrādāt koksnes plātnes ar paaugstinātu lieces stiprību, ir sasniegts.

Analizējot lieces elastības moduļa rezultātus (skat. 16. att.), var secināt, ka labākos rādītājus uzrāda kārtainās plātnes ar viļņveida viduskārtu. Plātnēm ar riba viduskārtu ir augstāks elastības modulis nekā tradicionāliem saplākšņiem ar tādu pašu blīvumu.



**16. att. Koksnes plātņu lieces elastības moduļa un blīvuma attiecība.**  
*Fig. 16. Wood based panels bending modulus of elasticity to density ratio.*

Saplākšņi ar ribotu viduskārtu uzrāda augstāku īpatnējo lieces stiprību salīdzinot ar saplākšni *Riga Ply*. Saplākšņiem ar ribotu viduskārtu iespējamā tirgus cena varētu būt nedaudz augstākā nekā tradicionālam saplākšnim, jo patērētājs iegūs produktu ar zemāku blīvumu. Ražošanas tehnoloģijas izmaksas iespējams kompensēt, izmantojot šo saplākšņu ražošanā saplākšņa atzāģus, kas rodas ražošanā apzāģējot saplākšņus pircējiem nepieciešamos izmēros. Šī produkta ražošana var būt labs instruments jaunu tirgus nišu iegūšanai, kad ražotājs piedāvā patērētājam par tādu pašu cenu produktu ar mazliet labākām īpašībām.

Saplākšņiem ar viļņveida viduskārtu optimālajai tirgus cenai jābūt zemākai nekā tradicionālajam saplākšnim. To pielietojums varētu būt norobežojošās konstrukcijās vai mēbeļu ražošanā, kur tam būs nopietna konkurence, piemēram, koksnes plātnes ar papīra šūnu pildījumu vai līdzīgi izstrādājumi. Līdz ar to uzskatāms, ka šādu plātņu ieviešana ražošanā, ņemot vērā viļņveida viduskārtas izgatavošanas sarežģītību, nav ekonomiski pamatota. Tomēr šādas plātnes varētu izgatavot viduskārtu ražojot no citiem materiāliem, piem., kokšķiedru vai koksnes plastikas plātnēm.

Saplākšnim ar speciālu finieru saklājuma shēmu, cenai jābūt parastā saplākšņa robežās, šī tehnoloģija nerada ražotājam papildus izmaksas, taču ļauj patērētājam iegūt produktu ar specifiskām lieces īpašībām vienā plātnes virzienā.

Eksperimentāli saražoto paraugu augstākās īpatnējās lieces stiprības vērtības, blīvums un paraugu sagrāves spēks dots 7. tabulā.

**Eksperimentālo paraugu lieces īpatnējā stiprība**  
*Specific strength of experimental samples*

Nr.p.k. No	Parauga apzīmējums <i>Notation</i>	Lieces īpatnējā stiprība, <i>Bending specific strength</i> kN×m×kg <sup>-1</sup>	Parauga sagrāves spēks, <i>Samples breaking force,</i> N	Blīvums, <i>Density,</i> kg×m <sup>-3</sup>
1.	Spec 2	106	13541	700
2.	II9x9_15=@32	94.0	9009	530
3.	>9x9_21II@37	92.3	9889	538
4.	II9x9_21II@32	91.6	9789	549
5.	II9x9_15II@42	91.6	9719	516
6.	<i>Riga Ply</i>	78.7	10117	700
7.	3D-B_4	71.3	4860	380
8.	kārtainā plātne ar <i>end grain</i> balzas koksni viduskārtā	70*		200
9.	Dendrolight <sup>®</sup>	64*		369
10.	2_3D-B_6.5	54.6	5397	515
11.	OSB	42*		620
12.	MDF	40*		670
13.	Kokskaidu plātnes	25*		640

Saplāksnis ar speciālu finieru saklājuma shēmu vislabāk atbilst transporta industrijas prasībām ņemot vērā lieces īpatnējo stiprību. Kārtainām plātnēm ar viļņotu viduskārtu ir augsta īpatnējā stiprība, tomēr zema robežstiprība. Gadījumā, ja apšuvuma saplāksnis būtu ar speciālu finieru saklājuma shēmu un / vai tam būtu uzlabotas lieces īpašības, izmantojot ne-koksnes materiālus (piem., stikla šķiedru), saplāksnis ar ribotu viduskārtu var aizvietot speciālas finieru saklājuma shēmas saplāksni.

## 5. SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

Izstrādāts saplākšņa produkts ar ribotu viduskārtu, kura īpatnējā lieces stiprība ir par 20 % augstāka nekā bērza saplākšnim Riga Ply. Saplākšņa apšuvuma biezums – 9 mm, ribu orientācija  $45^\circ$  pret apšuvuma segfiniera šķiedru virzienu, ribu finieru novietojums perpendikulārs pret plātnes plakni, ribu un dobumu attiecība 1 : 3, ņemot vērā tirgus pieprasījumu pēc paaugstinātas īpatnējās stiprības saplākšņa plātnēm ar biezumu 28 mm.

Darbā izvērtēti trīs paaugstinātas īpatnējās lieces stiprības saplākšņa plātņu veidi un pierādīts, ka:

- eksperimentāli izgatavotās saplākšņa plātnes ar viļņveida viduskārtu uzrāda lieces stiprību pat līdz 50 % zemāku, salīdzinot ar saplākšni Riga Ply, taču īpatnējā stiprība ir salīdzināma ar saplākšņa Riga Ply īpatnējo stiprību, kas apliecina šo plātņu konstruktīvā risinājuma augsto potenciālu – izejmateriāla ekonomijas ziņā;
- 28 mm biežam saplākšnim, orientējot trīs ārējās kārtas finierus ar vienādu šķiedru virzienu, iespējams palielināt lieces stiprību un elastības moduli pat līdz 20 %.
- saklājuma shēmu optimizēšana var kalpot kā efektīvs līdzeklis saplākšņa ražotājiem, lai patērētājam piedāvātu, specifiskām prasībām atbilstošu, saplākšņa produktu;
- augstākā īpatnējā stiprība iegūta saplākšnim ar speciālu finieru saklājuma shēmu ( $106 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ ), kur trim ārējiem finieriem ir vienāds šķiedru virziens. Saplākšnis ar ribotu viduskārtu uzrādīja  $94 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$  lielu īpatnējo stiprību, ko iespējams uzlabot, aizstājot šo plātņu tradicionālās finieru saklājuma shēmas apšuvuma saplākšni ar saplākšni, kuram ārējo finieru šķiedru virziens orientēts vienā virzienā. Zemāko īpatnējo stiprību ( $71.3 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ ) uzrādīja saplākšņa plātnes ar viļņveida viduskārtu.
- maksimālā relatīvā kļūda saplākšņa lieces stiprības un elastības moduļa vērtībām, kas noteiktas eksperimentāli un analītiski aprēķinātas pielietojot metodi LVS ENV 14272:2003 ir 24 %, ievērtēt finieru ar perpendikulāru šķiedru virzienu ietekmi maksimālā relatīvā kļūda starp eksperimentāli un analītiski aprēķinātas vērtībām nepārsniedz 20 %, kas apstiprina nepieciešamību pilnveidot LVS ENV 14272:2003 aprēķinu metodiku.

Izstrādāts:

- paņēmieni lielformāta viļņveida viduskārtas saplākšņa ražošanai. Saplākšņa viduskārtas izveidošanas konstrukcija sastāv no daudzām savstarpēji savienotām viļņveida saplākšņa plātnēm, kas principiāli atšķiras no jau zināmiem risinājumiem;
- priekšlikums LVS ENV 14272:2003 metodikas pilnveidošanai, kas paredz aprēķinos ievērtēt finieru ar perpendikulāru šķiedru virzienu ietekmi. Relatīvā kļūda starp eksperimentāli un analītiski aprēķinātiem rezultātiem, kas iegūti ievērtējot finierus ar perpendikulāru šķiedru virzienu, ir zemāka nekā veicot aprēķinus saskaņā ar metodiku LVS ENV 14272:2003.

Rekomendācijas:

- apgūt lielformāta saplākšņa ar ribotu viduskārtu eksperimentālo ražošanu, paredzot iespēju orientēt finieru šķiedru virzienu ārējās kārtās vienā virzienā un lietot pastiprinājuma slāņus no ne-koksnes materiāliem. Piedāvātais risinājums atbilst zema blīvuma un relatīvi augstu īpašību saplākšņa plātnēm;
- pilnveidot LVS ENV 14272:2003 lieces īpašību aprēķinu metodiku ar visu finieru slāņu ietekmi uz saplākšņa mehāniskajām īpašībām ievērtēšanu.

# 1. GENERAL DESCRIPTION OF THESIS

## 1.1. Background

Production of wood base panels holds a significant position in the EU woodworking industry. The efficient and competitive products should be produced due to more tight competition in the panel market, and it promotes new innovative product research, e.g. higher specific strength wood based panel development and producing. Wood based panel industry increase is inwrought into low density and high mechanical properties wood base panel development.

Forestry is one of the most important parts in Latvian economy, and its shear is approximately 5 % of GDP. Plywood export value was 8.4 % from forest industry export value in 2007 and was 85 million LVL in 2008. Almost half of the wood-based panels, produced in Latvia, are birch plywood. Birch plywood in comparison with other wood base panels has high mechanical qualities and relatively high density.

Producing new competitive wood based product with higher specific bending strength is one of the priority of Latvian woodworking industry and it is based on worldwide demand and manufacturing trends. The author's analytical and experimental research regarding to this topic is in Doctor's thesis. The new product will be placed in the market as a special product with added higher value and higher specific bending strength. The higher specific strength in this thesis is a higher ratio of bending strength and density than it is for traditionally produced birch plywood. The research field corresponds to *the Latvian Forestry and Wood Resources Based Manufacturing Technology Platform 2030*.

The specific strength is the ratio between strength and weight. Higher specific strength materials are used in the space, ground and air transport, sport equipment industry, areas where low weight of material tip the scales of its high price.

Wood based panels with higher specific strength will provide progress and competitiveness of the wood based panel industry. Such kinds of products have been demanded in the market (e.g. transport industry) and are not available in market at the moment. The main fields of higher specific wood based panels are:

- cargo container industry
- transport industry – cargo and passengers
- shipbuilding – yachts, military ships

The use of higher specific strength plywood will decrease wood resource consumption and provide efficient residue utilization. Moreover, transportation industry prospectively obtains several benefits connecting with ecology:

- in logistics, the reducing of transportation weight ensure the possibility to transport more goods
- reducing of fuel consumption per unit of goods lessens pollutions and saves non-renewable natural resources

The author worked as an expert for the European Standardization Organization CEN Technical Committee TC 112 "Wood based panels" working groups, such as WG 4 "Test Methods" and WG 2 "Plywood". The experience at the wood based panels industry standardisation allows him to evaluate professionally industry standards and to participate in new standards development. The paper focuses in the standard LVS ENV 14272:2003 Plywood - Calculation method for some mechanical properties", and, based on the research results, some proposals have been made to improve the method.

More than 300 plywood and 150 sandwich panel samples were tested and the results were statistically processed for the mathematical model probation.

## 1.2. The aim and the tasks

The **aim** of the Doctor's thesis was to develop plywood product with higher specific bending strength and stiffness properties in comparison with the traditionally produced plywood.

The **tasks** of the thesis were:

- to create plywood with I-core, corrugated core and plywood with one direction grain veneers in outer plies;
- to test bending strength and stiffness characteristics;
- to research of I-beam dimensions and geometrical parameters of higher specific strengthen plywood;
- to develop solutions for manufacturing plywood of a large size with corrugated core;
- to validate the plywood bending strength and modulus of elasticity calculation method for LVS ENV 14272:2003, based on the experimental results, reached by using plywood of different thickness;
- to develop the proposals to improve the method (taking in account all veneers regardless of their grain direction).

## 1.3. Research methods

Research was done using mathematic modelling and experimental methods. Experimental mechanical properties data was compared with the mathematically calculated results and analysed. The experimental part was conducted in the Laboratory of Development, Quality and New Technology Department of *Latvijas Finieris AS Mill „Lignums”*. The bending tests were performed with the help of the company „Zwick” equipment - „Zwick 020” and „Zwick 400” with maximum load capacity 2 and 40 tonnes respectively.

There were evaluated three type of plywood's with higher specific strength:

- plywood with a special lay-up;
- plywood with a I-core;
- plywood with a corrugated core

The PC programs as SPSS 17, Sigma Plot 12, MS Excel were used for data processing and MS Visio and Corel Draw for a figure.

## 1.4. Scientific novelty

The developed plywood product with I-core layer has specific bending strength by 20% higher than the birch plywood Riga Ply.

Proved that most efficient plywood with I-core beam and layout geometric are follow - skins are from 9 mm thick plywood, beam orientation at 45 ° to the grain of plywood skin direction, the beam veneers are oriented vertically to panel surface, beam cross section ratio 1: 3.

Developed the new technology solution for plywood with corrugated core where the core layer of plywood consists of many interconnected corrugated plywood panels.

Improved LVS ENV 14272:2003 plywood bending properties modelling algorithm by taking in account all veneer weight influence on plywood bending properties.

### **1.5. Results and their practical significance**

Recommendations are given for three types of plywood with higher specific bending strength production.

The method for plywood bending properties calculation was developed, which allows plywood manufacturers to calculate panel bending properties depending on veneer lay-ups.

LR patent application form developed for plywood with corrugated core Nr P-10-73 „Three layer composite material of plywood and its producing technology”.

### **1.6. Thesis structure**

The thesis consists of six chapters:

- *Chapter 1* Analysis of wood base panel industries in Latvia and Europe
- *Chapter 2* Characteristic of the birch plywood manufactured by Latvijas Finieris AS and factors affected mechanical properties
- *Chapter 3* High specific wood base panels and plywood production methods
- *Chapter 4* Research methodology
- *Chapter 5* Research results of plywood specific bending properties improvement. Results consist of veneer layup optimization and plywood with corrugated and I-core layers
- *Chapter 6* Conclusions and proposals

The thesis contains 115 pages, 100 figures and 27 tables.

The bibliography consists of 110 sources.

### **1.7. Probation of research results**

#### ***Publications***

1. Tuherm H., Ludvigsonē – Rudzīte S., Zudrags K. *Wood Processing Industries in Latvia*. Technologia Drewna No 43, Poznan, Poland, 2007, 55 – 65.
2. Zudrags K., Tuherm H., *Relationship of birch (Betula sp.) plywood bending properties determined according to the European standards EN 789 and EN 310*. The International Scientific Conference “Research for Rural Development 2007”, Jelgava, Latvia, 2007, 181 – 187. Zudrags K., *The analysis of imported plywood in Latvia*. Proceedings of the 3th Meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Helsinki, Finland, 2007, 41 – 47.
3. Ludvigsonē-Rudzīte S., Zudrags K., *Plywood Image in Latvia*. Papers of the Nova Course Wood Engineering - Products and Their Utilization, Department of Forest Resource Management Publications Nr 43, University of Helsinki, Helsinki, Finland, 2008, 23 – 36.

4. Zudrags K., Ludvigsonē – Rudzīte S., *Bending Properties of Special Lay-up Plywood*. Proceedings of the 4th Meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Riga, Latvia, 2008, 114 – 118.
5. Andersons B., Andersone I., Biziks V., Irbe I., Grinsh J., Zudrags K., *Peculiarities of the Thermal Modification of Hard Wood*. Proceedings of European Conference on Wood Modification 2009, Stockholm, Sweden, 2009, 141 – 145.
6. Biziks V., Zudrags K., Andersone I., Andersons B., Grinsh J., Sansonetti E., *Improvement of the Properties of Birch plywood by Thermal Modification*. Proceedings of International Panel Product Symposium, Nant, France, 2009, 99 – 109.
7. Zudrags K., Kalnins K., Jekabsons G. Ozolins O., *Bending Properties of Plywood I-core Sandwich panels*. Proceedings of the 5th Meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Copenhagen, Denmark, 2009, 169 – 175.
8. Kalnins K., Jekabsons G., Zudrags K., Beitlers R. *Metamodels in optimisation of plywood sandwich panels*. Proceedings of 9th International Conference "Shell Structures, Theory and Applications", Volume 2, Proceedings of the 9th SSTA Conference, Jurata, Poland, 2009, 291 – 294.
9. Zudrags K., Medved S., Hakkı Alma M., *Mechanical Properties of Wood-Based Panels*. Performance in use and new products of wood based composites, 2009, 87 – 102.
10. Зудрагс К., *Лесные будни Латвии*, журнал ЛесПромИнформ №8 (66), 2009, 164 – 167.

#### ***Research of thesis presented at the scientific conferences***

1. The 2<sup>th</sup> meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE), Stockholm, Sweden, 31.10.2006, summary: *“Determination of Characteristic Bending Properties of Birch Plywood by EN 310 Test Method”*.
2. XX sesja naukowa “Badania dla meblarstwa”, Poznan, Poland, 24.11.2006, summary: *“Wood Processing Industries in Latvia”*.
3. International Scientific Conference “Research for Rural Development-2007”, LUA, Jelgava, 2007, summary: *„Relationship of birch (Betula sp.) plywood bending properties determined according to the European standards EN 789 and EN 310”*.
4. The 3<sup>rd</sup> Meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE) 2007, Helsinki, 29-30.10.2007, summary: *„The Analysis of Imported Plywood in Latvia”*.
5. LLU Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference „Zinātne un prakse nozares attīstībai”, 16.-17.04.2008, Jelgava, referāts: *“Saplākšņu noturības pētījumi pret sēņu iedarbību”*. / Summary

6. LLU Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference „Zinātne un prakse nozares attīstībai”, 16.-17.04.2008, Jelgava, referāts: “*Saplāksnis LLU kokapstrādes studiju programmas studentu skatījumā*”./Summary
7. The 4<sup>th</sup> Meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE) 2008, Rīga, 13.-14.11.2008, summary: “*Bending Properties of Special Lay-up Plywood*”.
8. European Conference on Wood Modification-2009, Stoholma, Zviedrija, 27.04.2009, summary: “*Peculiarities of the Thermal Modification of Hard Wood*”.
11. The 5<sup>th</sup> meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering (WSE) 2009, Copenhagen, Denmark, 1.-2.10.2009, summary: “*Bending Properties of Plywood I-core Sandwich panels*”.

#### ***Other activities related to the thesis research***

1. Expert Europe Standardization Working Group CEN TC 112 WG 4 „Test Methods”.
2. Expert Europe Standardization Working Group CEN TC 112 WG 2 „Wooden panels”.
3. The member of the Committee Board COST Action Nr 49 „Wooden panels technology and characteristics”.
4. European project G6RD-CT2000-00273 „Plywood Tests and Evaluation according to EN 314-1 and EN 314-2”.
5. State research programm Nr 09-VP-4.4 „Deciduous Forest Growing and Basics of its Efficient Use, New Products and Technologies”
6. LZP Cooperative Project Nr 06.0032.1.3. „The Scientific Basics of Recycled Material Utilization”.
7. The Forest Development Fund Scientific-research Project Nr 180909/S109 "Higher Spesific Strengthen Plywood".

## 2. SITUATION ANALYSIS

### 2.1. Wood-based panel industry

Latvian forest industry is characterized in this chapter and a short introduction of wood-based panels industry in Europe and Latvia is given. Transportation industry development and special requirements are highlighted due to from year to year growth of the demand of wood-based panels.

The woodworking industry is the second largest industry in Latvia with 1.1 billion incomes at 2007. It covers 27 % of an export value of Latvia. The plywood production plays significant role in the export. The plywood production increased from year to year till 2006 (see. 1 Fig). Due to the shortage of raw materials (wood), the production decreased in 2007. The shortage of wood was explained by warm winters, so timber cutting decreased. The consumption of plywood is approximately 30 000 m<sup>3</sup> in Latvia. Latvia produced 11.6 % of all FEIC (European Federation of the Plywood Industry) produced broad leaf plywood in 2007.

The main countries, where Latvia exports plywood, are the UK (construction works), Germany (construction and transportation), and France. The birch plywood is exported to more than 40 countries. South Korea is the important importer as well (7700 m<sup>3</sup> of plywood per year for shipbuilding). The shear of exported plywood to South Korea has increased by three times compared to 2005 because *Latvijas Finieris AS Mill has started to provide* shipbuilding industry with plywood.

One of the most significant markets in the EU is transportation industry – ship, trailer, bus, and car building. The construction industry is a steady market, where plywood is used in the specific frameworks.

### 2.2. Specification of birch plywood

Birch plywood and factors, which influences mechanical properties, were described at this chapter. Birch plywood consists of 1.45 mm thick veneers glued together with phenol resin glue. The grain direction of adhering layers of veneers is perpendicular each other in this plywood. *Riga Ply* is a trade mark of *Latvijas Finieris AS* birch (*Betula sp*) plywood. The birch plywood *Riga Ply* with the thickness of 28 mm is used as benchmark to be compared with newly developed kinds of plywood in this research.

The veneer layers can be from 3 to 35 in the plywood. Most kinds of plywood are glued with phenol formaldehyde resin glue. The content of moisture in the birch plywood *Riga Ply* is kept within the limits between 7 % and 10 % and density between 650 ... 750 kg×m<sup>-3</sup> at the temperature of 20° C, while the relative humidity is 65 %.

### 2.3. Higher specific strengthen plywood production

This chapter provides higher specific strengthen panels manufacturing techniques. Birch plywood mechanical properties can be improved in different ways:

- optimization of veneer lay-up scheme – increase of mechanical properties in one direction;
- using the materials with higher mechanical properties – reinforced plywood with them;
- optimization of panel cross-section – producing sandwich panels;

- three-dimension structures – oriented veneers not only in horizontal direction but also in vertical one.

#### **Plywood reinforcement with non-wood materials**

The first researches in plywood reinforcement with glass fibres were done in the sixties of the previous century. In the seventies American plywood association made plywood mechanical properties improvement research with non-oriented glass fibre, chopped glass fibre mat and glass fibre textiles, glued with vinyl and polyester resins glues.

Developed panels were durable, easy processed and repaired. Birch plywood *Riga Ply* bending properties improvement research was carried out in the Forest Development Fund funded project "Higher specific strengthen wood-based panels" („Paaugstinātas īpatnējās stiprības koksnes plātnes”) and market-oriented research project "Composite materials for improving properties of plywood" (Kompozītmateriāli saplākšņa īpašību uzlabošanai). The project results showed that the load capacity of plywood, overlaid with glass fibre, significantly improved. One of the most easily achievable ways to overlaid plywood with glass fibre in practice is to use glass fibre mesh. The phenol resin laminate (thermo set resin impregnated paper), using as the adhesive for plywood, overlaying with glass fibre, was marked as one of the most promising variants. Such a kind of overlaying is technologically easy and does not significantly differ from existing laminating technology where two or more laminate layers are used. The bending properties of plywood overlaid with glass fibre can be improved in the limits between 10% and 20%.

#### **Wood sandwich panels**

Their main advantage, compared to conventional wood panels, is their low mass. Besides, they have great mechanical strength, shape stability and low heat conduction. Sandwich panels can be manufactured from wood, thus panel with different characteristics can be developed. Properly selected materials can improve one or more properties. The mechanical properties of the panels can be improved by applying a thin veneer, impregnated with synthetic resin or reinforced with metals and fibre materials, e.g., glass fibre or carbon fibre. Density can be reduced by making hollows in the central part of the panels or replaced the central part with low-density materials, e.g., foam materials or lower density wood. Some of the constructions of wood sandwich panels are shown in Fig. 2.

#### **Corrugated wood panels**

Corrugated panels are widely known and used in plastic and metal industries - main competitors of woodworking industry, where they are used in light panel production, thereby reducing the raw material consumption and product's weight. Taking in account the branches and trends of the development of woodworking industry, corrugated wood panel production implementation provides multiple benefits:

- raw materials consumption reduction;
- possibility to use materials of a lower quality, for example, shredded wood chips, fibres etc.;
- adhesives consumption possible reduction.

It should be stressed that their production has also some negative aspects:

- consumption of adhesives can be increased if the particle or fibre board replaced with three-dimension solid wood or plywood boards;
- high production costs which is determined by a complicated manufacturing process.

One of the main disadvantages of corrugated board production is a complicated manufacturing process. Production of corrugated curved plywood parts has a number of limitations:

- radius of curvature;
- veneer thickness and fibre orientation;
- shapes of parts and their dimensions.

In this paper plywood with two types of corrugated core was developed.

### 3. METHODOLOGY

#### 3.1. Material and sampling

The new product of plywood is headed for the use in transportation industry – for flooring trailers and public transportation. As a benchmark was selected birch (*Betula sp*) plywood *Riga Ply* with the thickness of 28 mm.

The work stages are shown in Fig. 2. The research was carried out at „Latvijas Fineiris” AS.

Samples were random selected from production. The birch veneers without visible defects were selected for corrugated plywood. There were no special requirements in other cases regarding to veneer grade. The plywood samples were cut out without visible defects (e.g. knots and splits) in maximum load zones.

#### 3.2. Test methods and equipment

Sample testing was done in the Laboratory of Development, Quality and New Technology Department of *Latvijas Finieris AS Mill „Lignums”*. „Zwick 020” and „Zwick 400” equipment was used for mechanical testing with loading capacity of 2 and 40 tonnes. Bending properties were tested according to the LVS EN 310:2001 „Wood-based panels; determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength” and LVS EN 789:2005 „Timber structures - Test methods - Determination of mechanical properties of wood based panels” Standards. Mentioned above test methods differ in loading schema, sample dimensions and other test requirements.

The sample size measurements were done according to the LVS EN 325:2000 „Wood-based panels - Determination of dimensions of test pieces”. Moisture content of samples was  $8 \pm 2$  %.

#### 3.3. Data processing and analysis

The specific strength is the material's strength divided by its density:

$$f_{ip} = \frac{f}{\rho},$$

where

$f_{ip}$  – specific strength of material,  $\text{kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ ;

$f$  – material strength, GPa;

$\rho$  – material density,  $\text{kg} \times \text{m}^{-3}$  Data representation intervals were calculated assumed that data distribution followed normal distribution with the confidence level 95 %. Factors' influence analysed with One-way ANOVA analyse and data mean values compared with t-test with the confidence level of  $\alpha = 0.05$ . Data processing was done with the help of MS Excel, SPSS 17 and Sigma Plot 12 programs.

## 4. RESULTS

### 4.1. Plywood bending properties calculation method

The plywood bending properties calculation method LVS ENV 14272 based on geometrical factor of layer, related to its weight in the panel cross section individually and taking in account veneer with grain direction parallel with the panel.

The newly developed methods of calculation of plywood bending properties also proposed the evaluation of veneers with the grain vertically load direction. Three methods, based on assumption that vertically oriented veneer bending properties are 5; 10 and 15 % from horizontally oriented veneer properties, were compared. Methods, described below, were 5 %, 10 % and 15 % methods. Method LVS ENV 14272 and modified method principal stress diagrams are shown at Fig. 4.

The results of the experiments with the plywood of thickness 12; 15 and 18 mm were used to calculate method validation.

Data of birch veneer (thickness 1.45 mm) bending properties, calculated according to LVS ENV 14272 and author's methods, are given in Table 1.

Plywood bending strength values (Table 2) were calculated according to the methods, using birch veneer values from Table 1. The bending strength values calculated according to the author calculation methods are lower in case perpendicular to the grain direction. The results, calculated according to the LVS ENV 14272, showed 65 % sum of relative errors. The results calculated according to the 5 % method shows 42 % sum of relative errors and it was the lower relative error sum from all the methods.

The bending modulus of elasticity results (Table 3) calculated according to the LVS ENV 14272 showed 68 % sum of relative errors, and the 5 % method – 54 %. The lower relative error sum showed 15 % method – 49 %.

The maximum relative error level was 24 % according to the calculation method LVS ENV 14272 and it was in case of strength for plywood with thickness 15 mm parallel to grain direction. Seven results from 12 calculated according to the LVS ENV 14272 shows error level higher than 10 %. The results of strength perpendicular to grain direction showed 9 ... 13%, that was high enough.

The lower level of errors was in case of 5 % method. 4 results from 12 were with error level higher than 10 %, the highest error level was 20 % compared to the experimental results.

### 4.2. Veneer lay-up optimization

#### **Bending properties improvement with one direction orientated veneers.**

The 10 birch (*Betula sp.*) plywood panels were produced with a special veneer lay-up scheme (Table 4). The thickness of panels corresponds to the transportation industry requirements. Veneer thickness was 1.45 mm.

The bending properties were tested according to the LVS EN 310 and LVS EN 789 methods. The bending properties according to the LVS EN 789 are shown in Fig. 5.

The plywood Spec 2 specific bending strength parallel to the grain direction is  $106 \text{ kN}\times\text{m}\times\text{kg}^{-1}$ , plywood Riga Ply –  $78.7 \text{ kN}\times\text{m}\times\text{kg}^{-1}$ .

#### **Bending properties improvement with non-wood materials**

Plywood Riga Ply with thickness 9 mm overlaid with glass fibre in a pilot scale. One panel of Riga Ply plywood was randomly selected from production and cut into

600 × 900 mm pieces. Plywood (600 × 900 mm) was overlaid with glass fibre mesh by using thermo reactive overlay laminate, which is a phenol formaldehyde resin impregnated paper. Resins were melted at temperature and cured to form good adhesion properties for wood. The control samples were made of the same panel. From each type 5 samples were cut and bending properties were tested according to the LVS EN 310.

Relationship between the glass fibre mesh and sample breaking force was determined with linear regression analyse (Fig. 6.).

#### 4.3. Plywood with corrugated core

Corrugated core layer consisted of two thickness veneers 0.8 mm and 1.45 mm for evaluating the veneer thickness factor influence on bending properties. Corrugated plywood lay-up schemes are given at Table 5.

Corrugated panels were produced at cold pressing process and glued with Calcolit 1974 (Casco Adhesives Akzo Nobel) glue in special press forms at the pressing pressure of 1.6 ... 1.9 MPa and for the time of 6 h.

The core was produced of several small dimension corrugated pieces of plywood connected together. The panels' production with low level of corrugation and the following splice them together can solve the problem brought on by bending wave Sheet materials. If the curvilinear length of moulds is greater than the inserted materials, in the corrugated panel tensile stresses grow that causes the material failure or formed different thickness and strength areas in the panel cross-sections. The corrugated plywood is made in simple moulds (see Fig. 7.).

The corrugated plywood panels could be stitched together in different ways, some of them are presented at Fig. 8. The nails, straps, screws and other furniture can be used as extra strengthen elements.

The core panels can be stitched without limitation and in that way large scale corrugated panels can be created, see Fig. 9.

The large scale corrugated cores overlaid with conventional plywood panels see Fig 10. The nails, straps, screws and other furniture can be used as extra strengthen elements.

The bending properties for sandwich panels with corrugated core were tested according to the LVS EN 789.

The bending strength and modulus of elasticity values of plywood with a corrugated core layer are given in Table 6. Samples with 4 mm skins and thickness 26.8 mm had higher specific strength  $71.3 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ . The panel with a second type of corrugated core, 6.5 mm skin and a thickness of 27.7 mm had the specific strength  $54.6 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ . Both boards had similar bending capacity, 27.1 MPa and 28.1 MPa respectively. The second variant of corrugated panels, overlaid with with a 6.5 mm thick plywood skin (2\_3D-B\_6.5), had load-bearing capacity by 11% higher than samples with 4 mm thick plywood skin 3D-B\_4 core layer.

#### 4.4. Plywood with I-core

Five parameters of plywood with I-core were considered for optimization, and experimental samples were produced.

Experimentally produced panels had the thickness of 28 mm. The panel thickness corresponded with the plywood which is used car trailers production. The sample was produced with following parameters of variables:

- thickness of skins;

- skins grain orientation regarding to the sample length;
- width of beams;
- distance between beams;
- beam orientation regarding to the sample length;
- beam veneer orientation regarding to the skins plane.

The variables of sandwich are given in Fig. 11.

Variable parameters of plywood with I core are given in the Fig. 12. Two type of plywood *Riga Ply* skins with a thickness of 6.5 mm and 9 mm were chosen. Thinner skin evaluation was not carried out because the thinner plywood would not correspond to the product requirements e.g., nails and screws sustainability.

Samples of the label contains information about variables and modelled on the following principle

A	B	x	C	_	D	E	@	F	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Where

A –beam orientation regarding to the sample length:

- II – parallel to the sample length;
- \_I\_ – perpendicular to the sample length;
- > –oriented at 45° to the sample length;

B, C –thickness of skins, mm:

- 6.5x9 – top skin plywood 6.5 mm thick, bottom 9 mm;
- 9x9 – top skin plywood 9 mm thick, bottom 9 mm;

D –width of beams, mm;

E –beam veneer orientation regarding to the skins plane:

- = – horizontal;
- II – vertical;

F –distance between beams, mm;

G –skins grain orientation regarding to the sample length:

Default value parallel to the sample length;

\_I\_ –vertically to the sample length.

Marking example:

A	B	x	C	_	D	E	@	F	G
II	9	x	9	_	15	=	@	22	
II9x9_15=@22									

Variables: beam orientation to the sample length parallel, top skin thickness 9 mm, bottom 9 mm, beam width 15 mm, beam veneer orientation horizontally to the panel plane, distance between the beams 22 mm, skins plywood's grain direction parallel to the sample length.

I-core and corrugated core plywood samples bending strength and stiffness properties, depending on variables and plywood skin grain direction, are presented in Fig. 13 and 14.

The samples with top skins 6.5 mm have a lower bending strength and modulus of elasticity.

Considered the tests results, the plywood with I-core optimum parameters are as follows:

- beam veneer orientation to the panel plane – vertical. This beam orientation considered due to the beam producing technology, where all thicknesses of plywood can be used for beam production and gain the maximum beam resistance to the shear stresses;

- beam orientation to the panel skin plywood grain direction – 45 °, in this manner the bending properties difference in loading direction (parallel or perpendicular the panel length) is minimum;
- beam cross section ratio is 1 : 3.

The following samples show the highest specific bending strength: II9x9\_15=@32 – 94.0 kN×m×kg<sup>-1</sup>; >9x9\_21II@37 – 92.3 kN×m×kg<sup>-1</sup>; II9x9\_21II@32 and II9x9\_15II@42 – 91.6 kN×m×kg<sup>-1</sup>.

Various wood-based panel bending strength and density relations are shown in Fig. 15. The data based on the data from wood-based panels' manufacturer product data sheets and the experimental results. For the EN 789 the result were converted using LVS EN 310 and LVS EN 789 correlation.

Experimentally produced panels have higher mechanical properties compared to the other wood-based panels. Their bending strength is higher than traditional panels at the same density. The results show that the goal of the thesis to develop wood-based panels with high bending strength has been reached.

Having analysed the results of the bending elasticity modulus (see the Fig 16), the following conclusion can be made: the panels with corrugated core layer show the best results; the panels with I-core have higher modulus of elasticity than traditional plywood with the same density.

Plywood with I-core layer shows a higher specific bending strength compared to the plywood *Riga Ply*. The price for plywood with I-core can be slightly higher than for traditional plywood because the customer will receive a product with a lower density. Extra production cost of technology can be compensated by using cut-offs of plywood of different dimensions, that are the scrap of technological process, and on the other hand, meet customers' requirements. Such kind of product production can be a good tool for obtaining a new market sector where the manufacturer offers a consumer the product with the same price, but with better properties.

The optimal market price for the plywood with a corrugated core layer must be lower than for traditional plywood. Its ultimate use can be in an insulation room design or furniture manufacturing, where serious competition will be arisen between sandwich wood-based panels with paper honeycombs and similar solutions. Consequently, it seems that the introduction of such a kind of panels to producers is not economically justified, taking into account the corrugated core layer manufacturing complexity. However, such a kind of panels could be produced with core layer from other materials, for example wood fibre or wood plastics.

The price of the plywood with a special lay-up veneer scheme should be in the same range as traditional plywood because this type of plywood production does not have any additional costs. That kind of plywood will give the possibility to consumers to obtain the product with specific properties for bending in one direction of boards.

Higher specific bending strength values of the experimentally produced samples and its density and sample breaking force are given in Table 7.

Taking into account everything mentioned before, the specific bending strengthen plywood with a special veneer lay-up scheme meets the requirements of the transport industry best of all. The sandwich panels with a corrugated core layer have higher specific strength, but lower load capacity. Plywood with I-core can replace special lay-up plywood in case of skins mechanical properties improvement by using special lay-up plywood or reinforcement by non-wood materials (e.g. glass fibre).

## 5. Conclusions and recommendations

The developed plywood product with I-core layer has specific bending strength by 20% higher than the birch plywood *Riga Ply*. This product skins are from 9 mm thick plywood - beam orientation at 45 ° to the grain of plywood skin direction, the beam veneers are oriented vertically to panel surface, beam cross section ratio 1: 3, taking into account the market demands for high specific strength plywood with a thickness of 28 mm.

In the thesis three types of higher specific bending strengthened plywood were evaluated and assessed. The results proved the following:

- the experimentally produced plywood panels with a corrugated core layer have shown the bending strength up to 50 % lower compared to the *Riga Ply* plywood, but the specific strength is comparable to plywood *Riga Ply* specific strength, that has proved the high potential of such a construction solution of these panels - economical raw material consumption;
- plywood with three outer plies in one direction has the bending strength and modulus of elasticity by up to 20 % higher than traditional plywood;
- veneer lay-up scheme optimization can serve as an effective tool for the plywood industry to offer plywood which corresponds to specific ultimate users' requirements;
- the plywood with the special veneer lay-up scheme (where the three outer plies of plywood are in the same grain direction) has the highest specific strength ( $106 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ ). The plywood with I-core layer shows  $94 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$  high specific strength, which can be improved by replacing traditional lay-up plywood skins with the plywood, where outer veneers have grain orientation in the same direction. The lower specific strength ( $71.3 \text{ kN} \times \text{m} \times \text{kg}^{-1}$ ) shows a plywood board with a corrugated core layer;
- the maximum of relative error is over 24 % between the plywood bending strength and elastic modulus values experimentally established and analytically calculated, using the method according to LVS ENV 14272:2003, and do not exceed 20 % in case of evaluating geometrical factor of each layer related to its weight in the panel cross section. Which prove a necessity to improve the LVS ENV 14272:2003 method.

The following solutions and proposals have been made:

- the technical solutions for large scale plywood with corrugated core layer production. The core layer of plywood consists of many interconnected corrugated plywood panels that is fundamentally different from the already known solutions;
- the proposal to modify plywood bending properties calculation method LVS ENV 14272:2003 based on geometrical factor of each layer related to its weight in the panel cross section. The relative error between experimental and calculated results was lower than according to the LVS ENV 14272:2003 in case of taking in account veneers with grain direction vertically to the panel length.

The following recommendations have been elaborated:

- implement the plywood panels with I-core in experimental production with the possibility of orienting outer veneer layers in the same grain direction and reinforced with non-wooded materials. The proposed solution corresponds to relatively low density and quite high characteristics of plywood;
- improve LVS ENV 14272:2003 bending properties calculation method, taking into account all veneer weight influence on plywood mechanical properties.