

# Saplākšņa sendvičpaneļa ar viļņotu serdi eksperimentālās pārbaudes un skaitliskā modelēšana

Edgars Labans<sup>1</sup>, Kaspars Kalniņš<sup>2</sup>, Kaspars Zudrags<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Rīgas Tehniskā universitāte, <sup>3</sup>Latvijas Lauksaimniecības universitāte

**Kopsavilkums.** Laminātu materiālu un konstrukciju projektēšana, izmantojot uz galīgo elementu metodes (GEM) bāzētas aprēķina programmas, ļauj efektīvi izstrādāt inovatīvus risinājumus dažādām mehānisko slodžu konfigurācijām. Tajā pašā laikā, lai garantētu šādu projektēšanas paņēmiena precizitāti, ir jābūt verificētam aprēķina modelim, pārbaudītām materiāla mehāniskajām īpašībām un validētam izstrādātajam modelim ar eksperimentāliem rezultātiem. Šajā pētījumā noteiktas vienvirziena līmēta bērza (*Betula spp.*) finiera elastīgās īpašības stiepē vairāk nekā 250 neliela izmēra finiera stiepes paraugiem. Tika izgatavoti vairāku biezumu paraugi ar dažādu virsmas apstrādi, lai pētītu ražošanas procesa ietekmi uz finiera mehāniskajām īpašībām. Iegūtie rezultāti kalpo par ievaddatiem saplākšņa sendvičpaneļu ar viļņotu serdi parametriskā aprēķina modeļa izstrādei GEM komercprogrammatūrā ANSYS. Rezultātu validācija veikta iepriekš izveidotiem sendvičpaneļiem ar viļņotu serdi 4-punktu lieces laboratorijas testos atbilstoši EN 789 (2004) standartam. Pētījuma rezultātā noteiktas finiera mehānisko īpašību robežvērtības, kuras var pielietot saplākšņa plātņu skaitliskos aprēķinos. Izmantojot iegūtās vērtības, novērtēts skaitlisko aprēķinu ticamības intervāls salīdzinājumā ar laboratorijas eksperimentiem, prognozējot paneļa izlieci, kā arī virsējo šķiedru relatīvās deformācijas. Tika pierādīts, ka datoraprēķina modeli iespējams veiksmīgi izmantot saplākšņa 3D struktūru projektēšanai.

**Atslēgas vārdi:** ANSYS, 4-punktu liece, saplākšnis, saplākšņa paneļi, viļņota serdes struktūra.

## I. IEVADS

Pieaugot pieprasījumam pēc racionālas koksnes resursu izmantošanas un vienlaicīgi arī dabas aizsardzības prasībām, parādās vajadzība izstrādāt un ieviest ražošanā jauna tipa koksnes materiālus, kas ļautu racionālāk izmantot koksni, kā arī tās ražošanas blakusproduktus. Kā viens no šādiem jauna tipa konstruktīviem risinājumiem varētu kļūt saplākšņa sendvičpaneļi ar dažādas topoloģijas serdēm, piemēram, viļņotām saplākšņa loksneņiem, vertikālām ribām vai cita materiāla serdi. Šādu paneļu priekšrocība ir konkurētspējīgs īpatnējās lieces stingums un ievērojams kokmateriāla ietaupījums, salīdzinot ar tipisku saplākšni. Lai arī ražošanas izmaksas ziņā šāds materiāls ir dārgāks par rūpniecisku saplākšni, transporta pārvadājumu nozarē tas varētu būt gūt zināmu pieprasījumu. Pateicoties samazinātām svaram, kas nepalielina konstrukcijas kopējo biezumu, tos iespējams izmantot par kravas transporta (kravas auto, vilcienu, kuģu) klāja materiālu vai arī izmantot vidēja tilpuma vieglu kravas konteineru ražošanā. Turklāt sendviča konstruktīvais risinājums ļauj integrēt siltuma un skaņas izolācijas slāņus bez lielas izmaksu kāpināšanas, kas padara šādus risinājumus tirgum pievilcīgus. Viļņota saplākšņa ražošanas iekārtas un paņēmieni jau sen ir

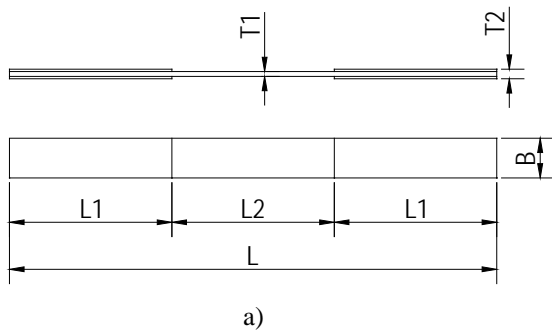
pieejami un aprakstīti ASV patentos Nr. 4816103 [1] un 5948198 [2]. Tomēr, lai projektētu un ieviestu masveida ražošanā jauna tipa sendvičplātnes, nepieciešami turpmāki pētījumi saplākšņa darbības analizē, novērtējot dažādu sloģojuma veidu ietekmi, izmantojot skaitlisko aprēķinu datus, kā arī eksperimentālas pilotparaugu pārbaudes. Aprēķinu procesa automatizēšanai un daudzslāņu materiāla uzvedības simulācijai tika izmantota viena no industrijā atzītākajām GEM datorprogrammām ANSYS [3]. Skaitlisku aprēķinu modeļa izmantošana produkta izstrādes procesā ļauj ne tikai ietaupīt laiku un iegūt precīzākus rezultātus ļoti plašos ģeometriskos parametru apgabalos, bet arī minimizēt testēšanas izmaksas, kas saistītas ar prototipu izstrādi un laboratorijas eksperimentiem.

Vispārēji zināms, ka saplākšnis sastāv no vairākās kārtās savienotiem slāņiem ar dažādu šķiedru orientāciju, tādējādi analītisko aprēķina metožu pielietojums sendvičpaneļu izstrādē ir maz efektīvs. Nepieciešams veidot skaitlisku modeli, kurā materiāla īpašības būtu uzdotas katram atsevišķam slānim, nevis visai struktūrai. Jāievērtē arī fakts, ka literatūras avotos minētās, vienā šķiedru virzienā orientētās bērza koksnes mehāniskās īpašības bieži nav konsekventas vai pat savstarpēji atšķiras dažādos reģionos, piemēram, *Wood handbook* (1999) [4] salīdzinājumā ar *Eurocode 5* (2005) [5]. Tas varētu būt saistīts gan ar atšķirīgo koksnes morfoloģiju, gan ar ražošanas faktoriem. Viens no šā pētījuma uzdevumiem bija noteikt bērza (*Betula spp.*) finiera slāņa mehāniskās īpašības neliela izmēra stiepes paraugiem un pārbaudīt to atbilstību turpmākiem aprēķiniem, izmantojot tās par ievaddatiem sendvičpaneļa ar viļņotu serdi aprēķina modeli.

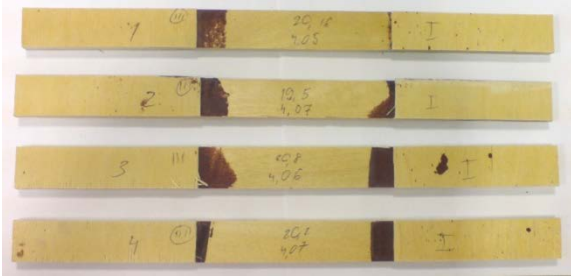
## II. FINIERA PARAUGU TESTI

Lai noteiktu vienvirziena līmēta saplākšņa elastības īpašības, kuras kalpo par izejas datiem saplākšņa paneļu skaitliskajos aprēķinos, pētījumā veikti stiepes testi neliela izmēra bērza (*Betula spp.*) finiera paraugiem ar garumu  $L = 300$  mm un dažādiem platumiem:  $B = 20, 25$  un  $30$  mm. Paraugu dimensijas (skat. 1. att.) izveidotas atbilstoši vienvirziena armētu daudzslāņu kompozītu testēšanas standartam ASTM D3039 [6]. Tradicionāli saplākšņu mehāniskās īpašības ir pieejamas tikai daudzslāņu (paralēli/perpendikulāri līmētiem) testiem atbilstoši standartam EN 789 [7] un EN 310 [8], bet šos datus datorsimulācijās tieši ietvert nav iespējams.

Paraugu biezumi  $T1$  veidoti no vienā virzienā salīmētiem 1, 2 vai 3 finiera slāņiem (biezumi variējas no 1,46 līdz 4,03 mm). Lai nodrošinātu parauga nostiprinājuma vietas aizsardzību pret spiedes pārspriegumiem, paraugu abās pusēs



a)



b)

1. att. Izgatavoti finiera stiepes paraugi: a – parauga dimensijas; b – foto.

tika pievienotas uzlikas 10 cm attālumā –  $L_1$  no parauga malām atbilstoši ASTM D3039. Uzlikas veidotas no viena finiera slāņa, kas pielīmēts perpendikulāri.

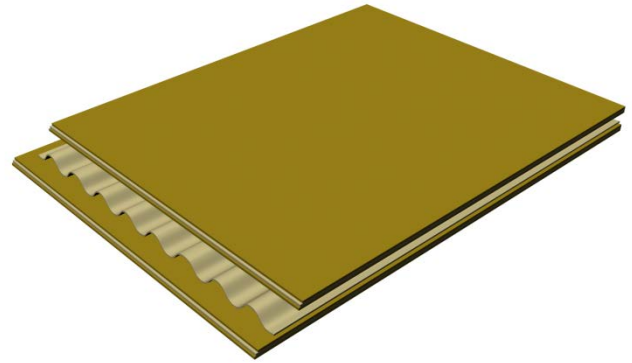
Tika izgatavoti gan paraugi ar garenisko šķiedru virzienu (elastības moduļa  $E_x$  noteikšanai), gan arī paraugi ar perpendikulāru šķiedru virzienu (elastības moduļa  $E_y$  noteikšanai). Paraugu stiepes testi veikti uz servohidrauliskās pārbaudes iekārtas INSTRON 8802 un INSTRON 8872. Iekārtu tehniskā specifikācija pieejama Interneta vietnē [www.ims.rtu.lv](http://www.ims.rtu.lv). Deformāciju lielums mērīts ar INSTRON 2620 sērijas ekstenzometru, kā arī salīdzināts ar iekārtas nostiprinājumu pārvietojumu nolāsījumiem. Visi paraugi tika slogoti ar ātrumu 1 mm/min līdz to pilnīgai sagrūšanai, tādējādi nosakot arī paraugu graujošo spriegumu un relatīvo deformāciju apjomus. Kopumā tika testēti aptuveni 220 finiera paraugi ar garenisku šķiedru orientāciju: 120 paraugi ar platumu 20 mm, 60 paraugi ar platumu 25 mm un 40 paraugi ar platumu 30 mm. Papildus tika testēti aptuveni 50 paraugi ar šķērsu šķiedru orientāciju un ar konstantu platumu 20 mm.

### III. SENDVIČPANEĻU EKSPERIMENTĀLĀS PĀRBAUDES

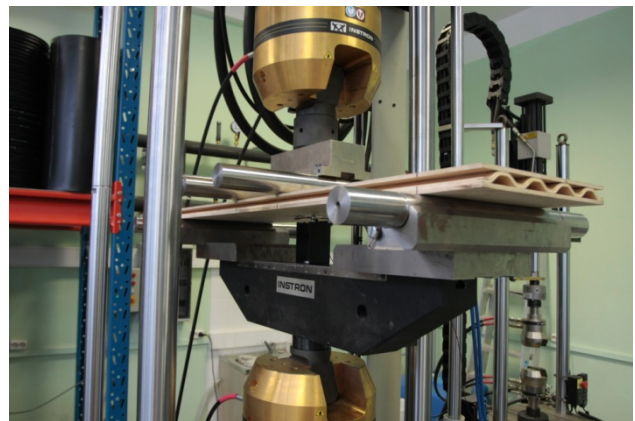
Pētījumā tika apskatīti saplākšņa sendvičpaneļi, veidoti no 5-slāņu saplākšņa virsmām un 4-slāņu viļņota saplākšņa serdes, kas pielīmēta pie virsmām.

Gofrēta serde (skat. 2. att.) nodrošina augstvērtīgu lieces stingumu gan serdes viļņu virzienā, gan perpendikulāri viļņu virzienam. Krokrojums nodrošina arī pietiekamu paneļa stingumu, lai spētu uzņemt tangenciālos spriegumus.

Pētījumā apskatīto sendvičpaneļu 3-punktu un 4-punktu lieces testi tika veikti uz slogošanas iekārtas INSTRON 8802 (skat. 3. att.).



2. att. Saplākšņa sendvičpanelis ar viļņotu serdi.



3. att. Saplākšņa sendvičpaneļa slogošana 4-punktu lieces gadījumā pārbaudes iekārtā INSTRON 8802.

Paneļu pārbaudes konfigurācija veidota saskaņā ar 4-punktu lieces EN 789 [7] standarta norādījumiem. Paneļu izliece tika mērīta ar INSTRON izlieču mērītājiem jeb deflektometriem, kurus novietoja nozīmīgākajās laiduma vietās. Papildus tika izmantoti LG1x tenzorezistori [10] (ražotājs HBM), kurus pielīmēja uz plātņu virsmām, kā arī paneļa iekšpusē uz viļņotās serdes, lai nomērītu ārējo šķiedru relatīvo pagarinājumu. Testēto sendvičpaneļu ģeometriskie parametri apkopoti 1. tabulā.

### IV. GEM APRĒĶINI

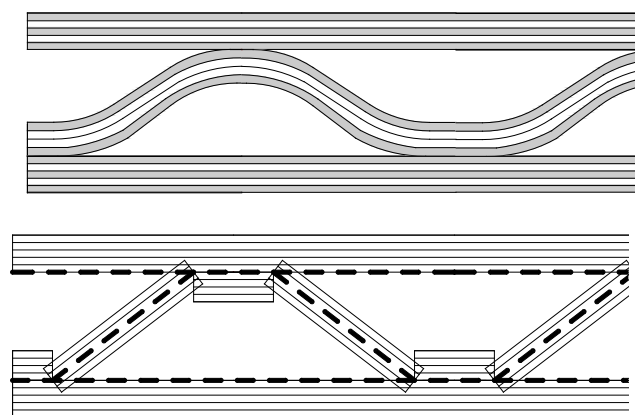
Sendvičpaneļu lieces testu datortsimulācija veikta programmā ANSYS v. 11, kurā izveidots aprēķina modelis ar maināmiem sendvičpaneļa šķērsriezuma ģeometrijas parametriem. Pirms sendvičpaneļu modelēšanas tika verificēti arī atsevišķu slāņu finieru stiepes testi, lai pārbaudītu eksperimentāli iegūto rezultātu atbilstību aprēķinam. Saplākšņa sendvičpanelis modelēts atbilstoši EN 789 (2004) slogošanas uzstādījumam, izmantojot ANSYS 4-mezglu čaulas elementu SHELL 181 [3]. Pieņemts, ka katra atsevišķa saplākšņa slāņa biezums ir konstants – 1,35 mm [9]. Turklāt slāņi izvietoti perpendikulāri viens otram. Vidējais elementu skaits uz vienu aprēķina modeli – ~14 000 elementu; tīkla solis – 1 cm; aprēķina laiks uz datora ar Athlon X2 3 GHz procesoru – vidēji 4 minūtes.

1. TABULA  
SENDVIČPANEĻU AR VIĻNOTU SERDI ŠĶĒRSGRIEZUMA ĢEOMETRIJA

Nr. p.k.	Plātnes apzīmējums	Platums, $B$ , mm	Biezums, $H$ , mm	Paneļa garums, $L$ , mm	Viļņotā serde			Viršējo slāņu raksturlielumi			
					Viļņa platums, mm	Viļņa biezums, mm	Slāņu skaits vilnī	Augšējai kārtai, mm	Apakšējai kārtai, mm	Augšējai kārtai	Apakšējai kārtai
1.	Panelis 1	330	32,30	1200	82	5,6	4	6,5	6,5	/-/-	/-/-
2.	Panelis 2	330	31,7	1200	82	5,6	4	6,5	6,5	/-/-	/-/-
3.	Panelis 3	325	31,5	1200	82	5,6	4	6,5	6,5	/-/-	/-/-

/ šķiedru virziens paralēli garenvirzienam

- šķiedru virziens perpendikulāri garenvirzienam



4. att. Sendvičpaneļa šķērsgriezums dabā (augšā); sendvičpaneļa šķērsgriezums modelēts ANSYS programmā (apakšā); raustīta līnija apzīmē piesaistes plakni elementa biezumiem.

Noapaļojumi viļņotai serdei ir nepieciešami konstruktīvu apsvērumu dēļ, kas saistīts ar ražošanas (presēšanas) procesu, taču iekļaut tos aprēķina modelī nav pamatoti. Katram krokojumam būtu vajadzīgs diskrets elementu dalījums pa rādiusa līniju, kas novestu pie vairākkārtīga skaitliska apjoma pieauguma un aprēķina modeļa skaitliskas nestabilitātes. Tāpēc izliekta sendvičpaneļa serde aprēķina modelī tika vienkāršota ar taisnām līnijām, kas noteiktā leņķī savienojas ar paneļa virsmām (skat. 4. att.).

#### V. IEGŪTĀS FINIERA MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Veicot bērza finiera paraugu stiepes testus, noteikts finiera elastības modulis un graužošie spriegumi, aprēķinot elastības moduļa vidējās vērtības, kā arī to maksimālo un minimālo vērtību robežas. Paraugiem ar paralēlu šķiedru orientāciju elastības moduļa vērtības apkopotas 2. tabulā. Pārbaugu rezultāti uzrāda, ka vidējā elastības moduļa  $E_x$  vērtība paralēli līmeņiem paraugiem ir 14,8 GPa, tajā pašā laikā minimālās un maksimālās vērtības visiem paraugiem ir robežās no 11,65 līdz 17,51 GPa.

Papildus finieru paraugiem ar perpendikulāru šķiedru orientāciju noteiktais elastības modulis  $E_y$  ir vidēji 0,5 GPa ar

standartnovirzi 0,15 GPa. Kā redzams 2. tabulā, lielākais elastības modulis  $E_x \sim 17$  GPa ir iegūts, testējot finieri, kas piesūcināts ar līmi un sapresēts. Palielinot parauga biezumu, elastības modulis samazinās, piemēram, 3-slāņu paraugiem līdz vidējai vērtībai 13,26 GPa. Tas saistīts ar defektu ietekmes palielināšanos un finiera šķiedru mazāku sapresēšanas pakāpi parauga iekšpusē [11]. Līdzīgu tendenci samazināties elastības modulis arī uzrāda, ja paraugu platums tiek palielināts no 20 līdz 30 mm.

No visiem testētajiem paraugiem stabilākie un robustākie rezultāti tika iegūti no paraugiem ar divām kopā salīmētām finiera kārtām. Elastības moduļa atšķirība starp 20 un 30 mm platiem paraugiem ir tikai  $\sim 3,5$  %. Pārējiem pārbaudītajiem paraugiem atšķirība starp dažāda platuma paraugiem ir 5–15 %.

2. TABULA

ELASTĪBAS MODUĻU  $E_x$  VĒRTĪBAS BĒRZA FINIERA PARAUGIEM AR PARALĒLU ŠĶIEDRU ORIENTĀCIJU, GPa

Tips	Parauga platums, mm		
	20	25	30
Laminēts		vid.	16,96
		max. min.	max. 17,51 min. 16,49
1 slānis (sapresēts)	15,97	15,66	14,54
	max. 17,06 min. 14,58	max. 17,53 min. 14,77	max. 14,86 min. 14,32
1 slānis	15,19	14,61	13,99
	max. 16,32 min. 13,68	max. 15,10 min. 14,04	max. 14,96 min. 12,21
2 slāņi	14,36	14,22	13,95
	max. 15,60 min. 13,17	max. 14,63 min. 13,86	max. 14,37 min. 13,73
3 slāņi	13,26	13,39	11,99
	max. 13,21 min. 12,45	max. 13,55 min. 13,18	max. 12,22 min. 11,65

Vidējie graužošie spriegumi paraugiem ar garenisku šķiedru orientāciju ir 125 MPa (maksimālā vērtība – 149 MPa; minimālā vērtība – 104 MPa). Eksperimentā novērots, ka

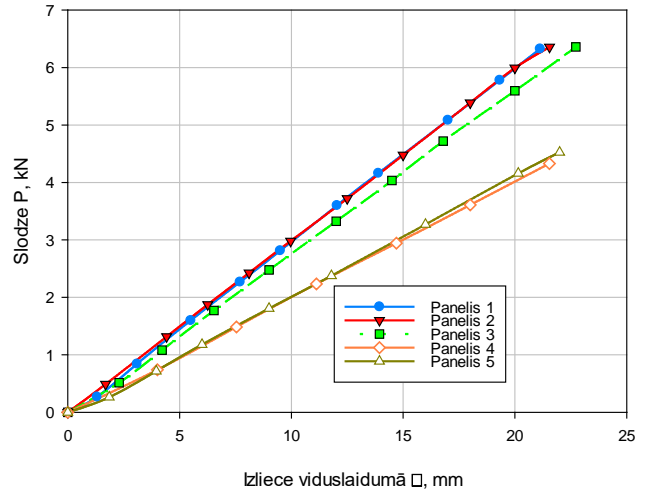
graužošajiem spriegumiem ir tendence palielināties, palielinoties parauga platumam. Rezultātu atšķirība starp paraugiem ar 20 mm un 30 mm platumu vidēji ir 10 %.

VI. SENDVIČPANEĻU EKSPERIMENTĀLĀS PĀRBAUDES

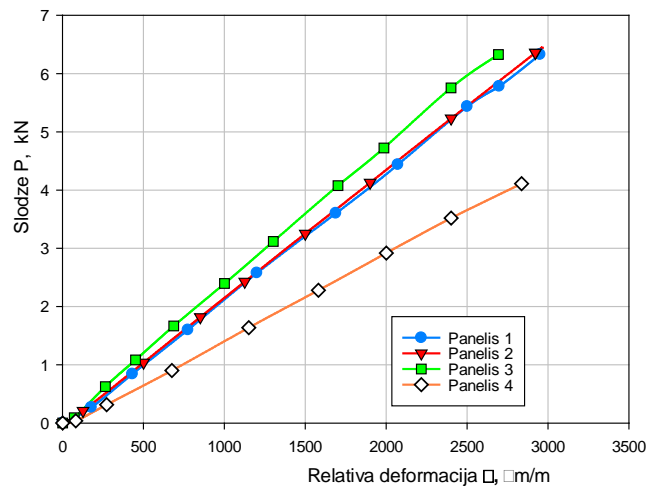
Veicot saplākšņa sendvičpaneļu testus 4-punktu liecē (atbilstoši EN 789), ir noteikta paneļu izliece un virsējo šķiedru relatīvais pagarinājums. Izmantojot iegūtos rezultātus, tika aprēķināts paneļu lieces elastības modulis un lieces stingums (skat. 3. tabulā). No sendvičpaneļiem ar viļņotu kodolu iegūtie eksperimentālie dati tika salīdzināti ar tradicionālu tāda paša kopējā augstuma saplākšņa plātnes testu.

Ar tenzorezistoriem un izlieču mērītājiem aprīkoti paraugi tika testēti elastīgo īpašību apgabalā līdz 22 mm izliecei (skat 5. att.). Redzams, ka sendvičpaneļu paraugu slodzes – deformācijas līknes viscaur uzrāda pilnībā elastīgu uzvedību līdz 3000 mikrometriem pret tekošo metru (µm/m) šķiedru relatīvajam pagarinājumam (skat. 6. att.). Šāds relatīvais pagarinājums ir aptuveni ekvivalents 40 MPa normālsprīgumam, kas pēc stiepes paraugu testiem ir aptuveni viena ceturtdaļa no materiāla sagrūšanas pretestības.

Tradicionāla saplākšņa plātne (Panelis 4) ar pilnu šķērsgrīzuma laukumu (kārtu izkārtojums /-/-/-/-/-/-/-/-/-/-) tika pievienota 3. tabulā apkopotajiem datiem, lai uzskatāmāk attēlotu koksnes ekonomijas priekšrocības, izmantojot sendvičpaneļus. Tradicionālais saplākšņa paraugs „Panelis 4” tika pieņemts par atskaites punktu jeb 100 %, lai salīdzinātu lieces stingumu un izlietotā kokmateriāla tilpumu salīdzinājumā ar sendvičpaneļiem. Tādējādi – jo lielāka attiecība, jo lielāks lieces stingums no vienas vienības patērētā materiāla. Iegūtie dati apstiprina, ka materiāla izlietojums sendvičpaneļiem ar viļņveida formas kodola materiālu ir par trešdaļu efektīvāks. Šie paneļi vidēji uzrāda par 33 % labākus rezultātus nekā tradicionālais saplākšnis. Tas skaidrojams ar nelielu šķērsgrīzuma laukumu, kā arī daļēji ar to, ka augstums šiem paneļiem izgatavošanas specifikas dēļ ir vidēji par 3,5 mm lielāks nekā standarta saplākšnim „Panelis 4”.



5. att. Paneļu slodžošanas testu slodzes un izlieces līknes.



6. att. Paneļu slodžošanas testu slodzes un relatīvās šķiedru deformācijas līknes.

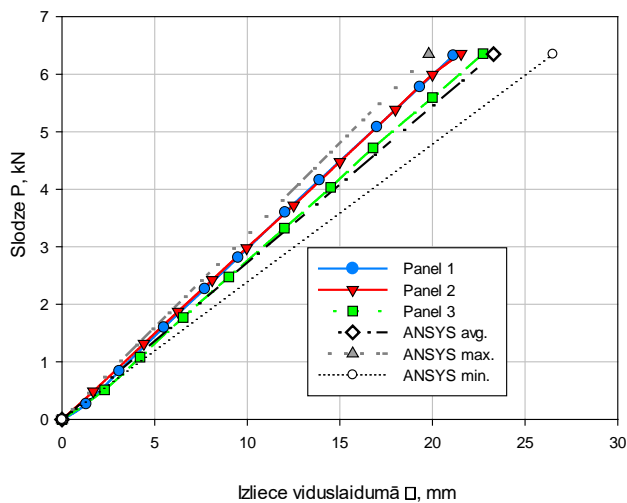
3. TABULA

SENDVIČPANEĻU AR VIĻŅOTU SERDI UN TIPISKA SAPLĀKŠŅA MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU SALĪDZINĀJUMS

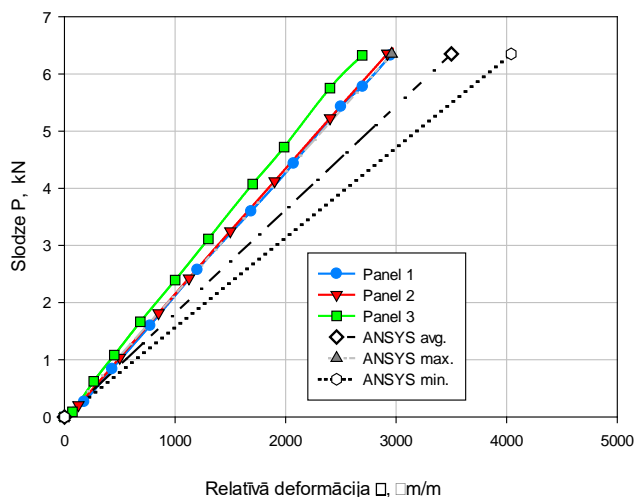
Plātnes apzīmējums	Paneļa platums, mm	Paneļa augstums, mm	Šķērsgrīzuma laukums, A, cm <sup>2</sup>	Šķērsgrīzuma inerces, I, cm <sup>4</sup>	Elastības modulis (EN789), GPa	Lieces stingums, (E*I), KNm <sup>2</sup>	(E*I)/A, KNm <sup>2</sup>	(E*I)/A, relatīvi pret R8, %	(E*I)/A, relatīvi pret R8, %
Panelis 1	330	32,3	61,9	73,6	10,17	7,49	0,12	33,1	133,1
Panelis 2	330	31,7	61,9	73,6	10,02	7,37	0,12	32,9	132,9
Panelis 3	325	31,5	61,9	73,6	9,73	7,16	0,12	32,6	132,6
Paneļi 4 un 5	300	27,9	83,7	54,8	11,57	6,58	0,08	0	100

## VII. GEM SENDVIČPANEĻA APRĒKINS

Veicot skaitlisku sendvičpaneļu lieces aprēķinu galīgo elementu aprēķina programmā ANSYS v. 11, tika iegūti paneļa izlieces (7. att.) uz relatīvā virsmas pagarinājuma lielumi (8. att.). „ANSYS max.” un „ANSYS min.” apzīmē skaitliskās vērtības, kas iegūtas, izmantojot aprēķinā attiecīgi maksimālās vai minimālās elastības moduļa vērtības. Abos grafikos skaitliskie aprēķini tiek salīdzināti ar saplākšņa sendvičpaneļa eksperimentāli iegūtiem lieces testu rezultātiem. GEM aprēķinos tika izmantotas eksperimentāli iegūtas elastības moduļa vērtības, vienam finiera slānim pieņemot  $E_x = 16$  GPa šķiedru garenvirzienā un  $E_y = 0,5$  GPa šķiedru šķērsvirzienā.



7. att. Saplākšņa sendvičpaneļa skaitliskās (ANSYS) un eksperimentālās slodzes-deformāciju līknes.



8. att. Saplākšņa sendvičpaneļa skaitliskās (ANSYS) un eksperimentālās slodzes-šķiedru relatīvās deformācijas līknes.

Kā redzams 6. attēlā, ar galīgo elementu metodi aprēķinātā paneļa izliece ir eksperimentāli iegūto rezultātu robežās. Virsējo šķiedru relatīvā pagarinājuma vērtības skaitliskajam aprēķinam vidēji ir tikai par 10 % zemākas nekā eksperimentāli iegūtajam (skat. 7. att.).

Svarīgi atzīmēt, ka skaitliskā aprēķinā relatīvās deformācijas tiek mērītas galīgā elementa robežā, bet eksperimentā, izmantojot tenzorezistorus ar 20 mm bāzi, tiek iegūts vidējots relatīvo deformāciju nolasiņums.

## VIII. SECINĀJUMI

Veicot stiepes testus neliela izmēra bērza finiera paraugiem, noteiktas vienvirziena līmēta finiera mehāniskās īpašības. Noteikto elastības moduļu vidējās vērtības:  $E_x = 14,8$  GPa,  $E_y = 0,5$  GPa. Iegūtas mehānisko īpašību vērtības kā ievaddati tika iekļautas sendvičpaneļu skaitliskajos aprēķinos GEM datorprogrammā ANSYS.

Pētījums parādīja, ka skaitliski aprēķini sendvičpaneļiem ar viļņotu serdi nodrošina aprēķina rezultātu piederību eksperimentālo rezultātu kopai. Skaitlisko un eksperimentāli mērīto rezultātu atšķirības ir robežās no 5 līdz 15 %, kas, ņemot vērā koksnes neviendabīgo struktūru, var tikt uzskatīts par pieņemamu saplākšņa sendvičpaneļu izstrādei.

Tomēr tālākai optimizācijas modeļa izstrādei jāveic aprēķina modeļa papildu validācija ar eksperimentālo prototipu pārbaudēm plašākās ģeometriskos parametru robežās.

## PATEICĪBA

Šis darbs izstrādāts ar RTU 2010 FLPP/15 projekta "Laboratorijas mēroga sendviča konstrukciju ražošanas iekārtas izstrāde" finansiālu atbalstu. Autori arī izsaka pateicību uzņēmumam AS "Latvijas Finieris" par piegādātajiem materiāliem paneļu prototipēšanā.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

1. *Process for manufacturing corrugated plywood composites*. Ernest E. US patent 4816103, 1989, NY, B31F 1/22.
2. *Method of producing a corrugated construction unit*. Blyt C. F. US patent 5948198, 1999, BC, B27/D 1/08.
3. ANSYS Version 11. User Manual, Papenburg, USA, 2009.
4. *Wood Handbook: Wood as an engineering material. Specialty treatments*. General Technical Report 113. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, 1999, Chapter 4, p. 4–6.
5. Eurocode 5 *Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, ENV 1995-1-2:1994.
6. ASTM D3039 / D3039M – 08 *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*.
7. EN 789:2004. *Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of wood based panels*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
8. EN 310:2004. EN 789:2004. *Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of wood based Panels*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
9. Kalnins, K., Jekabsons, G., Zudrags, K., Beitlers, R. *Metamodels in optimisation of plywood sandwich Panels. Shell Structures: Theory and Applications*, Vol. 2, Pietraszkiewicz W. and Kreja I. (eds.), CRC press /Taylor & Francis Group, London, UK, 2009, p. 291–294.
10. G Series – *Optimum strain gage for the manufacture of transducers*. Germany, HBM GmbH. [skatīts 10.02.2011] Pieejams: <http://www.hbm.com/en/menu/products/strain-gages-accessories/strain-gages-for-stress-analysis/single/categorie/strain-gages-universal-foil-strain-gages/product/g-series/backPID/strain-gages-for-stress-analysis/>
11. Wu Q, Cai Z, Lee JN. Tensile and dimensional properties of wood strands made from plantation southern pine lumber. *For. Prod. J.*, 2005, vol. 55(2): pp. 87–92.

**Edgars Labans**, Master's degree student at the Faculty of Civil Engineering, and assistant at the Institute of Materials and Structures of the Riga Technical University. His main research interest lies in the field of plywood material and structural design. Previous work experience is related to construction design field.

Address: 6a Kipsalas iela, Riga, Latvia.

E-mail: edgars.labans@rtu.lv

**Kaspars Kalnins**, graduated from the Riga Technical University earning a Ph.D. in solid mechanics. K. Kalnins is the leading researcher at the Institute of Materials and Structures of the Riga Technical University. His main research interest lies in numerical analysis, optimisation and physical testing of composite materials. Recent publication: Kalniņš, K., Rikards, R., Auziņš, J., Bisagni, C., Abramovich, H., Degenhardt, R. Metamodeling Methodology for Postbuckling Simulation of Damaged Composite Stiffened Structures with Physical Validation. (International Journal of Structural

Stability and Dynamics. Vol. 10, No. 4 (2010), 705–716.) Address: 6a Kipsalas iela, Riga, Latvia.

E-mail: kaspars.kalnins@sigmanet.lv

**Kaspars Zudrags**, graduated from the Latvia University of Agriculture earning a Ph.D. degree in wood technology. He is the senior certification engineer in the Joint Stock Company "Latvijas Finieris AS". His main research interests include plywood production processes and advanced plywood composite design. Recent publications: Zudrags, K., Kalniņš, K., Jēkabsons, G., Ozoliņš, O. Bending Properties of Plywood I-core Sandwich Panels. (Proceedings of the 5th Meeting of the Nordic-Baltic Network in Wood Material Science and Engineering (WSE), 5th Meeting of the Nordic-Baltic Network in Wood Material Science and Engineering (WSE), Denmark, Copenhagen, 1st–2nd Oct., 2009, 169–175.).

Address: "Latvijas Finieris AS", 59 Bauskas iela, Riga, Latvia.

E-mail: zudragsk@finieris.lv

#### **Edgars Labans, Kaspars Kalniņš, Kaspars Zudrags. Testing and simulation of plywood sandwich panels with a corrugated core**

Application of the finite element method (FEM) simulation codes allows developing the efficient and innovative solutions for cross-ply laminate materials and structures as well as elaborating virtual testing under various loading conditions. However, in order to guarantee the accuracy of such methodology, pre-determined material properties and a precise parametric model of the structure validated with physical experiments are required. The aim of the present research is to determine the elastic properties of small-size birch veneer specimens and to use the acquired numerical values as input data for simulation of plywood sandwich panels with a corrugated core by FEM commercial code ANSYS. More than 250 unidirectional birch veneer specimens were tested in tension in order to assess the elastic and strength properties. The distance between the grips was assumed constantly 100 mm and was tested with the loading speed of 1mm/min until the specimen failure. Specimens with different thicknesses and surface adhesive treatments were used to observe the effect of production processes versus mechanical parameters of the birch veneer. The average unidirectional modulus of elasticity was estimated  $E_x = 14.8$  GPa with the average ultimate strength of 125 MPa. FEM commercial code ANSYS v.11 was used for computer simulation of four-point bending tests of the sandwich panels. The geometrical model of the panels was created with variable cross-section parameters and testing set-up mode options. The V-core plywood sandwich was modeled by using the 4-node shell element Shell 181. It was assumed that each ply has thickness of 1.35 mm. Moreover, stacking sequence of the plywood was modeled assuming that each layer is perpendicular to the upper and lower one. Validation of the FEM analysis results was performed using experimental tests for sandwich panels with a corrugated core in 4-point bending tests according to the EN 789 (2004). Relative deformations-strains of the structure were measured using strain-gauges (produced by HBM) attached on both outer surfaces of the panels and also on the corrugated core surface. The conclusion was drawn to narrow the confidence interval for the veneer mechanical properties once used in the design of plywood sandwich panels. Acquired numerical simulation values for sandwich panels were validated with the physical nature experiments, demonstrating that FEM parametrical model has high compatibility with nature tests and it could be successfully used for the design of 3D plywood structures.