

Saplākšņa sendvičpaneļa ar viļņotu serdi eksperimentālās pārbaudes un skaitliskā modelēšana

Edgars Labans, *Rīgas Tehniskā universitāte*, Kaspars Kalniņš, *Rīgas Tehniskā universitāte*, Kaspars Zudrags, *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 sp.*) finiera elastīgās īpašības stiepē vairāk kā 250 neliela izmēra finiera stiepes paraugiem. Paraugi izgatavoti ar dažādiem biezumiem un virsmas apstrādi, lai pētītu ražošanas procesu ietekmi uz finiera mehāniskajām īpašībām. Iegūtie rezultāti kalpo kā ievaddati 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 konfidences 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: saplākšnis, saplākšņa paneli, viļņota serdes struktūra, ANSYS, 4-punktu liece.

I. IEVADS

Pieaugot pieprasījumam pēc racionālas koksnes resursu izmantošanas un vienlaicīgi dabas aizsardzības, parādās vajadzība izstrādāt un ieviest ražošanā jauna tipa koksnes materiālus, kas ļautu racionālāk izmantot koksni, kā arī tās ražošanas blakus produktus. Kā viens no šādiem jauna tipa konstruktīviem risinājumiem varētu kļūt saplākšņa sendvičpaneli ar dažādas topoloģijas serdēm, piemēram, viļņotām saplākšņa loksnēm, 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 izmaksu ziņā šāds materiāls ir dārgāks par rūpniecisku saplākšni, transporta pārvadājumu nozarē tas varētu gūt zināmu pieprasījumu. Pateicoties samazinātam svaram, kas nepalielina konstrukcijas kopējo biezumu, tos iespējams izmantot kā kravas transporta (kravas auto, vilcienu, kuģu) klāja materiālu vai arī ražot atvieglotus vidēja tilpuma kravas konteinerus. Turklāt sendviča konstruktīvais risinājums ļauj bez lielas izmaksu kāpināšanas integrēt siltuma un skaņas izolācijas slāņus, kas padara šādus risinājumus tirgum pievilcīgus. Viļņota saplākšņa ražošanas iekārtas un paņēmieni

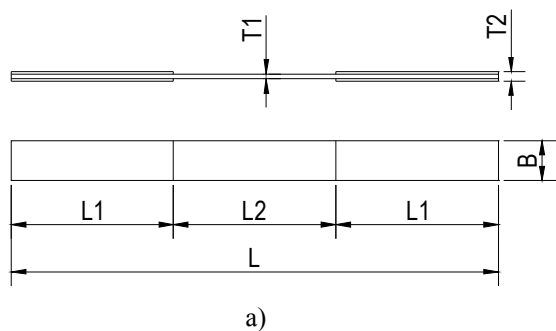
jau sen pieejami un aprakstīti ASV patentos Nr. 4816103 [1] un 5948198 [2]. Tomēr, lai uzprojektētu un ieviestu masveida ražošanā jauna tipa sendvičplātnes, ir nepieciešami turpmāki pētījumi saplākšņa darbības analīzē, novērtējot dažādu sloojuma veidu ietekmi, izmantojot skaitlisko aprēķinu datus, kā 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 geometrisko 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 sendviča paneļu izstrādē ir maz efektīvs. Nepieciešams veidot skaitlisku modeli, kurā materiāla īpašības ir 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 ražošanas faktoriem. Viens no šī pētījuma uzdevumiem bija noteikt bērza (*Betula sp.*) finiera slāņa mehāniskās īpašības neliela izmēra stiepes paraugiem un pārbaudīt to atbilstību turpmākiem aprēķiniem, izmantojot tās kā ievaddatus sendvičpaneļa ar viļņotu serdi aprēķina modelī.

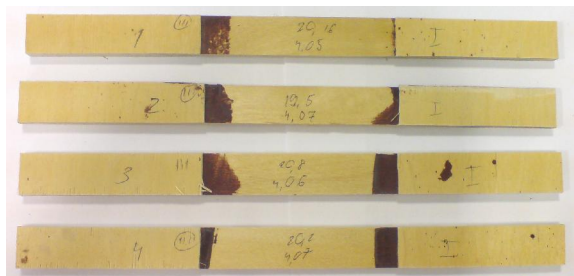
II. FINIERA PARAUGU TESTI

Lai noteiktu vienvirziena līmēta saplākšņa elastības īpašības, kuras kā izejas dati kalpo saplākšņa paneļu skaitliskajos aprēķinos, pētījumā veikti stiepes testi neliela izmēra bērza (*Betula sp.*) finiera paraugiem ar garumu $L=300$ mm un dažādiem platumiem $B=20; 25$ un 30 mm. Paraugu dimensijas (skatīt 1. attēlu) 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 T 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. a – parauga dimensijas; b- izgatavotie paraugi.

tika pievienotas uzlikas 10 cm attālumā – $L/1$ no parauga malām atbilstoši ASTM D3039. Uzlikas veidotas no finiera loksnes, kas ar šķiedru virzienā pielīmēta perpendikulāri parauga šķiedru virzienam.

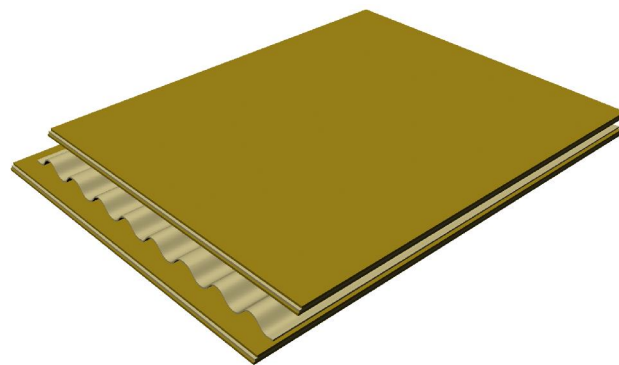
Tika izgatavoti gan paraugi ar garenisko šķiedru virzienu (elastības moduļa E_x noteikšanai), gan arī paraugi ar perpendikulāru šķiedru virzienu (elastības moduļa E_y noteikšanai). Paraugu stiepes testi veikti uz servohidrauliskās pārbaudes iekārtas INSTRON 8802 un INSTRON 8872. Iekārtu tehniskā specifikācija pieejama www.ims.rtu.lv. Deformāciju lielums mērīts ar INSTRON 2620 sērijas ekstenzometru, kā arī salīdzināts ar iekārtas nostiprinājumu pārvietojumu nolāstījumiem. Visi paraugi tika slogoti ar ātrumu 1mm/min. līdz to pilnīgai sagrūšanai, tādējādi nosakot arī paraugu graužošo spriegumu un relatīvo deformāciju apjomus. Kopumā tika notestēti aptuveni 220 paraugi ar garenisku šķiedru orientāciju. No tiem 120 finiera paraugi ar platumu 20 mm, 60 paraugi ar platumu 25 mm un 40 paraugi ar platumu 30 mm. Papildus notestēti aptuveni 50 paraugi ar šķērsu šķiedru orientāciju ar konstantu platumu 20 mm.

III. SENDVIČPANEĻU EKSPERIMENTĀLĀS PĀRBAUDES

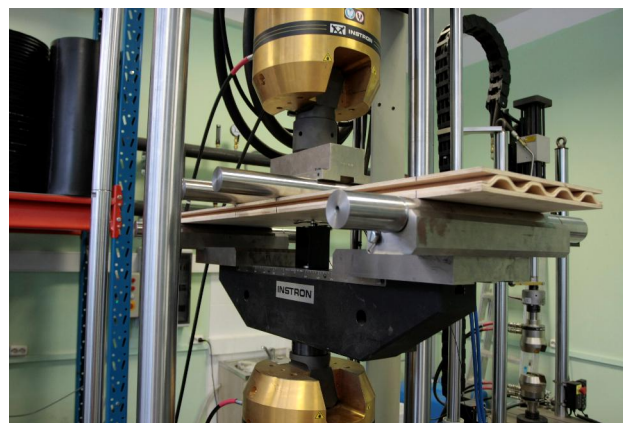
Pētījumā tika apskatīti saplākšņa sendvičpaneļi, veidoti no 5-slāņu saplākšņa virsmām un 4-slāņu viļņota saplākšņa serdes, kas pielīmēta pie virsmām.

Gofrēta serde (skat. 2. att.) nodrošina augstvērtīgu lieces stingumu gan serdes viļņu virzienā, gan perpendikulāri viļņu virzienam. Krokojums 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, kas tika novietoti nozīmīgākajās laiduma vietās. Papildus tika izmantoti LG1x tenzorezistori [10] (ražotājs HBM), kas pielīmēti 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 datorsimulācija veikta programmā ANSYS v. 11., kurā izveidots aprēķina modelis, ar maināmiem sendvičpaneļa šķērsriezuma ģeometrijas parametriem. Pirms sendvičpaneļu modelēšanas tika verificēti arī atsevišķu slāņu finiera 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 attiecībā viens pret otru. Vidējais elementu skaits uz vienu aprēķina modeli ~ 14000 elementi. Tīkla solis 1 cm. Aprēķina laiks uz datora ar Athlon X2 3 GHz procesoru - vidēji 4 min.

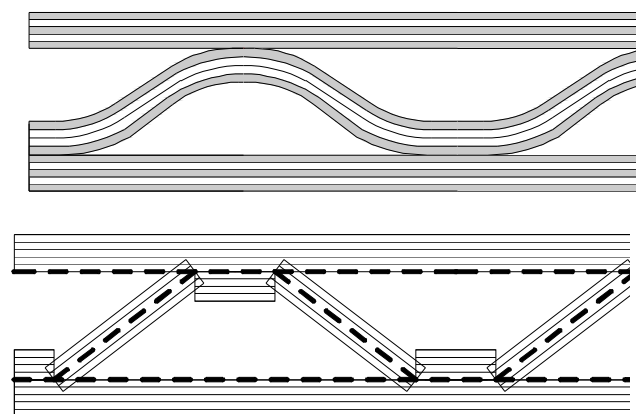
1. TABULA

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.	Panel 1	330	32.30	1200	82	5.6	4	6.5	6.5	/-/-/	/-/-/
2.	Panel 2	330	31.70	1200	82	5.6	4	6.5	6.5	/-/-/	/-/-/
3.	Panel 3	325	31.50	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 - piesaistes plakne 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 nepieciešams 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. Pārbaužu rezultāti uzrāda, ka vidējā elastības moduļa E_x vērtība paralēli līmētiem paraugiem ir 14.8 GPa, tai pašā laikā minimālās un maksimālās vērtības visiem paraugiem ir robežās no 11.65 – 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, piemēram, 3-slāņu paraugiem elastības modulis samazinās līdz vidējai vērtībai 13.26 GPa. Tas saistīts ar defektu ietekmes pieaugumu un finiera šķiedru mazāku sapresēšanas pakāpi parauga iekšpusē [11]. Līdzīgu tendenci samazināties elastības moduļim uzrāda arī paraugu platuma palielināšana no 20 līdz 30 mm.

Stabilākie un robustākie rezultāti no visiem testētajiem paraugiem tika iegūti paraugiem ar kopā salīmētām divām finiera kārtām. Elastības moduļa atšķirība starp 20 un 30 mm platiem paraugiem tikai ~ 3.5 %. Pārējiem pārbaudītajiem paraugiem atšķirība starp dažāda platuma paraugiem sastāda 5-15 %.

2. TABULA

BĒRZA FINIERA PARAUGU AR PARALĒLU ŠĶIEDRU ORIENTĀCIJU ELASTĪBAS MODUĻU E_x VĒRTĪBAS, [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

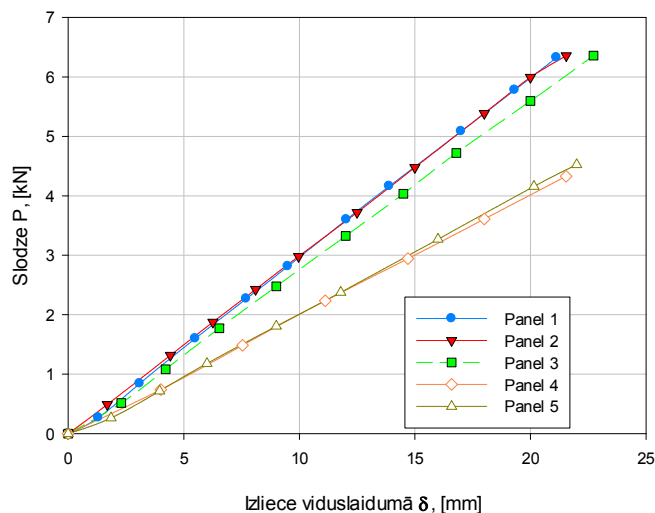
Vidējie graužošie spriegumi paraugiem ar garenisku šķiedru orientāciju ir 125 MPa (maksimālā vērtība 149 MPa, minimālā 104 MPa). Eksperimentā novērots, ka graužošajiem spriegumiem ir tendence palielināties, palielinoties parauga platumam. Rezultātu atšķirība starp paraugiem ar 20 mm un 30 mm platumu vidēji 10 %.

VI. SENDVIČPANEĻU EKSPERIMENTĀLĀS PĀRBAUDES

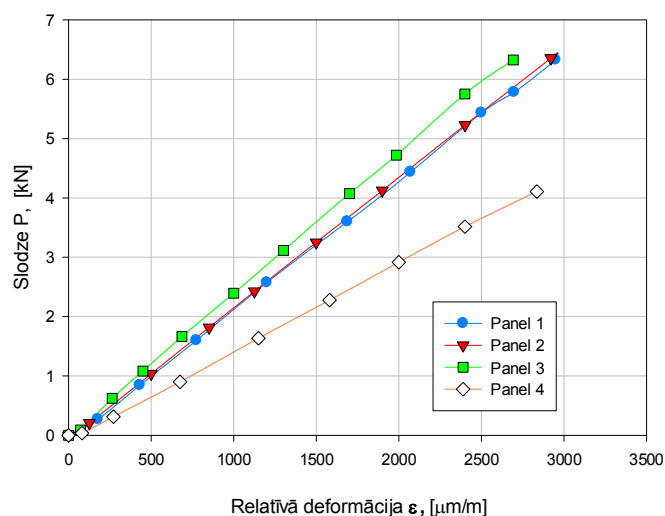
Veicot saplākšņa sendvičpaneļu testus 4-punktu liecē (atbilstoši EN 789), ir noteikta paneļu izliece un virsējo šķiedru relatīvais pagarinājums. Izmantojot iegūtos rezultātus, tika aprēķināts paneļu lieces elastības modulis un lieces stingums (skatīt 3. tabulā). Sendvičpaneļiem ar viļņotu kodolu iegūtie 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.). Kā redzams, sendvičpaneļu paraugu slodzes-deformācijas līknes uzrāda pilnībā elastīgu uzvedību viscaur līdz 3000 mikrometriem pret tekošo metru [$\mu\text{m}/\text{m}$] šķiedru relatīvajam pagarinājumam (skat 6. att.). Šāds relatīvais pagarinājums ir aptuveni ekvivalents 40 MPa normālsprīgumam, kas pēc stiepes paraugu testiem ir aptuveni viena ceturtdaļa daļa no materiāla sagrūšanas pretestības.

Tradicionāla saplākšņa plātne (*Panel 4*) ar pilnu šķēsgriezuma laukumu (kārtu izkārtojums *1-1-1-1-1-1-1-1-1-1*) tika pievienota 3. tabulā apkopotajiem datiem, lai uzskatāmāk attēlotu koksnes ekonomijas priekšrocības, izmantojot sendvičpaneļus. Tradicionālais saplākšņa paraugs *Panel 4* tika pieņemts par atskaites punktu jeb 100%, lai salīdzinātu lieces stinguma un izlietotā kokmateriāla tilpumu salīdzinājumā ar sendvičpaneļiem. Tādējādi, jo lielāka ir attiecība, jo lielāks ir 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 kā tradicionālais saplākšnis. Tas skaidrojams ar nelielu šķēsgriezuma laukumu, kā daļēji arī to, ka augstums šiem paneļiem izgatavošanas specifikas dēļ ir vidēji par 3.5 mm lielāks nekā standarta saplākšnim *Panel 4*.



5. att. Paneļu slogošanas testu slodzes un izlieces līknes



6. att. Paneļu slogošanas testu slodzes un relatīvā šķiedru pagarinājuma līknes.

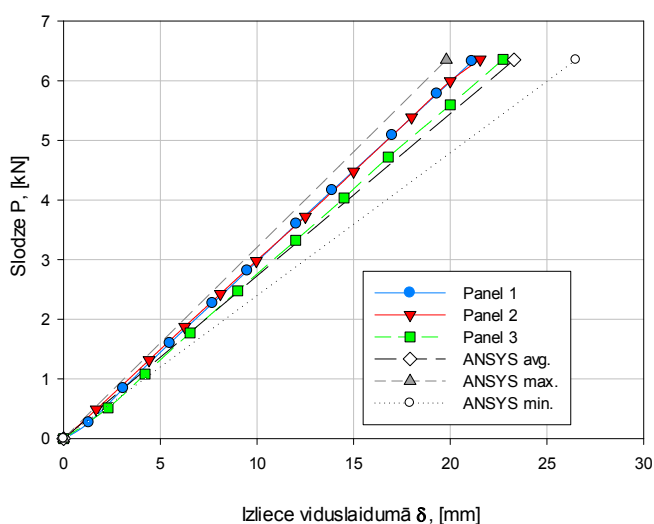
3. TABULA

SENDVIČPANEĻU AR VIĻŅOTAS SERDI UN TIPISKA SAPLĀKŠŅA MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU SALĪDZINĀJUMS.

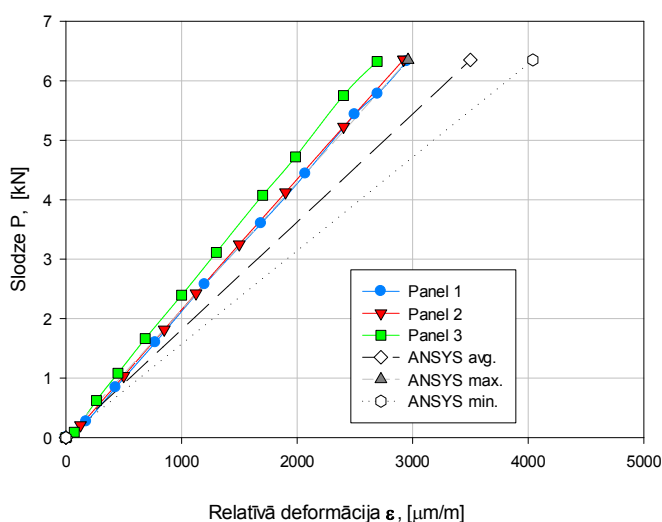
Plātnes apzīmējums	Paneļa platums, mm	Paneļa augstums, [mm]	Šķēsgriez. laukums, A , [cm^2]	Šķēsgriezuma inerces, I , moments, [cm^4]	Elastībasmodulis (EN789), [GPa]	Lieces Stingums, $(E \cdot I)$, [KNm^2]	$(E \cdot I)/A$, [KNm^2]	$(E \cdot I)/A$, relatīvi pret R8, %	$(E \cdot I)/A$, relatīvi pret R8, [%]
<i>Panel 1</i>	330	32.30	61.90	73.60	10.17	7.49	0.12	33.1	133.1
<i>Panel 2</i>	330	31.70	61.90	73.60	10.02	7.37	0.12	32.9	132.9
<i>Panel 3</i>	325	31.50	61.90	73.60	9.73	7.16	0.12	32.6	132.6
<i>Panel 4,5</i>	300	27.90	83.7	54.8	11.57	6.58	0.08	0.00	100

VII. GEM SENDVIČPANEĻA APRĒKINS

Veicot skaitlisku sendvičpaneļu ar viļņotu serdi lieces aprēķinu galīgo elementu aprēķina programmā ANSYS v 11. tika iegūti paneļa izlieces (skat 7. att.) uz relatīvā virsmas pagarinājuma lielumi (skat 8. att.). ANSYS max. un 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 skaitliskas ANSYS un eksperimentālas slodzes-deformāciju līknes



8. att. Saplākšņa sendvičpaneļa skaitliskas ANSYS un eksperimentālas slodzes-šķiedru relatīvā pagarinājuma līknes.

Kā redzams pēc grafika 6. attēlā, ar galīgo elementu metodi aprēķināta paneļa izliece ir eksperimentāli iegūto rezultātu robežās. Virsējo šķiedru relatīvā pagarinājuma vērtības skaitliskajam aprēķinam ir vidēji tikai par 10 % zemākas kā 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 nolasījums.

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 iekļauti sendvičpaneļu skaitliskajos aprēķinos GEM datorprogrammā ANSYS.

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

Tomēr tālākai optimizācijas modeļa izstrādei nepieciešama aprēķina modeļa papildus validācija ar eksperimentālo prototipu pārbaudēm plašākās ģeometrisku parametru robežās.

PATEICĪBA

Šis darbs izstrādāts ar RTU 2010 FLPP/15 projekta "Laboratorija mēroga sendviča konstrukciju ražošanas iekārtas izstrāde" finansiālu atbalstu.

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, Papeburg, 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, 4-6 lpp
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 PolymerMatrix 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, 291-294 lpp.
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 plantationsouthern pine lumber. For Prod J, 2005, 55(2): 87–92 lpp

Edgars Labans Born in Ludza 1986, currently M.sc. student at Riga Technical University faculty of civil engineering. Main research interest associated with plywood material and structural design. Currently working as an assistant in the Institute of Materials and Structures (Riga Technical University, 16/20 Azenes st. Riga, Latvia). Previous working experience related with construction design field.
E-mail: edgars.labans@rtu.lv

Kaspars Kalnins Born in Riga 1980, graduated from Riga Technical University earning Ph.D in solid mechanics. Main research interest associated with composite material numerical analysis, optimisation and physical testing. Leading researcher in the Institute of Materials and Structures (Riga Technical University, 16/20 Azenes st., Riga, Latvia).. Recent publications: 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 lpp.

E-mail: kaspars.kalnins@sigmanet.lv

Kaspars Zudrags Born in Sigulda 1977, graduated from Latvia University of Agriculture earning Ph.d degree in wood technology. Main research interest associated with plywood production processes and advanced plywood composite design. Senior certification engineer, AS "Latvijas Finieris" (59 Bauskas st., Riga, Latvia). 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, 1.-2. okt., 2009. - 169-175. lpp
E-mail: zudragsk@finieris.lv

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

Application of the finite element method (FEM) simulation codes allows to develop the efficient and innovative solutions for cross-ply laminate materials and structures as well as to elaborate virtual testing under various loading conditions. However to guarantee accuracy of such methodology pre-determined material properties and precise parametric model of the structure validated with physical experiments are required. The aim of present research is to determine the elastic properties of small size birch veneer specimens and use acquired numerical values as input data for simulation of plywood sandwich panel with 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 has been assumed constantly 100 mm and tested with loading speed of 1mm/min until the specimen failure. Specimens with different thicknesses and surface adhesive treatments have been used to observe the effect of production processes versus mechanical parameters of the birch veneer. The average unidirectional modulus of elasticity where estimated $E_x = 14.8$ GPa with average ultimate strength of 125MPa.

FEM commercial code ANSYS v.11. has been used for computer simulation of four point bending tests of the sandwich panel. Geometrical model of the panel was created with variable cross section parameters and testing set-up mode options. The V-core plywood sandwich has been modeled by using 4-node shell element SHELL 181. It was assumed that each ply has thickness of 1.35 mm. Moreover stacking sequence of the plywood has been modeled assuming that each layer is perpendicular to the upper and lower one. Validation of the FEM analysis results have been performed using experimental tests for sandwich panels with 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 panel and also on corrugated core surface.

The conclusion has been drawn to narrow the confidence bounds for the veneer mechanical properties once used in design of plywood sandwich panels. Acquired numerical simulation values for sandwich panel's have been validated with the physical nature experiments. It has been demonstrated that FEM parametrical model show high compatibility with nature tests and could be successfully used for design of 3D plywood structures.

Эдгарс Лабанс, Каспарс Калниньш, Каспарс Зудрагс. Проверка и симуляция сэндвич панелей из фанеры с гофрированным ядром

Использование расчетных компьютерных программ на базе метода конечных элементов (МКЭ) позволяет эффективно разрабатывать передовые материалы и конструкции, используя фанеру берёзовую как исходный материал, а также производить симуляции нагружения с разными конфигурациями нагрузок. Однако чтобы обеспечить точность такого метода нужно заранее определить свойства материала, из которого будет состоять склеенная конструкция, также нужна параметрическая модель конструктивного материала верифицирована лабораторными экспериментами. Цель исследования - определить эластичные свойства шпона, используя образцы небольшого размера, и использовать полученные данные как вводимые данные для параметрической модели сэндвич панели с гофрированным ядром в коммерческом пакете МКЭ ANSYS.

Было протестировано свыше 250 образцов берёзового шпона. Расстояние между зажимами составляет 100 мм. Тест проводился со скоростью 1 мм/мин до разрыва образца. Образцы с разной толщиной и обработкой поверхности были использованы чтобы оценить влияние производственных процессов на механические свойства шпона.

Для компьютерных симуляций тестов панелей на изгиб была использована коммерческая программа МКЭ ANSYS v.11. Параметрическая модель панели позволяет менять параметры сечения и конфигурацию нагружения. Сэндвич панель с гофрированным ядром (m-core) моделирован, используя 4-узловый конечный элемент SHELL 181. Было принято, что толщина шпона – 1.35 мм. При том ориентация каждого слоя перпендикулярна предыдущему. Валидация параметрической модели была произведена в лабораторных условиях, проверяя сэндвич панели с гофрированным ядром на изгиб в 4-точечном нагружении согласно EN 789 (2004). Относительные деформации на поверхностях панелей измерялись приклеенными тензорезисторами (НВМ) на обеих сторонах панели и на гофрированной середине.

В результате исследования были выявлены механические свойства материала, подходящие для проектирования сэндвич панелей из фанеры. Используя полученные данные, был определен интервал достоверия расчетов по сравнению с лабораторными экспериментами, прогнозируя изгиб и релятивную деформацию волокон древесины.