



**PROJEKTA**  
**„Paaugstinātas īpatnējās stiprības koksnes plātnes”**  
**NOSLĒGUMA ATSKAITE**

**Lauku atbalsta dienesta līguma numurs: Nr. 180909/S109**

Projekta pasūtītājs: LR ZM Lauku atbalsta dienests

Finansējums: Meža attīstības fonds

Izpildītājs: SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts”

Projekta vadītājs: Uldis Spulle

Direktors: Andrejs Domkins

**Jelgava 2009**

## SATURS

<b>PROJEKTA MĒRĶIS</b> .....	<b>3</b>
<b>PROJEKTĀ PLĀNOTIE DARBA UZDEVUMI</b> .....	<b>3</b>
<b>1 SAPLĀKŠŅI UN SAPLĀKŠŅU RAŽOŠANA- ESOŠAS SITUĀCIJAS APSKATS</b> .....	<b>4</b>
1.1 VISPĀRĒJI .....	4
1.2 KOKSNES PLĀTŅU MATERIĀLI TRANSPORTA INDUSTRIJĀ .....	6
1.3 PAAUGSTINĀTAS ĪPATNĒJĀS STIPRĪBAS UN TRĪSDIMENSIJU KOKSNES PLĀTNES UN RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJAS	7
1.3.1 Koksnes plātnes izgatavotas no zema blīvuma koksnes.....	8
1.3.2 Dobumu jeb ekstrūzijas koksnes plātnes.....	8
1.3.3 „Sendvič” veida paneļu plātnes ar homogēnu vidus kārtu- maksliģās šķiedras .....	8
1.3.4 „Sendvič” veida paneļu plātnes ar nehomogēnu vidus kārtu- dabīgās šķiedras .....	9
1.3.5 Tehnoloģisko rūpnieciskie piemēri un eksperimentālie mēģinājumi koksnes plātņu ražošanā.....	10
1.4 PIRMĀS NODAĻAS KOPSAVILKUMS.....	11
<b>2 BĒRZA SAPLĀKŠŅU UGUNREAĶIJAS UN UGUNSIKTURĪBAS ĪPAŠĪBU UZLABOŠANA</b> .....	<b>12</b>
2.1 VISPĀRĒJI .....	12
2.2 FENOLA – FORMALDEHĪDA SVEĶU ĪPAŠĪBU UZLABOŠANAS IESPĒJAS.....	15
2.2.1 Pamatizevielu ietekme uz fenola – formaldehīda sveķu kvalitāti.....	15
2.2.1.1 Fenols.....	15
2.2.1.2 Sārmi.....	15
2.2.1.3 Formaldehīds.....	15
2.2.1.4 Reakcijas paātrinātāji/ sacietinātāji .....	16
2.2.1.5 Pildvielas un plastifikatori .....	16
2.2.2 Lignīna izmantošana fenola- formaldehīda līmju ražošanā.....	17
2.2.3 Kukurūzu cietes un tanīnu izmantošanas iespējas fenola - formaldehīda sveķu ražošanā.....	19
2.2.4 Polibenzoksazīni – jauni augsti efektīvi termiski cietējoši fenola polimēri .....	20
2.2.5 Fenola - formaldehīda sveķu modifikācija ar uretānu un citu polimēru palīdzību .....	21
2.2.6 Fenola - formaldehīda sveķu modifikācija ar dikarbonskābju palīdzību .....	21
2.2.7 Nanomateriālu izmantošana fenola sveķu matricēs uzlabošanai.....	22
2.2.8 Dažādas sārnu un sāļu izmantošanas iespējas sacietēšanas procesa paātrināšanai un finieru ar paaugstinātu mitruma saturu līmēšanai.....	23
2.3 SAPLĀKŠŅU ĪPAŠĪBU UZLABOŠANAS IESPĒJAS .....	24
2.4 OTRĀS NODAĻAS KOPSAVILKUMS.....	29
<b>3. SAPLĀKŠŅI, SAPLĀKŠŅU SAVIENOJUMI UN 3D PLĀTŅU FIZIKĀLI MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU PĀRBAUDES</b> .....	<b>30</b>
3.1 VISPĀRĒJI .....	30
3.2 SAPLĀKŠŅU AR NESTANDARTA SAKLĀŠNAS SHĒMĀM SIZIKĀLI MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU NOTEIKŠANA UN IZVĒRTĒŠANA. SAPLĀKŠŅU SAVIENOŠANAS IESPĒJAS .....	30
3.3 TRĪSDIMENSIJU (3D) PLĀTŅU IZGATAVOŠANA, TEORĒTISKIE APRĒĶINI UN PRAKTISKIE FIZIKĀLI MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU PĒTĪJUMI .....	36
3.4 TEORĒTISKIE APRĒĶINIIZMANTOJOT DATORPROGRAMMAS ANSYS PAKETI, IEGŪTĀ MODEĻA VALIDĀCIJA UN PILOTTESTI.....	43
3.5 TREŠĀS NODAĻAS KOPSAVILKUMS.....	49
<b>4 MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU UZLABOŠANA AR NEKOKSNES MATERIĀLIEM- JAUNA VEIDA STIKLŠĶIEDRAS PRE-PREGU IZGATVOŠANA, TO APROBĀCIJA. JAUNIEGŪTĀ KOMPOZĪTMATERIĀLA FIZIKĀLI MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU NOTEIKŠANA UN IEGŪTO REZULTĀTU IZVĒRTĒŠANA</b> .....	<b>51</b>
4.1 VISPĀRĒJI .....	51
4.2 STIKLA ŠĶIEDRAS UN BĒRZA KOKSNES ADHĒZIJAS PĀRBAUDES .....	51
4.3 STIKLA ŠĶIEDRAS IZMANTOŠANAS IESPĒJAS SAPLĀKŠŅU MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU PAAUGSTINĀŠANAI .....	54
4.4 CETURTĀS NODAĻAS KOPSAVILKUMS .....	59
<b>5 KOKSNES PLĀTŅU AR PAAUGSTINĀTU ĪPATNĒJO STIPRĪBU RAŽOŠANAS PAŅĒMIENU IZSTRĀDE</b> .....	<b>60</b>
<b>6 PROJEKTA REALIZĀCIJAS KOPSAVILKUMS</b> .....	<b>61</b>
6.1 VISU NODAĻU KOPSAVILKUMS .....	61
6.2 PROJEKTA REZULTĀTĪVIE RĀDĪTĀJI .....	63
<b>7 IZMANTOTĀ LITERĀTŪRA</b> .....	<b>64</b>

## PROJEKTA MĒRĶIS

Projekta mērķis ir apvienot zinātnieku, saplākšņu ražotāju, transporta un ķīmiskās industrijas kompetences jaunu, inovatīvu saplākšņa produktu izstrādei ar pielietojumu transporta industrijā. Šāda veida produkts šobrīd tirgū netiek piedāvāts un tas spēs paaugstināt Latvijas saplākšņa ražotāja A/S „Latvijas Finieris” konkurētspēju pasaules tirgū. Īpašu vērību pievēršot koksnes racionālai izmantošanai un videi draudzīgai produktu izmantošanai.

## PROJEKTĀ PLĀNOTIE DARBA UZDEVUMI

- 1 Esošās situācijas apskats- saplākšņa tirgus un autobūvei domāto plātņu materiālu prasību apzināšana.
- 2 Bērze saplākšņu ugunsreakcijas un ugunsizturības īpašību uzlabošana, izmantojot dažādus pretuguns aizsardzības līdzekļus.
- 3 Trīsdimensiju kompozītmateriāla ar paaugstinātu īpatnējo stiprību parametru optimizācija. Fizikāli mehānisko īpašību noteikšana un izvērtēšana.
- 4 Saplākšņa īpašību uzlabošana ar citiem koksnes- kompozītmateriāliem, šūnu materiāliem un nekoksnes materiāliem- jauna veida stiklšķiedras pre-pregu izgatavošana, to aprobācija. Jauniegūtā kompozītmateriāla fizikāli mehānisko īpašību noteikšana un iegūto rezultātu izvērtēšana.
- 5 Koksnes plātņu ar paaugstinātu īpatnējo stiprību ražošanas paņēmieni un patentapieteikuma izstrāde.

# 1 SAPLĀKŠŅI UN SAPLĀKŠŅU RAŽOŠANA- ESOŠĀS SITUĀCIJAS APSKATS

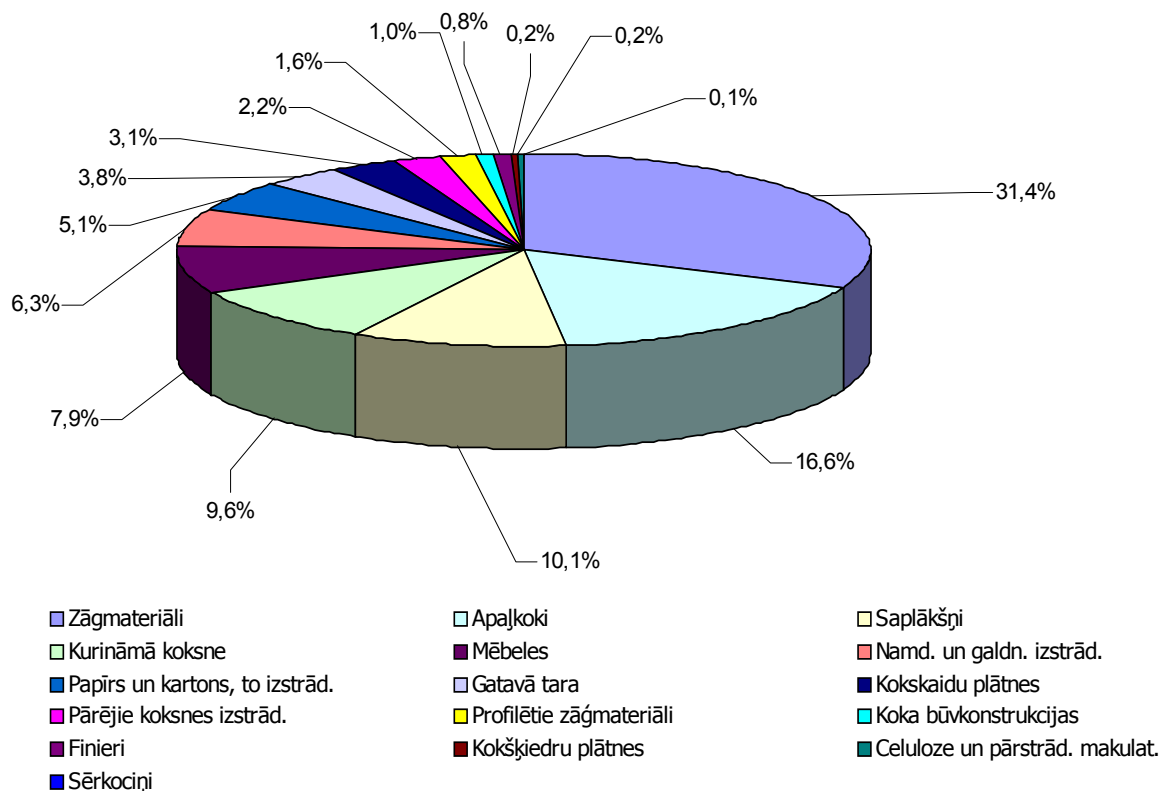
## 1.1 Vispārēji

Koksnes plātņu ražošana ietver vairāku veidu koksnes plātnes. FAOSTAT datu bāzes izdala kokskaidu plātņu, MDF (*Medium Density Fibreboard*), SDF (*Super Density Fibreboard*) un HDF (*High Density Fibreboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) plātnes un saplākšņus. Saplākšņa un OSB ražošana aizņem tikai katra 6% no visu koksnes plātņu apjoma, lielāko īpatsvaru šajā jomā dod kokskaidu plātnes– 63%, nākošā lielākā plātņu grupa ir MDF 21%, un vismazākais īpatsvars ir SDF un HDF 4%. Saplākšņu ražošana Eiropas valstīs no 2003. gada līdz 2007. gadam ir pieaugusi par gandrīz 5% jeb 160,7 miljoniem kubikmetru.

Saplākšņu ražošana ir viena no lielākajiem un ietekmīgākajiem kokapstrādes nozares apakšnozarēm arī Latvijā.

Šobrīd saplākšņu ražošanas apjomi sarūk, bet produkcijas daudzveidība palielinās, kas ir pozitīvs rādītājs, jo pieprasījums pēc specifiskiem plātņu veida materiāliem ir ar pieaugošu tendenci. Tas liek saplākšņu ražošanas uzņēmumam arvien vairāk investēt savai attīstībai- ražošanas paplašināšanai un tehnoloģiju modernizācijai ik gadus ieguldot arvien lielākus līdzekļus.

Saplākšņi Latvijā ieņem būtisku vietu kokmateriālu eksportā. 2007. gadā saplākšņa eksports bija 10,1 % (skat. 1.2 att.) (Meža nozare Latvijā, 2008).



**1.2 att. Koksnes un koksnes izstrādājumu eksporta bilance Latvijā (2007. gads)**

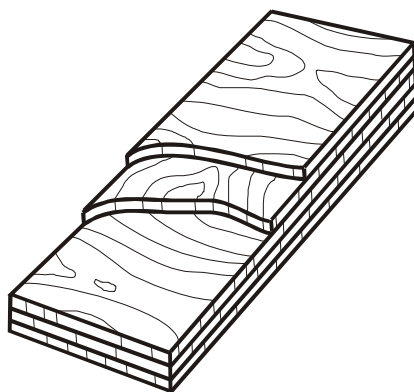
Šajā produkcijas veidā ietilpst visi saplākšņu ražošanā iegūstamie materiāli-standarta saplākšņi, kā arī dažāda profila materiāli- ar fenola filmām pārklātie saplākšņi, mitumizturīgie un saplākšņi ar nestandarta saklāšanas shēmām u.c.

Saplākšņu ražošanai Latvijā izmanto bērza koksnes lobītos finierus.

Atkarībā no šķiedru virziena, masīvai koksnei un tajā skaitā arī saplākšņiem ir liela mehānisko īpašību atšķirība, kas ierobežo šo koksnes materiālu pielietojuma iespējas.

Tāpēc viens no galvenajiem mērķiem, izgatavojot saplākšņus, ir izveidot to ar pēc iespējas mazāku īpašību atšķirību visos plātnes virzienos.

Klasiskajā ražošanas tehnoloģiskajā plūsmā lobītā finiera kārtas izvieto tā, lai koksnes šķiedru izvietojums finieros ir savstarpēji perpendikulārs attiecībā vienam pret otru (skat. 1.1 att.)



### **1.1 att. Finieru novietojums saplākšņos veidojot tos pēc klasiskās saklāšanas shēmas.**

Saplākšņus parasti saklāj no nepāra skaita finieru kārtām, lai tā īpašības būtu sabalansētas attiecībā pret centrālo kārtu vai asi, kurš dažos saplākšņu veidos var būt biezāks nekā pārējās finiera kārtas. Galvenie saplākšņu „spēlētāji” pasaulē ir Kanādas, ASV, Somijas, Krievijas, Brazīlijas, Indonēzijas, Malaizijas un Latvijas ražotāji. Saplākšnis, kas izgatavots katrā no šīm valstīm, būtiski atšķiras. Ziemeļamerikā ražotais saplākšnis tiek izgatavots lielākoties no priedes koksnes, tajā pat laikā Krievijas, Somijas un Latvijas saplākšnis galvenokārt tiek izgatavots no bērza koksnes. Latvijā ik gadu saražo 16% no kopējā pasaulē saražotā bērza koksnes saplākšņu apjoma.

Saplākšņiem ir augsta bīdes izturība un pateicoties augstajiem raksturlielumiem, no saplākšņiem var veidot gludi izliektas virsmas, izliektas/ieliektas virsmas un trīs dimensiju plātnes. Visas iepriekš minētās priekšrocības ir izmantojamas saplākšņu pielietojuma plašināšanai.

Saplākšņus var izmantot lielām nepārtrauktām virsmām un vienlaiduma saplākšņi var sasniegt 3 m garumu. Lielākiem laidumiem jāveic saplākšņu savienošana garumā, kas saistās ar papildus izzināšanas procesu, jo klasiskās masīvkoksnes savienošanas garumā shēmas, saplākšņu svienošanas gadījumā nedarbojas.

Koksnes plātņu ražošana ir viens no galvenajiem posmiem koksnei pievienotās vērtības radīšanā un ieņem nozīmīgu vietu kokrūpniecības nozarē ES un arī Latvijā.

Šīs produkcijas ražošanu nepieciešams paplašināt, vienlaicīgi nodrošinot tai augstu kvalitāti un zemu pašizmaksu, lai uzlabotu konkurētspēju un nodrošinātu pieprasījumu.

Kokmateriālu patēriņa bilance pasaulē rāda, ka pieprasījums pēc saplākšņa kā konstrukciju materiāla būvniecībā, mēbeļu ražošanā un citās tautsaimniecības nozarēs pieaug, kas varētu būt izskaidrojams ar līmēto materiālu priekšrocībām:

- iespēja paaugstināt formas noturību;
- augstas fizikāli mehāniskās īpašības;
- vieglāk izmantot, jo iespējams iegūt dažādas vēlamās formas;
- paaugstinās ķīmiskā un bioloģiskā noturība;
- vizuālais izskats.

Kā zināms 1 m<sup>3</sup> saplākšņu ražošanai patērē aptuveni 2,5 m<sup>3</sup> koksnes (Качалин, 1984) un samazinot šo patēriņu rodas iespēja rast jaunus risinājumus un paplašināt produkcijas klāstu, tādējādi atrodot jaunus nišas produktus un radot materiālus ar augstāku pievienoto vērtību.

Lai izmantotu saplākšni kā konstrukciju materiālu, iebūvējot to nesošajās konstrukcijās, kas sakar materiālu pielietojumu reglamentētajā jomā, ir jānodrošina tam fizikāli mehānisko īpašību izpildi, kā arī jāizpilda nepieciešamās ugunsdrošības prasības. Lielo koksnes detaļu plašā pielietojamība būvniecībā rada nepieciešamību raksturot tieši liela šķērsriezuma paraugu mehāniskās īpašības, tādēļ pasaulē ir veikti plaši pētījumi ar liela šķērsriezuma paraugiem, kā arī noteikta mēroga faktora ietekme.

Zinot nesošās slodzes dažādos konstruktīvajos risinājumos un saplākšņu robežstiprības rādītājus, varam izvēlēties saplākšņus ar attiecīgu biežumu un samazināt šo materiālu patēriņu. Taču ir vēl kāda iespēja kā paaugstināt lietderīgo pielietojumu un veikt materiāla ietaupījumu- veidot saplākšņus ar finieru nestandarta saklāšanas shēmām, kā arī vēl lielāks materiālu patēriņa samazinājums ir veicams, izveidojot dažādas tukšķermeņu plātnes, kurās kā profilētie elementi var tikt izmantoti- kartona šūnu materiāli, šūnu materiālu pildvielas, kā arī liekti līmēti saplākšņu elementi.

## **1.2 Koksnes plātņu materiāli transporta industrijā**

Pieaugot konkurencei nepieciešams ražot racionālākus un konkurētspējīgākus izstrādājumus. Viens no galvenajiem attīstības virzieniem ir paaugstinātas īpatnējās stiprības plātņu izstrāde un ieviešana ražošanā. Pasaulē mēbeļrūpniecības nozarē pēdējos gadus aktīvi izstrādā vieglas masas koksnes plātnes, taču to galvenais trūkums ir maza slodzes nestspēja un līdz ar to ir apgrūtināts pielietojums citās nozarēs. Salīdzinot ar citām koksnes plātnēm, bērza saplākšņiem piemīt augstas mehāniskās īpašības, arī relatīvi liela masa. Sekojot produktu attīstības pasaules tendencēm, nepieciešams radīt jaunus, konkurētspējīgus koksnes plātņu materiālus ar paaugstinātu īpatnējo stiprību. Latvijā finierrūpniecība jau vairāk kā gadsimtu ir viena no koksnes kompleksas izmantošanas virzītājiem, jo finieri, līdztekus klasiskajai saplākšņu izgatavošanai, ir lielisks izejmateriāls dažādu nišas produktu un kompozītmateriālu izgatavošanai. Tādēļ attīstoties citām nozarēm, it īpaši ķīmiskajai rūpniecībai un materiālu un konstrukciju īpašību modelēšanas un kontroles sistēmām, finieru izmantošanai nepārtraukti rodas jaunas iespējas. Viena no perspektīvākajām jaunu līmēto finieru materiālu pielietojuma nozarēm ir transporta industrija, kura pateicoties tirgus globalizācijai, kļūst par vienu no vadošajām globālajā

ekonomikā. Jaunos produktus paredzams pozicionēt tirgū kā speciālu produktu ar augstu pievienoto vērtību un paaugstinātu īpatnējo lieces stiprību. Tas saskan ar „Latvijas mežsaimniecības un uz koksnes resursiem balstītas rūpniecības tehnoloģiskās platformas vīzijā 2030” minētajiem stratēģisko pētījumu virzieniem.

Paaugstinātas īpatnējās stiprības plātņu pielietojums ir gan ēku būvniecībā (norobežojošās un pārseguma konstrukcijās), gan transporta industrijā (transportlīdzekļu grīdās).

40% no Latvijā ražotā bērza saplākšņa tiek izmantots tieši transporta industrijā, pateicoties saplākšņa īpašībām un augstajiem stiprības rādītājiem. Tomēr bērza saplākšņa blīvums ir virs  $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Līdz ar to jāizstrādā plātne, kas nodrošinātu bērza saplākšņa esošo stiprības rādītājus, taču būtu vieglāka. Tas būtu ieguvums transporta industrijas nozarei.

Katru gadu transporta industrijas vajadzībām tiek izgatavoti aizvien vairāk piekabju un puspiekabju. Vislielākais pieaugums bija 2002. un 2004. gadā ap 10%, 2003. un 2005. gadā pieaugums bija 6,5%, 2006. gadā 7,6%, bet 2007. gadā gandrīz 4%. Lielākā ražotājvalsts ir Vācija 307 tūkstoši vienību 2007. gadā, tad Apvienotā Karaliste ar gandrīz 3 reizes mazāku ražošanas apjomu 105 tūkstoši vienību un Dānija 72 tūkstoši vienību.

Pēc Eurostat datiem E-27 valstīs 2007. gadā kopā tika izgatavotas 1,25 miljoni piekabju un puspiekabju (PRODCOM kods 3420 2300).

Tādās valstīs kā Apvienotā Karaliste, Dānija, Nīderlande, Beļģija piekabju un puspiekabju ražošanas apjomi samazinās, bet Zviedrijā, Čehijā un Slovākija ražošanas apjomi ir pieauguši būtiski. Vācija saglabā līdera pozīcijas piekabju ražošanā un 2007. gadā sasniedz 18,5% pieaugumu pret iepriekšējo gadu.

Vienas 13 metru garas piekabes grīdas izgatavošanai ir vajadzīgs apmēram  $1\text{m}^3$  saplākšņu. Ja pieņem, ka puspiekabes ir vismaz 25%, tad aptuvenus 27 mm bieza saplākšņa patēriņš varētu būt vairāk kā 1 miljons  $\text{m}^3$  gadā tikai Eiropas Savienības valstīs vien.

Ja runa iet par īpašībām, kuras nosaka plātņu pielietošanas iespējas transporta industrijā, tad tās ir ugunsdrošība, nodilumizturība, mehāniskās īpašības. Taču visbūtiskākā materiāla īpašība, ja šis materiāls tiek izmantots kā konstrukciju materiāls, tajā skaitā transporta industrija, ir tā īpatnējā stiprība jeb stiprības un masas attiecība.

### **1.3 Paaugstinātas īpatnējās stiprības un trīsdimensiju koksnes plātnes un ražošanas tehnoloģijas**

Viens no galvenajiem vieglas masas koksnes plātņu pielietojuma veidiem ir mēbeļu ražošana, izolācijas materiāls būvniecībā un transporta industrijā. Ražojot vieglas masas koksnes plātnes ražotājs sastopas ar sekojošām problēmām:

- zemām mehāniskām īpašībām;
- augstu ražošanas cenu.

Ņemot vērā augstāk minēto, vieglas masas koksnes plātņu efektīva ražošana paņēmienu izstrāde vēl joprojām ieņem nozīmīgu lomu koksnes plātņu industrijā.

### 1.3.1 Koksnes plātnes izgatavotas no zema blīvuma koksnes

„Sendvič” plātņu vidus kārtu var veidot arī no koksnes materiāliem, pārsvarā masīvkoku lamelēm. Tādejādi var iegūt tradicionāli zināmo galdnieku plātņi vai arī vienu no jaunākiem izstrādājumiem, kuram vidusdaļā atrodas maza blīvuma koku sugu lameles novietotas tā, lai to šķiedru virziens būtu perpendikulārs plātnes plaknei. Piemēram, firmas Moralt Tischlerplatten GmbH & CO KG produkts Balsaboard Lightwood, kas sastāv no perpendikulāri orientētas (*end grain*) balsas koksnes vidusdaļas aplīmētas ar saplākšņiem vai MDF.

### 1.3.2 Dobumu jeb ekstrūzijas koksnes plātnes

Kokskaidu plātņu ar dobumiem galvenais izmantošanas veids ir to izmantošana kā pildelementus vai izolācijas materiālu, piemēram, durvju ražošanā. Atkarībā no dobumu lieluma plātņu blīvums ir no 200- 550 kg·m<sup>-3</sup>. Viens no galvenajiem trūkumiem ir zemas mehāniskās īpašības.

### 1.3.3 „Sendvič” veida paneļu plātnes ar homogēnu vidus kārtu- makslīgās šķiedras

Pielietojot nekoksnes materiālus koksnes plātņu mehānisko īpašību uzlabošana svarīgs faktors ir šī nekoksnes materiāla īpašību līdzība ar koksnī. Piemēram, aplīmējot koksnes produktu ar nekoksnes materiālu un pēc tam iedarbojoties uz šī jaunā kompozītmateriāla ar straujām temperatūras svārstībām ir ļoti nozīmīgi, lai abu šo materiālu termālās izplešanās koeficients maksimāli sakristu. Pretējā gadījumā var notikt līmes šuves sagrāve termālo deformāciju rezultātā. Viens no iespējamajiem veidiem kā uzlabot mehāniskās īpašības koksnes plātnēm var būt stikla šķiedras diegu ielīmēšana koksnes plātnē visā tās šķērsgrīzumā.

Stikla šķiedra ir komercializēta pagājušā gadsimta 30-jos gados. Galvenā sastāvdaļa silīcija dioksīds SiO<sub>2</sub>. Stikla šķiedrai piemīt augsta cietība, korozijas izturība, viegla masa un elastība un šis materiāls nav dārgs. Stikla šķiedra iedalās atkarībā no tās īpašībām E stikla šķiedra- elektro industrijā, S- ar augstu stiprību, C- augstu korozijas izturību, D diaelektriska.

Oglekļa šķiedra ir komercializēta pagājušā gadsimta 60-jos gados. Oglekļa šķiedras ir ar augstu stiprību, ķīmisko izturību un mazu masu. Oglekļa šķiedras ir daudzārt stiprākas un stingākas nekā stikla šķiedra, taču tās ir arī daudzārt dārgākas. Ņemot vērā tehnoloģiju attīstību un pieprasījuma palielināšanos pēc oglekļa šķiedrām sagaidāms, ka turpmākos gados to cena varētu daudzārtīgi pazemināties, tādejādi nodrošinot jaunas tirgus nišas. Oglekļa šķiedru cena salīdzinoši augsta no 20 līdz 60 € par vienu kilogramu.

Polimēru šķiedrām piemīt augsta stiprība un stingums. Viena no plašāk izplatītākām ir Kevlara šķiedras, kuru komercializācija sākās pagājušā gadsimta 80 gados. Mūsdienās tās pielieto dažādās konstrukcijās, ballistikās aizsardzības produktos, virvju un kabeļu ražošanā. Salīdzinot ar stikla šķiedrām, aramīda šķiedru cena ir daudz augstāka no 20 līdz 35 € par vienu kilogramu.

Galvenie faktori, kas ierobežo makslīgo šķiedru izmantošanu koksnes plātņu mehānisko īpašību uzlabošanai:

- materiāla augstas izmaksas. Augsta materiāla izmaksas ir viens no galvenajiem iemesliem, kas liedz izgatavot izmaksu efektīvu produktu ar augstām mehāniskām īpašībām. Tāpēc šādi kompozīti pārsvarā tiek lietoti, jau esošu



konstrukciju pastiprināšanai vai nozarēs, kur nepieciešama augsta stiprības un masas attiecība (piem. kuģubūve, aviobūve);

- tehnoloģijas izmaksas. Vai ir iespējams ieviest izmaksu efektīvu produkta ražošanu?
- dzīves cikla izvērtēšana. Ir nepieciešami pētījumi kā dažādi faktori (piem. vides- temperatūras un mitruma izmaiņas, materiāla novecošana u.c. faktori) ietekmē koksnes plātnes uzlabotas ar nekoksnes materiāliem;
- materiāla adhēzija. Viens no svarīgākām kompozītmateriāla īpašībām ir „sistēmas” stabilitāte, izmantojot esošās tehnoloģijas un nepalielinot laikietilpību.

#### **1.3.4 „Sendvič” veida paneļu plātnes ar nehomogēnu vidus kārtu- dabīgās šķiedras**

Pasaulē ir ļoti daudz dažādu dabīgo šķiedru- dzīvnieku, augu un minerālšķiedras. Puse no pasaulē iegūtajiem šķiedrmateriāliem ir augu šķiedras- kokvilna, kapoks, džuta, kenafs, sizals u.c. Augu šķiedras kā armētājšķiedras kompozītmateriālos sāktas izmantot salīdzinoši nesen. Neierobežotie dabas resursi, laba pārstrādājamība, biosadalīšanās spēja un diezgan zemās cenas, pietiekami augstas īpatnējās stiprības un elastības moduļa vērtības ir tās priekšrocības, kas nodrošina augu šķiedras saturošu kompozītu pielietošanas strauju attīstību. Dabīgās šķiedras, protams, nevar līdzināties piemēram, oglekļa šķiedrām stiprības ziņā, tomēr tās ir daudzsolša alternatīva stikla šķiedrām (Alann, 2006; Rigoberto et. al., 2004).

Dabīgo šķiedru kompozītmateriālus plaši izmanto automobiļu rūpniecībā apdarei un nenesošās konstrukcijās, bet pēdējā laikā arī daļēji slogotās konstrukcijās, piemēram, automobiļu iekšējo daļu ražošanā no dabīgo šķiedru un polipropilēna materiāliem un korpusa ārējās daļās no dabīgo šķiedru un poliestera sveķu materiāliem. Pateicoties dabīgo šķiedru izmantošanai, var tikt samazināts automobiļu daļu svars, vairāk nekā tad, ja tiek izmantota stikla šķiedra, kā arī enerģijas patēriņš ražošanai var tikt samazināts pat par 80%.

Lins pasaulē pazīstams jau sen. Lina mehāniskās īpašības tos dara par vienu no perspektīvākajām šķiedrām stikla šķiedras aizvietošanai.

Izgatavojot kompozītmateriālus, linu šķiedras labāk saistās ar termocietējošo sveķu matricām, kas ir dārgākas, tādēļ tiek meklētas iespējas palielināt linu šķiedru saistību ar termokūstošajām plastmasām, kas ir lētākas. Neapstrādātas linu šķiedras mitros apstākļos arī ievērojami saista ūdeni un uzbriest, formas nestabilitātes dēļ tās kompozītmateriālos var radīt mikroplaisiņas, tādējādi pasliktinot kompozītmateriāla mehāniskās īpašības. Lai palielinātu saistību starp linu šķiedrām un sveķiem un, lai palielinātu linu šķiedru izturību un samazinātu to hidrofilās īpašības, iespējams apstrādāt gan pašas šķiedras, gan sveķus ar speciālām ķīmiskām vielām (Alann, 2006).

Kaņepju šķiedra tāpat kā lins arī ir lietota ļoti sen. Pašlaik to iegūst vairākās Eiropas valstīs- Itālijā, Polijā, Spānijā, Vācijā, Rumānijā, Ungārijā, Francijā un Latvijā. Zemās cenas un labu atsevišķu specifisku īpašību dēļ kaņepju šķiedras ir potenciāla alternatīva stikla šķiedrām. Formas un struktūras ziņā kaņepju šķiedras ir līdzīgas linu šķiedrām, lignīna saturs tajās nedaudz augstāks kā linu šķiedrām, tāpēc tās ir stiprākas. Atdalīšana no auga līdzīga linu šķiedras iegūšanai: ar mērcēšanas, žāvēšanas, kulstišanas un sukāšanas palīdzību, tomēr to atdalīt mehāniski ir vieglāk kā linu šķiedru. Salīdzinājumā ar

linu, izturīgāka pret temperatūras, UV starojuma un mikroorganismu iedarbību, spīdīgāka, saista vairāk mitrumu.

### **1.3.5 Tehnoloģiski rūpnieciskie piemēri un eksperimentālie mēģinājumi koksnes plātņu ražošanā**

Saplākšņu plātnes slāņi katrs pilda savu lomu slodzes uzņemšanā. Virsmas slānis uzņem slodzi un novada to uz pārējo plātņi, tas visvairāk pakļauts spiedes spriegumiem, mehāniskai bojāšanai un dilšanai, tādēļ to vēlams veidot no izturīgākiem, blīvākiem materiāliem. Slodzes sadalīšanas slānis vienmērīgāk izkļiedē slodzi no tās koncentrēšanās vietām, tādēļ parasti tiek veidots no finiera slāņa, kura šķiedru virziens perpendikulārs plātnes garenvirzienam. Vidusslāņa (šeit vidusslānis ir domātas visas pārējās splākšņa kārtas izņemot virsējo slāni) uzdevums ir uzņemt un nest bīdes spriegumus, arī palielināt plātnes stiprību, vēlams nepalielinot ievērojami plātņu masu. Stiprību var daļēji palielināt, palielinot plātnes biezumu, kas saistās ar lietderīgā iznākuma samazinājumu un papildus izmaksām attiecinot uz vienu kubikmetru gatvās produkcijas.

Trīs dimensiju plātnes plaši pazīstamas un ir pielietotas kokapstrādes nozares galveno konkurentu vidū- plastmasas un metāla industrijā, kur tās izmanto vieglu plātņu ražošanā, tādejādi samazinot izstrādājumu svaru. Ņemot vērā kokapstrādes nozares attīstības tendences, trīsdimensiju koksnes plātņu ražošanas ieviešana palīdzētu:

- samazināt izejmateriālu patēriņu;
- būtu iespējams pielietot zemākas kvalitātes materiālu (ja plātnes tiek ražotas no sasmalcinātas koksnes- skaidām, šķiedrām utt.);
- samazināt līmvielas patēriņu.

Trīsdimensiju plātņu ražošanas negatīvie aspekti:

- var palielināties līmvielas patēriņš, gadījumā ja - kokskaidu vai kokšķiedru trīs dimensijas plātnes aizstāj masīvkoka vai splākšņa plātnes;
- sarežģīts ražošanas process- augstas ražošanas izmaksas.

Trīs dimensiju plātņu pielietošana prasa precīzi apzināties pielietojuma sfērā esošās prasības, kā arī jāņem vērā, ka izstrādājot jaunu materiālu tā īpašības mainās un pastāv iespēja, ka materiāls izpilda visas prasības, kas ir uzstādītas līdz šim izmantotam materiālam, taču ir mainījusies kāda būtiska īpašība, kas līdz šim izmantojamam materiālam bijusi pašsaprotama un tādejādi var „piemirst” to izvērtēt jaunajam materiālam.

Viens no galvenajiem trūkumiem trīsdimensiju plātņu ražošanā ir sarežģītais ražošanas process. Izgatavojot trīsdimensiju liekti līmētās splākšņa detaļas darbojos virkne ierobežojumu:

- liekuma rādiuss;
- finieru biezums un šķiedru orientācija;
- gatavās detaļas forma un izmēri;
- u.c.

## 1.4 Pirmās nodaļas kopsavilkums

Mēbeļrūpniecības nozare pēdējos gadus aktīvi ir iesaistījusies samazinātas masas koksnes plātņu izstrādē, taču to galvenais trūkums ir maza nestspēja, kas samazina to pielietojuma iespējas citās nozarēs. Salīdzinot ar šīm un citām koksnes plātnēm, Latvijā ražotajam bērza koksnes saplāksnim piemīt augstas mehāniskās īpašības, bet arī relatīvi liela tilpummasa. Sekojot produktu attīstības tendencēm pasaulē, nepieciešams radīt jaunus, konkurētspējīgus koksnes plātņu materiālus ar paaugstinātu īpatnējo stiprību, radot produktus ar paaugstinātu pievienoto vērtību. Attīstoties citām nozarēm, it īpaši ķīmiskajai rūpniecībai un materiālu un konstrukciju īpašību modelēšanas un kontroles sistēmām, finieru izmantošanai nepārtraukti rodas jaunas iespējas. Paaugstinātas īpatnējās stiprības plātņu pielietojums ir gan ēku būvniecībā (norobežojošās un pārseguma konstrukcijās), gan transporta industrijā (transportlīdzekļu grīdās).

Daudzās publikācijās ir atzīmēta koksnes produktu mehānisko īpašību uzlabošanas iespēja, kombinējot tos ar nekoksnes materiāliem.

Kā viens no tādiem veidiem ir kombinācija ar stikla šķiedru. Pagājušā gadsimta 70.ajos gados ir veikti vairāki pētījumi ar mērķi novērtēt stikla šķiedras pielietošanas iespējas kopā ar koksni.

Viena no tirgus nišām saplākšņa pielietojumam ir transporta industrija. Taču to izmantošana šajā nišā saistās ar papildus prasībām attiecībā uz materiāla īpašībām. Materiālam jāizpilda prasības attiecībā uz uguns liesmas, dūmu un to toksiskām īpašībām. Jābūt salīdzinoši vieglam, bet nezaudējot mehāniskās īpašības. Materiālam jābūt iespējam savienot to garumā, ja ir nepieciešams liela laiduma materiāls.

Bez praktiskām materiālu mehānisko īpašību uzlabošanas iespējām, kā arī, lai veiktu uzlabotā materiāla īpašību pārbaudes ir dažāda veida datorprogrammas, kuras izmantojamas iepriekš minēto īpašību noskaidrošanai. Aprēķina programmatūra ANSYS izveidota, lai mainīgie ģeometriskie parametri varētu tikt parametriski mainīti rūpnieciski ražota saplākšņa klāja ģeometrijas apgabalos.

Nemot vērā iepriekš minētos apsvērumus ir jāveic plašs pētījums par saplākšņu materiālu pielietošanas iespējām transporta industrijā, izgatvojot paraugus, aplīmējot ar stikla šķiedru un nosakot fizikāli- mehāniskās īpašības, novērtējot ugunsizturības prasības un apskatot tās paaugstināšanas iespējas. Jāizstrādā iespējamie saplākšņu savienošanas garumā risinājumi, kā arī jāapskata un jāizstrādā trīsdimensiju plātņu prototipi un jāveic īpašību izpēte. Jārisina izveidotās paaugstinātas stiprības plātņu tehnoloģiskie parametri un jāizstrādā ražošanas paņēmieni.

## 2 BĒRZA SAPLĀKŠŅU UGUNSREAKCIJAS UN UGUNSIKTURĪBAS ĪPAŠĪBU UZLABOŠANA

### 2.1 Vispārēji

Trūkst izpratnes par dažādu pārbaudītu rezultātu un to interpretācijas atbilstību reālajiem materiāla ekspluatācijas apstākļiem. Ļoti reti kāds materiāls tiek pielietots atsevišķi no citiem materiāliem, tāpēc ir svarīgi apzināties kā „uzvedas” dažādu materiālu komplekss. Šajā gadījumā, ja materiāli tiek pielietoti reglamentētajā jomā un transporta industrija ietilps šajā jomā, tad visiem materiāliem, kas tiek izmantoti dotajā kominācijā, ir jāizpilda dotās ugunsdrošības prasības. Dotajā gadījumā šīm prasībām jāatbilst gan lobītajam bērza finierim, gan arī sintētiskajiem fenola- formaldehīda sveķiem.

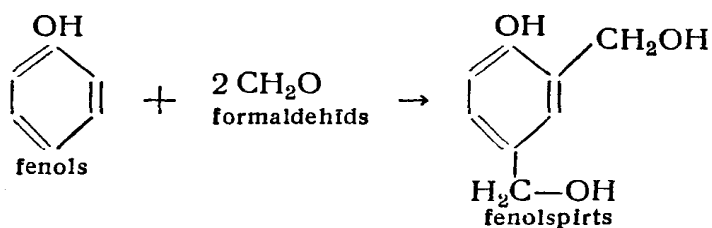
Fenola sveķi vēl joprojām 100 gadus pēc to izgudrošanas ir pieprasīti dažādu materiālu ražošanā, sākot ar patēriņa priekšmetiem un būvniecību un beidzot ar augstu tehnoloģiju kosmisko industriju, kaut arī tiek izgudroti arvien jauni termiski cietējošo līmju veidi, citi augsta snieguma polimēri un jaunās paaudzes materiāli, kuru dažas īpašības ir pilnīgākas. Latvijā fenola- formaldehīda sveķi visvairāk tiek izgatavoti dažādu koksnes produktu ražošanas vajadzībām.

Fenola līmēm piemīt liela mehāniskā stiprība, karstumizturība, izmēru stabilitāte un izturība pret dažādu šķīdinātāju, skābju un mitruma iedarbību, kā arī tām ir maza sākotnējā viskozitāte (Moubarik et al., 2009). Fenola sveķi cietē mēreni augstu temperatūru ietekmē. Cietēšanas pamatā ir kondensācijas mehānisms. Procesā rodas gaistošie savienojumi, tādēļ jāpielieto spiediens jeb presēšana, lai sacietējušais materiāls nesaturētu tukšumus. Nepieciešamība sacietināšanai lietot katalizatorus un ierobežotais uzglabāšanas ilgums istabas temperatūrā var tikt uzskatīti par šo līmju trūkumiem. Salīdzinot ar daudziem pazīstamiem termiski stabiliem polimēriem, fenola sveķu termiski-oksidatīvā stabilitāte ir zema. Vēl viens trūkums- pēc sacietēšanas iegūtais polimērs, ja tas nav modificēts, ir samērā trausls, tādēļ, ka nekustīgās aromātiskās vienības, ko cieši satur kopā īsās metilēna saites, matricu dara neelastīgu (Nair, 2004; Кардашов, 1980).

Ir divi galvenie fenola sveķu tipi: novolaki un rezoli. Novolaku tipa polimēri tiek iegūti fenola un formaldehīda kondensācijas reakcijā skābos apstākļos fenola pārkūmā un radušās molekulas ir lineāras, bet rezolu tipa sveķi tiek gatavoti bāziskā vidē formaldehīda pārkūmā un iegūst sazarotas makromolekulas.

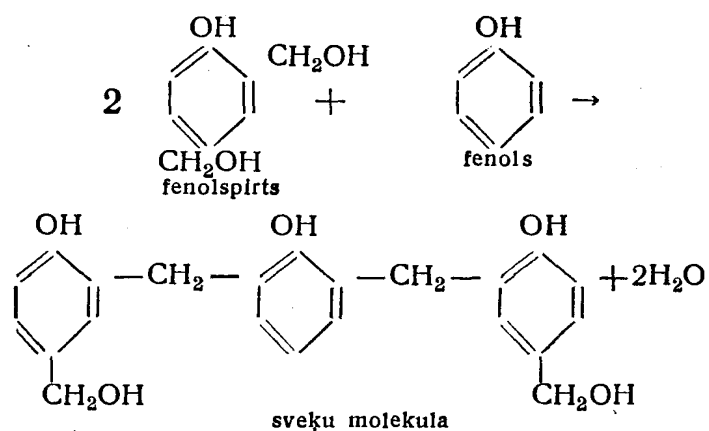
Rezolu tipa sveķi pieder pie vecākajiem sintētiskajiem polimēriem. Tos plaši lieto laminātu, lējumu kompozīciju, līmju un virsmas pārklājumu iegūšanai. Koksnes produktu, īpaši saplākšņa ražošana ir viena no galvenajām rūpniecības nozarēm, kurās rezolu tipa fenolu sveķi tiek izmantoti lielos apjomos. To galvenais trūkums ir ievērojamais trauslums un zema triecienizturība pēc sacietēšanas. Fenola - formaldehīda rezolu ķīmiskā struktūra un hidroksimetilgrupu klātbūtne, kuras ir īpaši reaģētspējīgas, tomēr dod iespēju veikt ķīmiskas modifikācijas, lai novērstu šos nevēlamos trūkumus, radot iespējas iegūt jaunus materiālus ar uzlabotām īpašībām un jaunām pielietojuma iespējām (Zmihorska-Gotfryd, 2004). Turpmāk apskatā uzmanība galvenokārt pievērsta rezolu tipa sveķiem un pētījumiem par to modifikācijas iespējām.

Rezolu tipa sveķi tiek iegūti fenola un formaldehīda kondensācijas reakcijā sarmainu katalizatoru klātbūtnē pie formaldehīda molārā pārkūma. Sākumā veidojas fenolspirti jeb fenola metilolatvasinājumi (skat. 1.3 att.).



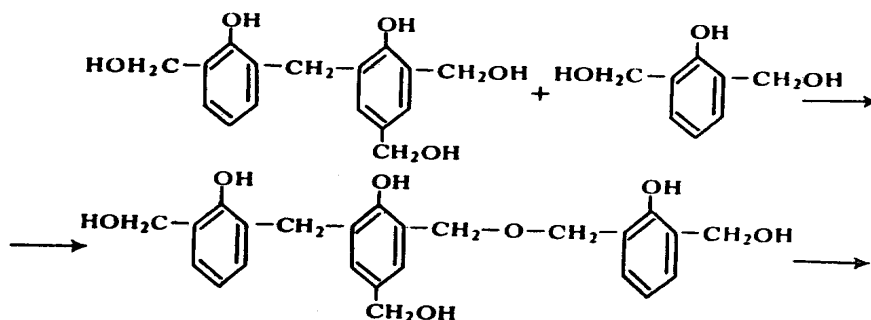
### 1.3 att. Fenolspirta veidošanās no fenola un formaldehīda.

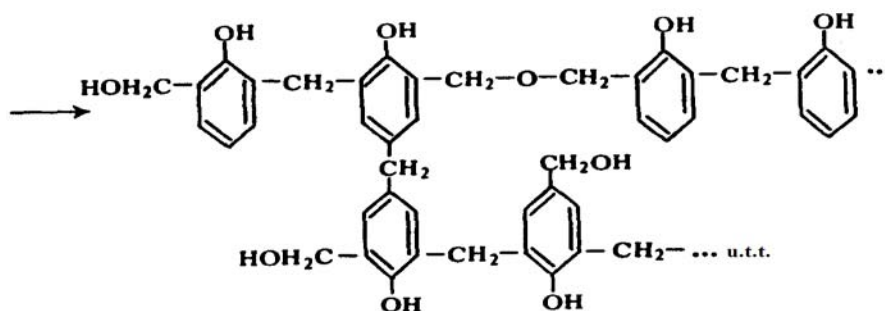
Paaugstinot temperatūru virs 40 °C, fenolspirti polikondensējas- reaģē gan savā starpā, gan ar brīvo fenolu (skat. 1.4 att.).



### 1.4 att. Sveķu molekulas veidošanās fenolspirta un fenola reakcijas rezultātā.

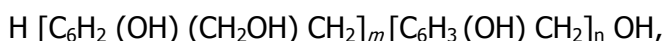
Izdalās arī ūdens, kas veidojas no metilolgrupas hidroksildaljas un benzola gredzena neaizvietotajiem ūdeņraža atomiem. Tālāk oksimetilfenolu savstarpējās iedarbības rezultātā veidojas dimetilēnēteru saites (-CH<sub>3</sub>-O-CH<sub>3</sub>-). Rezola sveķu rašanās ir daudzu, bieži vien vienlaicīgi notiekošu reakciju rezultāts (skat. 1.5 att.) (Surna et al., 1965; Кондратьев, 1988).





**1.5 att. Rezolu sveķu veidošanās mehānisms**  
(Surna et al., 1965; Кондратьев, 1988).

Rezoli ir lineāru un sazarotu produktu maisījums, kuru kopīgā formula ir:



kur  $n = 2, 5,$

$m = 4-10.$

Sildot rezoli sacietē, t.i. pārvēršas telpiskas struktūras polimēros. Rezolu tipa sveķu sacietēšanas gaitā izšķir trīs stadijas.

**A stadijā**, kuru dēvē arī par rezolu stadiju, oligomērs pēc savām fizikālajām īpašībām ir līdzīgs novolaku oligomēram, tādēļ, ka tāpat kā novolaks tas kūst un šķīst sārmos, spirtā un acetonā. Bet, atšķirībā no novolaka, rezols ir nestabils produkts, kurš karsēšanas rezultātā pāriet nekūstošā un nešķīstošā stāvoklī.

**B stadijā** polimērs, kuru dēvē par rezitolu, tikai daļēji šķīst spirtā un acetonā, nekūst, bet vēl saglabā spēju kļūt mīkstākam (sildot pāriet augstelastīgā, kaučukam līdzīgā stāvoklī) un uzbriest šķīdinātājos.

**C stadijā**, kas ir pēdējā sacietēšanas procesā, polimērs, ko sauc par rezītu, ir nekūstošs un nešķīstošs produkts, kurš sildot nekļūst mīkstāks un neuzbriest šķīdinātājos. Rezīta stadijā polimēra struktūra ir ar ļoti atšķirīgiem posmiem un tā telpiskā uzbūve ir ļoti sarežģīta.

Rezolu tipa sveķi iedalāmi divās grupās- sveķi, kas koksni līmē un sacietē paaugstinātās temperatūrās un sveķi, kas cietē normālās temperatūrās. Sveķu līmējošās īpašības ietekmē molekulmasa. Piemēram, sveķi ar molekulmasu no 300 līdz 500 vienībām līmsavienojumiem nodrošina vislielāko izturību. Izmainot kondensācijas pamatapstākļus, var dažādot rezolu sveķu molekulmasu un īpašības. Ražojot impregnēšanas sveķus plēvjuveida līmējamo materiālu „filmu” izgatavošanai, izmanto mazviskozus un mazmolekulārus rezolu tipa sveķus, bet saplākšņa līmēšanai šādi sveķi neder, jo tie pārāk dziļi iesūcas koksne, kas samazina līmējuma kvalitāti (Кардашов, 1980; Кондратьев, 1988).

## **2.2 Fenola- formaldehīda sveķu īpašību uzlabošanas iespējas**

### **2.2.1 Pamatizevielu ietekme uz fenola- formaldehīda sveķu kvalitāti**

#### **2.2.1.1 Fenols**

Kā fenolu komponentu galvenokārt lieto pašu fenolu, krezolus, ksilenolus un arī tā saucamos summāros fenolus, kurus iegūst akmeņogļu, slānekļu vai koksnes sausās pārtvaices procesā un kuri satur pāri par 30 visdažādāko fenolu. Atsevišķos fenolus iegūst, frakcionēti pārtvaicējot akmeņogļu, slānekļu vai koka darvas fenolu frakciju. vai arī to iegūstot sintētiski no benzola. Daļēji fenolus sintētiskajās līmēs var aizvietot ar lignīnu, tādējādi pazeminot līmju pašizmaksu (Surna et al., 1965). Par lignīna izmantošanu vairāk 2.2.2 apakšnodalā.

Fenola daudzums sveķu sastāvā arī ir būtisks- tam palielinoties, samazinās sacietēšanas ātrums, pieaug plastiskums līmēšanas procesā un nedaudz palielinās šuves elastība pēc sacietēšanas (Surna et al., 1965) . Sveķos brīvā fenola klātesamība palielina līmsavienojumu adhezīvo izturību, kas saistīts ar fenola plastificējošo iedarbību. Novērots, ka brīvā fenola daudzuma palielinājums sveķos veicina telpiskās struktūras biežuma pieaugumu un sacietējušo sveķu mehānisko īpašību paaugstināšanos. Fenols arī inhibē oligomēra oksidatīvo destruktiju, tomēr fenola toksiskums ierobežo šādu sveķu izmantošanas iespējas (Кондратьев et.al., 1988).

#### **2.2.1.2 Sārmi**

Kā sārmu katalizators rezolu sveķu izgatavošanā visbiežāk tiek lietots nātrija hidroksīds (NaOH), bet dažreiz tiek izmantoti arī bārija, magnija vai amonija hidroksīdi, heksametilēntetramīns (urotropīns) u.c. trešjie amīni. Katalizatora un fenola attiecība ir atkarīga no sveķu pielietojuma veida (Surna et al., 1965; Кондратьев, 1988) .

Piemēram, amonija hidroksīdu ievada 25% ūdens šķīduma veidā 3...6% no fenola daudzuma un lieto spirtā šķīstošo sveķu iegūšanai. Atšķirībā no nātrija sārma amonjaka ietekmē rodas spilgti dzeltena krāsa, sveķi nav sajaucami ar ūdeni, bet labi šķīst spirtā. Bārija un magnija hidroksīds tiek lietots, lai iegūtu auksti cietējošos rezolu sveķus. Bārija hidroksīda ( $Ba(OH)_2$ ) klātbūtnē parasti rodas sveķu ūdens emulsija ar labām līmējošām īpašībām (Surna et al., 1965; Кондратьев, 1988).

Hexametilēntetramīna un amonjaka savstarpējās iedarbības rezultātā tiek iegūti rezolu tipa sveķi ar zemu kondensācijas pakāpi un lielu brīvā fenola daudzumu.

Ir arī pētījumi par kālija hidroksīda izmantošanu rezolu sveķu ražošanā (vairāk 2.2.8. apakšnodalā).

#### **2.2.1.3 Formaldehīds**

Uz gatavās produkcijas kvalitāti ietekme ir arī izmantotā formaldehīda kvalitātei, kas ir atkarīga no uzglabāšanas apstākļiem, konkrētāk no apkārtējās vides temperatūras. Zemā temperatūrā notiek n-formaldehīda veidošanās un izgulsnēšanās. Rezultātā augšējos slāņos formaldehīda koncentrācija samazinās, bet apakšējos palielinās. Negatīva ietekme ir arī pārāk augstām temperatūrām- tās veicina formaldehīda oksidēšanos līdz skudrskābei, kā rezultātā samazinās formaldehīda saturs un pazeminās pH (Кондратьев, 1988) .

Dažreiz formaldehīdu sintētiskajās līmēs daļēji aizvieto ar furfuroļu – koksnes un lauksaimniecības atkritumu pārstrādes produktu (Surna et al., 1965). Sintētisko sveķu izgatavošanā kā formaldehīda komponents reizēm tiek izmantots heksametilēntetramīns jeb urotropīns  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ , lai regulētu vides pH kondensācijas procesa laikā, kā arī novolaku sacietināšanā (Кондратьев, 1988) .

#### **2.2.1.4 Reakcijas paātrinātāji/ sacietinātāji**

Sacietinātāju pielietošana nodrošina nepieciešamo saistvielas polikondensācijas ātrumu un dziļumu.

Paātrinātāji pa lielāku daļu paši piedalās sacietēšanas procesā. Kā paātrinātājus lieto galvenokārt rezorcīnu un rezorcīna- formaldehīda sveķus. Dažādos pētījumos secināts, ka fenola- formaldehīda sacietēšanu ietekmē arī dažādi neorganiskie oksidētāji, kā, piemēram, mangāna un svina dioksīds, amonija persulfāts, kālija permanganāts u.t.t. Šie sacietinātāji vienlaicīgi palielina līmējuma izturību. Presēšanas temperatūra pēc paātrinātāju ievadīšanas var tikt pazemināta (Surna et al., 1965).

Fenola- formaldehīda sveķu sacietēšanas ilgums var tikt samazināts, arī izmantojot sārmu metālu hidroksīdus, sārmu metālu vāju skābju ūdenī šķīstošos sāļus vai polivalento metālu ūdenī šķīstošos karbonātus. Somijā (1988. gada avots) kā sacietinātājs sveķiem kokskaidu plātņu izgatavošanai izmantots kālija karbonāts, bet tas paaugstina plātņu higroskopiskumu, tādēļ tiek arī lietoti organiskie cietinātāji- izocianāti. Tie ne tikai palielina sacietēšanas ātrumu, bet arī samazina līmvielas uzsūkšanu, kas uzlabo skaidu sasveķošanu un paketes piepresēšanu.

Skābajā sacietināšanā atsevišķām sveķu markām kā paātrinātājus izmanto sulfoskābes. Kā efektīvi sacietinātāji tiek minēti nātrija bihromāta- karbamīda- ūdens maisījums (1:1:1) un amonija bihromāta- karbamīda- ūdens maisījums (1:1:3) vai arī to kombinācija (Кондратьев, 1988) .

Arī antiseptiķi, piedevas ugunsizturības palielināšanai, stabilizatori kā ķīmiski savienojumi var ietekmēt reakciju norisi un gatavā produkta kvalitāti.

#### **2.2.1.5 Pildvielas un plastifikatori**

Pildvielas palīdz regulēt līmeju reoloģiskās īpašības: viskozitāti, lipīgumu, koksnes mitrināšanu, līmes iesūkšanās pakāpi un patēriņu. Pildvielas var arī uzlabot līmes elastību un samazināt spriegumus, kas rodas rukuma rezultātā.

Pēc iedarbības veida ar sveķiem pildvielas dalās inertajās un aktīvajās:

- inertās pildvielas ir minerālas izcelsmes, kas nešķīst un nereaģē ar sveķiem-kaolīns, ģipsis, krīts, fosfogipsis, cements, silikagels u.t.t.;
- aktīvās ir organiskas izcelsmes pildvielas, kas spējīgas uzbriest un stāties ķīmiskās reakcijās ar sveķiem. Pie šādām pildvielām pieskaitāmi koksnes milti, hidrolīzes lignīns un lignīna milti, celulozes ēteri, ciete un tās atvasinājumi, riekstu čaumalu milti, Kvebraho ekstrakts u.c.

Īpaši varētu pieminēt nātrija karboksimetilcelulozi, kas uzlabo lipīgumu, adhēziju. Papildus pievienojot etilēnglikolu, dietilēnglikolu, palielinās līmes elastīgums un stiprība (Кондратьев, 1988) .



Kā elastīguma palielinātājus fenola- formaldehīda oligomēru modificēšanai vēl izmanto dažādas citas vielas- elastomērus, termoplastus, elementorganiskos u.c. savienojumus (Кардашов, 1980).

Kā pildvielas fenola- formaldehīda sveķiem minētas arī: stroncija karbonāts, vara oksīds, kobalta oksīds, pulverveida nerūsējošais tērauds. Pildvielas ietekmē līmju īpašības. Kā fenola sveķu plastifikātorus var izmantot polimērus uz fosfonitrihlorīdu bāzes un dažādus polihidroksiaromātiskos savienojumus. Šiem materiāliem piemīt labas adhēzijas spējas un tie nesamazina līmju termoizturību, bet paaugstina ugunsizturību (Петрова. 1977).

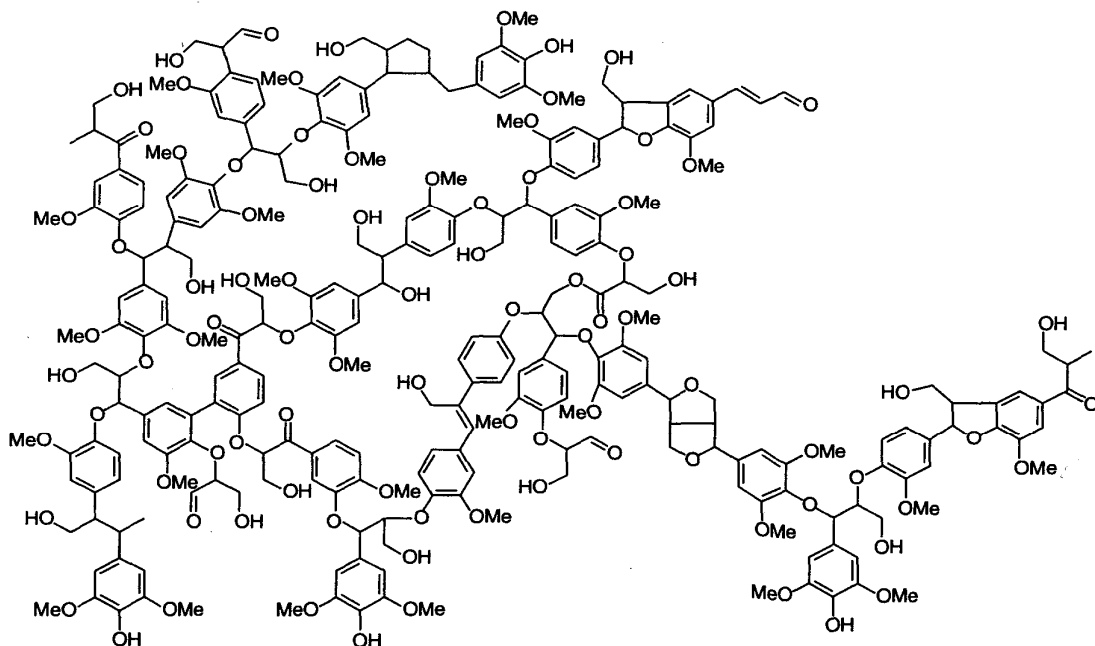
### **2.2.2 Lignīna izmantošana fenola- formaldehīda līmju ražošanā**

Fenola - formaldehīda sveķu mīnuss ir to augstā cena, tādēļ tiek meklētas iespējas sintēzē izmantot dabīgas un lētākas, no atjaunojamajiem resursiem iegūtas izejvielas. Pasaulē tiek veikti pētījumi par fenola- formaldehīda sastāvdaļu aizvietošanu ar:

- lignīnu;
- lignosulfonātiem;
- „*organosolved*” lignīnu;
- tanīniem;
- cietēm u.c. izejvielām.

Lignīns pēc celulozes ir otrs uz Zemeslodes visplašāk sastopamais dabīgais polimērs un kā izejviela interesē daudzas ražošanas nozares, kurās tiek izmantots no naftas iegūtais fenols, jo fosilās rezerves arvien vairāk samazinās un pasaulē pieaug tendence izmantot atjaunojamās dabas resursus. No koksnes un augiem iegūtais lignīns tiek uzskatīts par potenciālu biofenola avotu, lai aizvietotu no naftas iegūto fenolu.

Lignīns ir amorfa aromātiska viela, un tas nešķīst ūdenī un parastajos organiskajos šķīdinātājos. Šūnapvalkā izgulsnējoties starp celulozes micellām, lignīns darbojas līdzīgi betonam starp dzelzs armatūru - celuloze ir stiepes izturīga, bet lignīns šūnapvalku padara spiedes izturīgu. Šādu procesu, kad šūnapvalkā starp celulozes mikrofibrillām uzkrājas lignīns, sauc par šūnapvalka pārkoksnēšanos jeb lignifikāciju. Lignīns šūnapvalkus pasargā arī no enzīmu un mikroorganismu iedarbības. Koksni apstrādājot ar nātrija bisulfātu un sērskābi, lignīnu var atdalīt no celulozes. Šo procesu sauc par atkoksnēšanu un to izmanto papīra rūpniecībā (<http://priede.bf.lu.lv/grozs/...>).



**1.6 att. Dižskābarža lignīna struktūra (Wool, 2005).**

Lignīns ir amorfs trīsdimensionāls fenil-propanola polimērs, kas augā sintezējas no 3 fenilpropanoliem- p-kumaril spirta (p-hidroksi-fenilpropanola), koniferil spirta (gvajacil-propanola) un sinapil spirta (siringil-propanola). Šie fenil- propanoli galvenokārt ir saistīti ar 2 tipu saitēm: kondensācijas un ēteru saitēm, no kurām ēteru saites ir dominējošās (skat. 1.6 att.). Šos trīs monomērus var atdalīt termokīmiskās degradācijas (pirolīzes un sašķidrināšanas) ceļā, iegūstot monofenolu produktus.

Ir veikti daudzi pētījumi par to, kā fenola sveķu līmēs iekļaut lignīnu, bet diemžēl fenola - formaldehīda līmju sintēzes procesā lignīna reaģētspēja ar formaldehīdu ir vājāka kā fenolam. To daļēji var uzlabot, lignīnu iepriekš apstrādājot, piemēram, ar fenolēšanas vai metiolēšanas metodēm.

Kā lignīna avots labāki varētu būt skujkoki, piemēram, priedes, jo skujkokos esošais lignīns satur vairāk gvajakola vienību, kas ir reaģētspējīgākas par siringilvienībām, turklāt lignīna saturs skujkokos ir augstāks nekā lapkokos vai lauksaimniecības augu pārpalikumos (Wang, 2009).

Pētījumā (Wang et al. 2009) par fenola aizvietošanu ar lignīnu FF rezola sveķu ražošanā izmantots ar organiskajiem šķīdinātājiem no priedes zāģu skaidām ekstrahēts (*organosolv*) lignīns. Fenols tika aizvietots dažādās proporcijās- no 25 līdz 75 svara procentiem. Sveķu sastāvā lignīna saturam pieaugot, pieauga gan vidējais molekulsvars, gan polidispersitāte. Arī sacietēšanas laiks nedaudz pieauga, jo lignīna reaģētspēja ir vājāka, tomēr interesanti, ka tad, kad aizvietotais daudzums bija mazāks par 50% (t.i. 25% lignīna un 75% fenola vai 40% lignīna un 60% fenola), lignīna- fenola- formaldehīda rezolu sveķu sacietēšana noritēja zemākā temperatūrā, salīdzinot ar sveķiem bez lignīna piejaukuma. Līdzīgi novērojumi bijuši agrāk arī citu pētnieku pētījumos. Ja sveķos pārākumā ir fenols, termiskās sacietēšanas reakcijas nosaka fenola reaktivitāte, bet nelielais lignīna piejaukums, kuram ir daudz fenilpropāna vienību, labvēlīgi ietekmē termisko sacietēšanu, bet, ja pārākumā ir lignīns, kas procesa norisi ietekmē ar savu daudz vājāko reaktivitāti, tad termiskās cietēšanas process tiek aizkavēts.

Ir zināms, ka „*organosolv*” procesā ar etanola- ūdens šķīdinātāju iegūtais lignīns satur daudz hemicelulozes (t.i. ogļhidrātu) piejaukumu. Tika salīdzināts, kāda ir atšķirība sveķu cietēšanā, tiem pievienojot attīrītu (no ogļhidrātiem un citiem piejaukumiem) vai neattīrītu lignīnu. Ar neattīrītu lignīnu termiskās cietēšanas reakcijas norisinājās ātrāk. Novēroja arī, ka jo augstāks lignīna saturs sveķos, jo vairāk samazinās sveķu termiskā stabilitāte, tomēr sveķu izturību pret termisko ietekmi būtiski var uzlabot, lignīnu pirms pievienošanas sveķu ražošanā attīrot (Wang, 2009).

### **2.2.3 Kukurūzu cietes un tanīnu izmantošanas iespējas fenola- formaldehīda sveķu ražošanā**

Cietes priekšrocības ir tās zemā cena, plašā pieejamība, dabiskā izcelsme un nekaitīgums. Koka līmēs ciete tiek izmantota iekšējās lietojamu materiālu līmēšanai. Ir izstrādātas līmju receptes arī āra apstākļos izmantojamu koksnes materiālu līmēšanai, cietes pievienojot fenola- formaldehīda un karbamīda- formaldehīda līmēs (Moubarik et al., 2009).

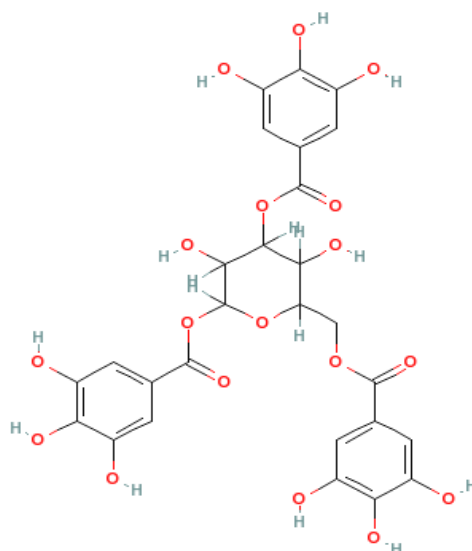
Arī par tanīnu izmantošanas iespējām interese pieaug. Tanīni ir dabiskas izcelsmes fenolu savienojumi, kuru pielietojanu ķīmiskajā rūpniecībā būtu izdevīgi paplašināt.

Tanīnus izmanto līmju ražošanā kopā ar karbamīda- formaldehīda, fenola- formaldehīda, fenola- rezorcīna- formaldehīda, rezorcīna- formaldehīda, diizocianātu sveķiem.

Ir izpētīts, ka, piemēram, Austrālijas akācijas mizas tanīniem ir lielāka reaģētspēja ar formaldehīdu nekā fenolam, turklāt tanīnu- fenola- formaldehīda sveķu līmēm ir mazāka tendence migrēt augsta mitruma satura finieru iekšienē.

Moubariks ar biedriem (Moubarik et al., 2009) pētījumos par kukurūzas cietes un kvebraho tanīnu (ķīmisko struktūru skatīt 1.7 att.) pievienošanu fenola- formaldehīda rezolu sveķiem secinājuši, ka, lai nezaudētu mehānisko izturību, līmei var pievienot līdz 15% cietes un līdz 5% tanīna. Optimālā izejvielu proporcija kukurūzas cietes- kvebraho tanīnu- fenola- formaldehīda sveķos ir 15 : 5 : 80.

Tika secināts, ka saplāksnim, kas līmēts ar šo līmi, bija labākas mehāniskās īpašības (stiepes, lieces stiprība un elastības modulis), labāka vārošā ūdens izturība un mazāka formaldehīda emisija, salīdzinot ar kontroli (Moubarik et al., 2009) .



**1.7 att. Kvebraho tanīna ķīmiskā struktūra** (<http://pubchem.ncbi.nlm.nih...>).

### 2.2.4 Polibenzoksazīni- jauni augsti efektīvi termiski cietējoši fenola polimēri

Polibenzoksazīni (*polybenzoxazines*, *saīsināti PBZ*) ir vielas, kurām ir daudz interesantu īpašību un novērstas vairākas nepilnības, kas piemīt parasti lietotajiem novolaku un rezolu tipa fenolu sveķiem. Kaut arī pirmoreiz benzoksazīni tika sintezēti jau pagājušā gadsimta 40- tajos gados, to potenciāls tika atklāts un attīstīts samērā nesen. To pozitīvās īpašības ir:

- tilpuma izmaiņas sacietēšanas laikā ir tuvu nullei;
- zema ūdens absorbcija;
- dažiem polibenzoksazīniem pārstiklošanās (*glass transition*) temperatūra ir daudz augstāka par sacietēšanas temperatūru;
- augsts pārdošanas iznākums (*char yield*);
- sacietināšanai nav nepieciešami stipri skābju katalizatori;
- sacietēšanas laikā neizdalās toksiski blakus produkti;
- lielas molekulu dizaina iespējas (Ghosh et al., 2007; Takeichi et al., 2008).

Benzoksazīna monomēri parasti tiek sintezēti, kā izejvielas izmantojot fenolu, formaldehīdu un amīnu (alifātisko vai aromātisko). Fenola sveķi tiek pakļauti gredzena atvēršanās polimerizācijai. Sintēze var noritēt vai nu šķīduma veidā vai arī ar metodēm, kurās šķīdinātāji netiek izmantoti. Var iegūt atšķirīgus benzoksazīna monomēru tipus no dažādiem fenoliem un amīniem, kuros tiek aizvietotas dažādas ķīmiskās grupas. Šo aizvietošanas grupu izvietojums dod iespēju pievienošanas polimerizācijai un ietekmē sacietēšanas procesu (Ghosh et al., 2007; Nair, 2004).

Polibenzoksazīnu molekulārā struktūra dod milzīgi daudz elastīgu produkta dizaina iespēju, kas ļauj iegūstamo materiālu īpašības modelēt dažādiem pielietojuma veidiem. Tātad var iegūt atšķirīgus polimēru materiālus, dažādos veidos modelējot benzoksazīna monomēru. Piemēram, Japānā tiek pētītas arī iespējas par neorganiskas izcelsmes vielu iekļaušanu šo polimēru sastāvā (Takeichi, 2008).

### **2.2.5 Fenola- formaldehīda sveķu modifikācija ar uretānu un citu polimēru palīdzību**

Trausluma un zemās triecienizturības novēršanai rezolu tipa sveķu modifikācijai var izmantot uretāna oligomērus ar izocianātu gala grupām. Šādi modificētas kompozīcijas tiek lietotas kā saistvielas laminātiem ar stikla šķiedras armējumu.

Poliuretāns palielina kompozīcijas elastīgumu un darbojas kā sasaistes veicinātājs, palielinot polimēra matricas un armējuma adhēziju. Tiek arī minēts, ka fenola - formaldehīda sveķu modifikācija ar poliuretāniem tiek veikta, lai iegūtu aizsargājošos pārklājumus.

Eksperimentālajā pētījumā (Zmihorska- Gotfryd, 2003) tika veikta dažādu kompozīciju sintēze, kuru pamatā bija butoksilēto fenola - formaldehīda sveķu modifikācija ar trīs veidu oligomēriem, kas iegūti no 2,4- un 2,6-toluoldiizocianāta (TDI) un īpaši izvēlētiem poliēteroliem (*polyetherols*).

Iegūtajiem polimēriem bija ļoti laba adhēzija ar metāliskiem substrātiem, laba triecienizturība un elastīgums. Secināja arī, ka ļoti labā ķīmiskā izturība var dot iespēju šīs kompozīcijas izmantot kā aizsargājošos pārklājumus agresīvā vidē (Zmihorska-Gotfryd, 2004).

Fenola- formaldehīda līmju modificēšana ar citiem polimēriem.

Šeit tiek apvienotas fenolu sveķu un citu polimēru vērtīgās īpašības. Visbiežāk kā modificējošas piedevas fenola- formaldehīda sveķos ievada sintētiskos kaučukus, polivinilacetātus, poliamīdus, silīcijorganiskos u.c. savienojumus.

Šādas modifikācijas diemžēl samazina līmju termoizturību. Vislielākā termoizturība piemīt fenolepoksīdu sveķiem (Петрова, 1977).

Attiecībā uz kaučukiem labākās līmju kompozīcijas varot iegūt, lietojot akrilonitrila kaučuku un hloroprena kaučuku. Tā kā šīm līmēm ir augsta temperatūras izturība, laba adhēzija attiecībā uz metāliem, plastmasām, stiklu, koku u.c. materiāliem, kā arī teicama mehāniska un ķīmiska izturība, tās plaši lieto kā konstrukciju līmes visdažādākajās rūpniecības nozarēs (Surna et al., 1965).

### **2.2.6 Fenola- formaldehīda sveķu modifikācija ar dikarbonskābju palīdzību**

Pēc būtības termocietējošie sveķi kā fenola sveķi un epoksīdi ir trausli dēļ lielā šķērssaišu blīvuma tajos. Turklāt, ja tajos vēl nepieciešams pievienot tādas trauslas vai neelastīgas pildvielas, kā oglekļa vai stikla šķiedras, tad iegūtais materiāls kļūst vēl trauslāks. Rezultātā kompozītmateriāliem, kuru matricas pamatā ir trausli termocietējošie sveķi, ir ierobežotas izmantošanas iespējas tajos pielietojuma veidos, kur nepieciešama augsta triecienizturība. Termocietējošie sveķi tiek modificēti ar elastīgiem elastomēriem un/vai ar termoplastiskajiem polimēriem, lai novērstu trauslumu. Diemžēl daudzas no šīm vielām ir vairāk piemērotas epoksīdsveķu modifikācijai- tas ir vieglāk tāpēc, ka ir pieejami dažādi amīnu modifikatori un epoksīdu gredzena reaktivitāte ir liela.

Savukārt, kas attiecas uz fenola sveķu modifikāciju, tad novolaku un rezolu tipu sveķu modifikācijas iespējas atšķiras. Novolaku sveķus lielākoties nav iespējams sacietināt (*crosslink*) bez sacietinātāja, tādēļ novolakus izkausētā veidā var sajaukt ar elastīgiem termoplastiskiem homopolimēriem vai kopolimēriem. Rezoli, tieši pretēji, sacietē ar karsēšanas palīdzību, kas sajaukšanu ar termoplastiskiem polimēriem dara ļoti grūtu. Tomēr rezolu sveķiem ir daudz reaģētspējīgu hidroksilgrupu. Šī priekšrocība tika adaptēta, lai modificētu rezolu sveķus ar poliuretāniem un nitrila kaučuku. Līdzīgi polimēriem ar lielu

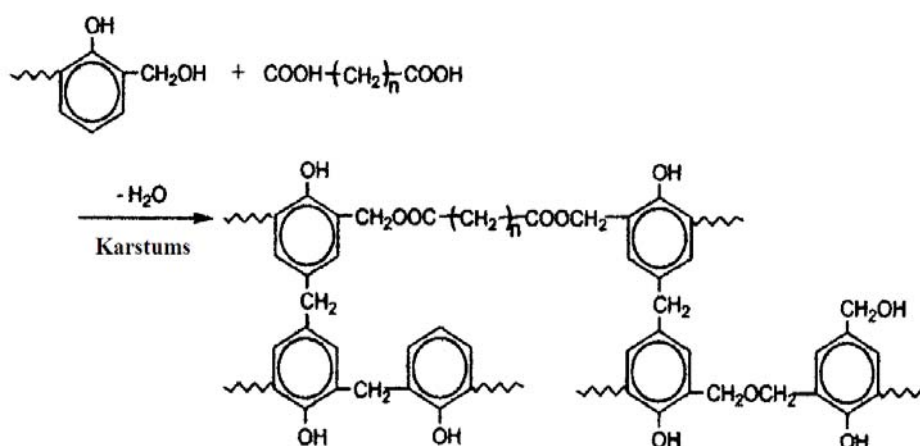
molekulu svaru, arī mazas molekulas var tikt izmantotas, lai samazinātu rezolu tipa sveķu trauslumu. Vielām ar mazām molekulām parasti ir zema pārstiklošanās vai kušanas temperatūra un maza viskozitāte.

Dienvīdkorejas Tehnoloģijas un zinātņu institūta pētnieki savā pētījumā (Choi et al. 2002) centušies modificēt rezolu tipa fenola sveķus ar mazmolekulāru, elastīgu dikarbonskābju (*diacid*) palīdzību, izraisot ķīmisku reakciju starp šiem komponentiem, lai fenola sveķu sacietēšanas procesā veidotos esteru saites (skat. 1.8 att.).

Modificēšanai izmantoja dikarbonskābes ar dažādiem molekulu garumiem:

- adipīnskābi (DA4);
- suberīnskābi (DA6);
- sebacīnskābi (DA8);
- dodekāndiskābi (DA10) (*dodecanedioic acid*).

Skaitlis pie apzīmējuma iekavās norāda katras dikarbonskābes metilēngrupu skaitu (1.8 attēlā – n). Iegūtajiem polimēriem tika novērotas dažādas mehāniskās īpašības un morfoloģija.



**1.8 att. Fenola sveķu reakcija ar dikarbonskābēm (Choi et al., 2004).**

Secināja, ka ar dikarbonskābēm modificēto fenola sveķu mehāniskās īpašības ir stipri atkarīgas no dikarbonskābju oglekļa ķēdes garuma, kas ietekmē sajaukšanas efektivitāti. Fenola sveķu trauslums var tikt samazināts, pievienojot elastīgas dikarbonskābes ar mazu molekulmasu. Iegūtie sveķi var tikt izmantoti kā matrice dažādos kompozītmateriālos (Choi et al., 2004).

### **2.2.7 Nanomateriālu izmantošana fenola sveķu matricēs uzlabošanai.**

Pasaulē tiek veikti arī dažādi pētījumi par nanomateriālu izmantošanas iespējām dažādu polimēru materiālu uzlabošanai. Viens no pētījumiem, kas attiecas uz fenola rezolu tipa sveķu īpašību modifikāciju, veikts samērā nesen (Tai et al., 2008) ar vienkāršas sienīņu oglekļa nanocaurulītēm (*single-walled carbon nanotubes (SWNTs)*), kuras plānas

plēvītes veidā tika pievienotas fenola sveķiem. Mehānisko īpašību mērījumi apliecināja, ka pievienotajam daudzumam pieaugot līdz 1% (pēc svara), palielinās Junga modulis un stiepes stiprība. Elektronmikroskopa izmeklēšana parādīja, ka oglekļa nanocaurulītes ir kā tilts starp plaišņām. Pārsniedzot optimālo pievienošanas daudzumu, caurulītes netiek pietiekami impregnētas ar sveķiem, tādēļ samazinās kompozītmateriāla mehāniskās īpašības (Tai, 2008).

### **2.2.8 Dažādas sārnu un sāļu izmantošanas iespējas sacietēšanas procesa paātrināšanai un finieru ar paaugstinātu mitruma saturu līmēšanai.**

Par vienu no fenola- formaldehīda sveķu trūkumiem saplākšņa ražošanā tiek uzskatīts to samērā lēnais sacietēšanas ātrums. Ražotājus interesē procesu paātrināšana un tādu līmju izmantošana, kuras varētu to veicināt. Arī finieru ar paaugstinātu mitruma saturu (virs 5%) izmantošana parasti ir nevēlama, jo līmējot ar parastajām fenola līmēm rodas defekti dēļ atlīmēšanās, ko rada izveidojies tvaiks starp finiera kārtām presēšanas laikā un tā izlaušanas ātrā, kad spiediens tiek samazināts. Tiek mēģināts rast risinājumus, kā izmainīt tehnoloģijas vai līmju sastāvu, lai varētu lietot finierus ar augstāku mitruma saturu, lai tādejādi samazinātu ražošanas izmaksas, laiku un arī uzlabotu saplākšņa izmēru stabilitāti, tā mitrumam tuvinoties līdzsvara mitrumam reālajos lietošanas apstākļos.

Gadu gaitā ir mēģināts izstrādāt dažādas modifikācijas metodes, lai paātrinātu fenola- formaldehīda sveķu cietēšanu, nezaudējot mehānisko stiprību un kvalitāti. Šādi sveķi varētu būt piemērotāki arī lai līmētu finierus ar augstāku mitruma saturu. Modifikācijai izmantots rezorcīns, reaktīvas piedevas, tādas kā formamīds vai sacietēšanas paātrinātāji, kā kālija karbonāts. Diemžēl šie mēģinājumi nav guvuši plašu pielietojumu dažādu iemeslu dēļ, ieskaitot izmaksas, neērtības, veselības un drošības apsvērumus (ASV Patents 5451657, 1995).

Patentā US 4758478 (1988) norādīts, ka fenola formaldehīda sveķu ražošanā izmantojamo nātrija hidroksīdu var daļēji aizstāt ar kālija hidroksīdu, tādējādi paātrinot reakcijas norisi un saglabājot vēlamās reoloģiskās īpašības (ASV Patents 4758478, 1988).

Diemžēl šie sveķi ir dārgāki, jo kālija hidroksīda cena ir aukstāka nekā nātrija hidroksīdam.

Patentā US 5106697 (1992) teikts, ka kā sārma avots var tikt izmantots parasti lietojamais nātrija hidroksīds ar nelielu kālija sāļu (kālija hlorīds, kālija sulfāts vai to maisījums) piejaukumu. Iegūtajiem sveķiem piemīt līdzīgas īpašības kā sveķiem, kas gatavoti no nātrija un kālija hidroksīdiem, taču cenas ziņā tie ir izdevīgāki, jo kālija sāļi ir gan lētāki, gan nepieciešams mazāks to daudzums. Iegūtie fenola rezolu sveķi esot īpaši piemēroti saplākšņa izgatavošanai, turklāt tādu finieru līmēšanai, kuru mitruma saturs ir salīdzinoši augsts (ASV Patents 5106697, 1992).

Patentā US 5451657 (1995) aprakstīta fenola sveķu kompozīcija, kurā kā polimerizācijas katalizators galvenokārt izmantots nātrija hidroksīds, tam nelielā daudzumā- ne vairāk par 1% no sveķu kopējā svara pievienojot kālija hidroksīdu un vēlāk- tūlīt pēc polimerizācijas reakcijas arī kālija karbonātu 0,1...0,75% apmērā. Pateicoties kālija ķīmiskā pievienošanai, līmes gēla veidošanas laiks kļūva īsāks. Līme ir piemērota finieru ar mitruma saturu 0...25% līmēšanai un operāciju ilgums, sākot ar finieru komplektāciju pirms presēšanas līdz sacietēšanai presē, var būt no 10 minūtēm līdz 2 stundām, saglabājot normālu līmēšanas kvalitāti (ASV Patents 5451657, 1995).

ASV Patentā 5763559 aprakstīta fenola- formaldehīda līmju izgatavošana, rezolu tipa sveķu modificēšanai izmantojot guanidīna sāļus (karbonātu, hidrohlorīdu, sulfātu un mazmolekulārus guanidīna un formaldehīda savienojumus). Norādītas arī sāļu

koncentrācijas un citu izejvielu attiecības, lai iegūtie sveķi varētu tikt izmantoti substrātu ar augstu mitruma saturu, kā finieri vai kokskaidas, izmantošanai saplākšņa un kokskaidu plātņu ražošanā, saglabājot līmes spēju pretoties pārmērīgi ātrai nožūšanai (ASV Patents 5763559, 1998).

### 2.3 Saplākšņu īpašību uzlabošanas iespējas

Projekta ietvaros noteiktas dažādu saplākšņu produktu degšanas īpašības saskaņā ar Lielbritānijas standartu BS 6853.

Atkarībā no individuālo pārbažu rezultātiem un to izvērtēšanas kopumā produktu var iedalīt kādā no trim kategoriju grupām: kategorija II- virszemes; kategorija Ia- vagoni, kas izmantojami vienvirziena tuneļos bez avārijas izejām, vai guļamvagoni, kuri apakšzemē atrodas nozīmīgu laiku, vai vilcieni ar automātisko vadību; kategorija Ib- vagoni, kas izmantojami daudzvirzietu tuneļos, tuneļos ar avārijas izejām, vai guļamvagonos, kuri apakšzemē neatrodas nozīmīgu laiku.

Izvērtējot iepriekšējo gadu no transporta industrijas saņemtos tirgus pieprasījumus, veiktas indikatīvas pārbaudes bērza saplākšņa produktiem ar pielietojuma mērķi- kā grīdas un sienu elementu.

Saskaņā ar standartu BS 476-7 produktu pēc liesmas izplatīšanās ātruma iegūti sekojoši rezultāti (skat. 2.1 tabulu).

2.1 tabula

#### Saplākšņa prognozējamā atbilstība BS 476-7

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Liesma pēc 1,5 min, mm	Liesma pēc 10 min, mm	Klase
Riga Ply	15	215	700	3
Riga Tex W/F	28	60	275	2
Riga Tex W/F	12	60	230	2
Riga Composite TPO/BL	13	140	525	3
Riga Ply WG/WG	50	180	730	3
Riga C	15	60	200	2
Riga D	15	95	410	2

Saskaņā ar standartu BS 476-7 produktu pēc kritiskā siltuma plūsmas iegūti rezultāti (skat. 2.2 tabulu).

Kritiskā siltuma plūsma (testa metode *ISO 9239-1*) produktiem nedrīkst pārsniegt 7.5 kW·m<sup>-2</sup>.



2.2. tabula

**Kritiskā siltuma plūsma ISO 9239-1**

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Kritiskā siltuma plūsma, kW m <sup>-2</sup>
Riga Ply	15	7.3
Riga Tex W/F	28	8.9
Riga Tex W/F	12	>11.1
Riga Composite TPO/BL	13	3.7
Riga Ply WG/WG	50	4.8
Riga C	15	>11.1
Riga D	15	>11.1

Grīdas tests saskaņā ar *BS 6853: Pielikums D8.6* novērtē dūmu optiskās (blīvuma) īpašības. Atkarībā no dūmu optiskām īpašībām tiek aprēķināta A<sub>0</sub> maksimālā vērtība (skat. 2.3 tabulu).

2.3 tabula

**Dūmu blīvums BS 6853: Pielikums D8.6**

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Dūmu blīvums A <sub>0</sub> (max)
Riga Ply	15	247
Riga Tex W/F	28	218
Riga Tex W/F	12	159
Riga Composite TPO/BL	13	663
Riga Ply WG/WG	50	275
Riga C	15	207
Riga D	15	249

Dūmu toksiskums saskaņā ar standartu *BS 6853: Pielikums B.2* tiek izvērtēts, ņemot vērā dūmu ķīmisko sastāvu, aprēķinot R vērtību. R vērtība ir summārs indekss, ko iegūst, saskaitot individuālo gāzu koncentrāciju un attiecinot to pret pieļaujamo normu (skat. 2.4 tabulu).

2.4 tabula

**Dūmu toksiskums BS 6853: Pielikums B.2**

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Dūmu toksiskums R
Riga Ply	15	1.72
Riga Tex W/F	28	1.27
Riga Tex W/F	12	1.43
Riga Composite TPO/BL	13	1.62
Riga Ply WG/WG	50	1.06
Riga C	15	2.02
Riga D	15	2.95

Pārbaudē saskaņā ar *BS 476:6.daļu* nosaka divus indeksus I un  $i_1$ , šo indeksu tālāk var izmantot produkta klasifikācijai saskaņā ar *BS 6853* (skat. 2.5 tabulu).

2.5 tabula

**Liesmas pavairošanas indeksi *BS 476:daļa 6***

Produkta nosaukums	Biezums, mm	I	$i_1$
Riga Ply	12	34.2	11.7
Riga Ply	5	36.5	16.1
Riga Mel	12	26.2	2.9
Riga Prime PR-P/P	18	30.8	8.3
Riga Composite PPL/PPL	9	26.4	4.5
Riga A	9	28	6.6
Riga B	12	26.2	5.5
Riga Ply	9	28.6	11.5
Riga Ply	18	24.6	9,2
Riga Ply (INT)	12	30.3	8.3
Riga Ply	12	34.2	11.7

Liesmas izplatīšanās ātrumu saskaņā ar *BS 476-7* var aplūkot tabulā 10. Kritērijus produkta klasifikācijai var aplūkot augstāk (skat. 2.6 tabulu).

2.6 tabula

**Saplākšņa prognozējamā atbilstība *BS 476-7***

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Liesma pēc 1,5 min, mm	Liesma pēc 10 min, mm	Klase
Riga Ply	12	170	570	3
Riga Ply	5	160	600	3
Riga MEL	12	65	200	2
Riga Prime PR-P/P	18	70	165	1
Riga Composite PPL/PPL	9	80	455	2
Riga A	9	60	210	2
Riga B	12	65	240	2
Riga Ply	9	180	675	3
Riga Ply	18	150	550	3
Riga Ply (INT)	12	145	550	3
Riga Ply	12	170	570	3

Grīdas tests saskaņā ar *BS 6853 Pielikumu D8.6* novērtē dūmu optiskās (blīvuma) īpašības. Atkarībā no dūmu optiskām īpašībām tiek aprēķināta  $A_0$  maksimālo vērtība (skat. 2.7 tabulu).

2.7 tabula

**Dūmu blīvums *BS 6853 Pielikums D8.6***

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Dūmu blīvums $A_0$ (ON)	Dūmu blīvums $A_0$ (OFF)
Rīga Ply	12	6.49	7.04
Rīga Ply	5	8.66	8.71
Rīga Mel	12	6.25	6.56
Rīga Prime PR-P/P	18	3.03	4.14
Rīga Composite PPL/PPL	9	7.03	7.74
Rīga A	9	2.91	3.41
Rīga Ply	9	6.71	7.17
Rīga Ply	18	4.69	6.24
Rīga Ply (INT)	12	14.8	15.3
Rīga Ply	12	6.49	7.04

Dūmu toksiskumu izvērtē saskaņā ar *BS 6853 Pielikumu B.2*, ņemot vērā dūmu ķīmisko sastāvu un aprēķinot R vērtību. R vērtība ir summārs indekss, ko iegūst saskaitot individuālo gāzu koncentrāciju un attiecinot to pret pieļaujamo normu (skat. 2.8 tabulu).

2.8 tabula

**Dūmu toksiskums *BS 6853 Pielikums B.2***

Produkta nosaukums	Biezums, mm	Dūmu toksiskums R
Rīga Ply	12	1.76
Rīga Ply	5	0.7
Rīga Prime PR-P/P	18	0.11
Rīga Composite PPL/PPL	9	3.15
Rīga A	9	2.12
Rīga B	12	0.79
Rīga Ply	9	1.02
Rīga Ply	18	1.17
Rīga Ply (INT)	12	5.1
Rīga Ply	12	1.76

Tabulās 2.9 un 2.10 apkopotā klasifikācija pamatojas uz indikatīvajām vērtībām, un tā ir sniegta tikai informatīvos nolūkos. Oficiālai klasifikācijai nepieciešams veikt pilnu pārbaužu programmu.

2.9 tabula

**Saplākšņi, kas izmantojami interjera horizontālās virsmās**

Produkta nosaukums un biezums (mm)	BS 476: Part 7 Surface spread of flame test	ISO 9239-1 Radiant panel floor test	BS 6853: Annex D8.6 Smoke density test	BS 6853: Annex B.2 Smoke and toxicity test	Iespējamā kategorija
Rīga Ply,		Ia	Ib	Ia	<b>Ib</b>
Rīga Tex W/F, 28mm	Ia		Ia	Ia	<b>Ia</b>
Rīga Tex W/F, 12mm	Ia		Ia	Ia	<b>Ia</b>
Rīga Composite TPO/BL, 13mm		Ia	II	Ia	<b>II</b>
Rīga Ply WG/WG, 50mm		Ia	Ib	Ia	<b>Ib</b>
Rīga C, 15mm	Ia		Ia	Ia	<b>Ia</b>
Rīga D, 15mm	Ia		Ib	Ia	<b>Ib</b>
Rīga Ply, mm		Ia	Ib	Ia	<b>Ib</b>

2.10 tabula

**Saplākšņi, kas izmantojami interjera vertikālās virsmās**

Produkta nosaukums, biezums	BS 476: Part 7 – Surface spread of flame test	BS 476: Part 6 – Fire propagation test	BS 6853: Annex D8.4 Panel smoke test	BS 6853: Annex B.2 Smoke and toxicity test	Iespējamā kategorija
Rīga Ply, 12mm		II	II	II	
Rīga Ply, 5mm		II	II	Ia	
Rīga Mel, 12mm	Ia VL <sup>a</sup> surface	II	II		
Rīga Prime PR-P/P, 18mm	Ia	II	Ib	Ia	II
Rīga Composite PPL/PPL, 9mm	Ia VL surface	II	II	II	II VL virsmām
Rīga A, 9mm	Ia VL	II	Ib	II	II VL
Rīga B, 9mm	Ia VL	II		Ia	
Rīga Ply, 9mm		II	II	Ib	
Rīga Ply, 18mm		II	II	Ib	
Rīga Ply (INT), 12 mm		II			
Rīga Ply, 12mm		II	II	II	
Rīga Ply, 5mm		II	II	Ia	

## 2.4 Otrās nodaļas kopsavilkums

- 1 Ugunsdrošības pārbaudes metodes un maksimālās pieļaujamās vērtības variē gan dažādu valstu, gan transporta industrijā koncernu robežās. Taču veicot pārbaudes saskaņā ar BS 6853 ir iespējams gūt priekšstatu un paredzēt produkta atbilstību vairums no normatīvajiem dokumentiem.
- 2 Bērza saplāksnis Riga Ply, Riga Form un Riga Tex biezumā no 6.5 līdz 12 mm var izmantot M3 kategorijas auto transporta līdzekļu ražošanai.
- 3 Visi saplākšņa veidi ir pielietojami dzelzceļa vagonu būvē kā grīdas elementi, augstākas prasības klases (Ia) nosacījumiem atbilst Riga Tex un jaunizveidotais produkts Riga C.
- 4 Pielietojot saplāksni kā vagonu interjera sastāvdaļu vertikālās virsmās, nepieciešama ugunsreakcijas īpašību uzlabošana. Produkta (Riga Prime, Riga Composite un Riga A (projekta ietvaros izstrādāts produkts)) atbilst ierobežotam pielietojumam šajā sfērā.
- 5 Saplākšņu ugunsreakcijas īpašības ir iespējams uzlabot, uzlabojot arī saplākšņu ražošanā izmantojamo sintētiskās sveķu līmes ugunsreakcijas īpašības.

### 3. SAPLĀKŠŅI, SAPLĀKŠŅU SAVIENOJUMI UN 3D PLĀTŅU FIZIKĀLI MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU PĀRBAUDES

#### 3.1 Vispārēji

Viens no vienkāršākiem variantiem kā uzlabot saplākšņa mehāniskās īpašības liecē ir izvēlēties optimālu finieru saklājumu shēmu. Diemžēl šādām plātnēm ir limitēts pielietojums. Savukārt plātņu pastiprināšana ar nekoksnes materiāliem nav tehnoloģiski sarežģīts process. Tā ir plātnes pārklāšana ar mehānisko īpašību uzlabojošu slāni, piemēram, laminēšana. Taču jāņem vērā pielietojot nekoksnes materiālus būtu jātiecas uz tādiem materiāliem, kas bioloģiski spēj noārdīties, pretējā gadījumā tiks iznīcināta viena no koksnes materiālu priekšrocībām- vieglā utilizācija. Viens no iespējamajiem nākotnes tehnoloģijas risinājumiem ir trīs dimensiju plātnes- perspektīvs produkts, ņemot vērā izejmateriālu ekonomiju un augstu īpatnējās stiprības rādītājiem jeb mehānisko īpašības attiecību pret plātnes masu. Kā pagaidu risinājumu pircējiem ar speciālām prasībām attiecībā uz mehāniskām īpašībām būtu jāpiedāvā speciāla saklājuma saplākšnis. Šāda saplākšņa ražošana nav saistīta ar nepieciešamību mainīt tehnoloģiskos procesus un ražošanas uzsākšana nav laikietilpīga.

Šajā nodaļā apskatītas fizikāli mehāniskās īpašības saplākšnim ar standarta saklāšanas shēmām (skat. 1.1 nodaļu) , kā arī saplākšnim ar nesatandarta saklāšanas shēmām pēc 3-punktu un 4-punktu lieces veiktajām pārbaudēm, saplākšņa savienojumu iestrādes iespējas un arī projekta rezultātā jaunizveidoto paaugstinātas īpatnējās stiprības plātņu veidu teorētiski veiktie aprēķini un realizētās pārbaudes. Teorētisko aprēķinu veikšanai izmantota datorprogrammas pakete ANSYS. Tajā veicamie aprēķini izveidoti tā, lai mainīgie ģeometriskie raksturotāji varētu tikt parametriski mainīti rūpnieciski ražota saplākšņa klājuma ģeometrijas apgabalos. Skaitliskie aprēķini veikti galīgo elementu programmatūrā- ANSYS V11, sadarbībā ar RTU Materiālu un konstrukciju institūtu.

#### 3.2 Saplākšņu ar nestandarta saklāšanas shēmām fizikāli mehānisko īpašību noteikšana un izvērtēšana. Saplākšņu savienošanas iespējas

*Riga Tex Spec* markas saplākšņus ražo speciāli pasūtīto detaļu izgatavošanai. *Riga Tex* ir no abām pusēm ar fenola „filmu” pārklāti saplākšņi, kuru vienā pusē uz virsmas ir izveidota sietveida struktūra. Atšķirībā no *Riga Tex* markas saplākšņiem, kuriem par pamatu kalpo *Riga Ply* markas saplākšņi ar standarta finieru saklāšanas shēmu, kur katras finierskaidas šķiedru virziens ir perpendikulārs blakus esošām, aplūkotās markas saplākšņiem ir speciālā finierskaidas saklāšanas shēma. *Riga Tex Spec* markas saplākšņus ražo tikai ar biezumu 30 mm. Plātņu formāts ir 2550 x 1280 mm. Līdzīgi kā iepriekšējās markas, *Riga Tex Spec1* markas saplākšņi ir laminēti un veidoti ar speciālo finierskaidas saklāšanas shēmu. *Riga Tex Spec1* markas saplākšņus ražo tikai ar biezumu 28 mm. Plātņu formāti ir 2550 x 1280, 2580 x 1280 un 2580 x 1560 mm.

*Riga Tex Spec* un *Riga Tex Spec1* markas saplākšņus ražo a/s “Latvijas Finieris” rūpnīca “Lignums”. Šos saplākšņus šobrīd lieto kravas mašīnu un piekabju grīdu klājumos. Taču pieaugot pasūtītāja prasībām ir jāveic konstruktīvas izmaiņas. Pastāv divi veidi kā šīs izvirzītās prasības ievērot, proti:

- nesamazinot plātnes masu paaugstināt plātnes stiprību par 20%;
- nesamazinot plātnes stiprību samazināt plātnes masu par 20%.

Tāpēc projektā gaitā veikta standarta un nestandarta saplākšņu, kā arī jau ražotā produkta īpašību noteikšana pēc 3-punktu un 4-punktu sloģojuma shēmām. Rezultātā veikta iegūto datu salīdzināšana un iespējamo risinājumu un priekšlikumu izstrāde turpmāko pētījumu veikšanai.

Pētījumā veiktas pārbaudes sekojošiem materiāliem:

- bērza saplākšnis Riga Ply, biezums 27 mm, finieru biezums 1.4 mm un finieru saklājuma shēma |—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|
- bērza saplākšnis Riga Ply, biezums 28 mm, finieru biezums 1.4 mm un finieru saklājuma shēma |—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|
- bērza saplākšnis Riga Ply, biezums 28 mm, finieru biezums 1.4 mm un finieru saklājuma shēma |||—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|
- bērza saplākšnis Riga Ply, biezums 30 mm, finieru biezums 1.4 mm un finieru saklājuma shēma ||—|||—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|
- bērza saplākšnis Riga Tex Spec, biezums 30 mm, finieru biezums 1.4 mm un finieru saklājuma shēma F||—|||—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|W (F – gluda lamināta kārta; W – raupja lamināta kārta;
- bērza saplākšnis Riga Tex Spec1 biezums 28 mm, finieru biezums 1.4 mm un finieru saklājuma shēma F—|||—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|W (F – gluda lamināta kārta; W – raupja lamināta kārta.

Pārbaudes veiktas saskaņā ar sekojošām standartu prasībām:

- saplākšņu elastības moduļa un robežstiprība 3-punktu liecē LVS EN 310 „Koka skaidu plāksnes- Elastības moduļa un lieces spēka noteikšana”;
- saplākšņu elastības moduļa un robežstiprība 4-punktu liecē LVS EN 789 „Koka konstrukcijas- Testa metodes – Koksnes plātņu mehānisko īpašību noteikšana”.
- saplākšņu mitruma noteikšana LVS EN 322 „Koksnes plātnes- Mitruma satura noteikšana”;
- saplākšņu blīvuma noteikšana LVS EN 323 „Koka skaidu plātnes- Blīvuma noteikšana”.

Pārbaudēm paredzētās aplākšņa plātnes izgatavotas A/S „Latvijas Finieris” rūpnīcās „Furniers” un „Lignums”. Plātņu atlases procedūra veikta pēc gadījuma rakstura.

Augstāk minētie parametri aprēķināti, izmantojot datorprogrammas *Microsoft Excel paketi Analyze-it*. Pētījuma rezultāti par elastības moduļa un robežstiprības liecē 3-punktu liecē apkopoti tabulās 3.1 līdz 3.4.

3.1 tabula

### Saplākšņa Riga Ply (biezums 27 mm, saklājuma shēma

|—|—|—|—|—|—|—|—|—|—|

### Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 310

Nr.	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	25,4	9,5	669	55,1	25,4	6193	6410
Max	56,4	10,8	757	81,3	56,4	10103	9320
Vid.	27,2	10,1	716,1	67,5	27,2	8271	7737
STDEV	5,34	0,33	26,32	5,94	5,34	781	797

3.2 tabula

**Saplākšņa Rīga Ply (biezums 28 mm, saklājuma shēma**

|----|-|-|-|-|-|-|

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 310**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
					⊥		⊥
				N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>
Min	27,0	6,8	607	38,5	41,8	4741	5250
Max	28,8	10,1	748	59,4	99,1	10726	11910
Vid.	27,6	8,8	710,5	46,6	82,5	5754	9530
STDEV	0,44	0,74	32,33	5,81	10,27	1022	1127

Piezīme: | 1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij; -1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij; II paralēli segfiniera šķiedru virzienam; ⊥ perpendikulāri segfiniera šķiedru virzienam; Vid vidējā vērtība; STDEV standartnovirze; Min minimālā vērtība; Max maksimālā vērtība.

3.3 tabula

**Saplākšņa Rīga Ply (biezums 28 mm, saklājuma shēma**

||-|-|-|-|-|-|

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 310**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
					⊥		⊥
				N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>
Min	27,2	7,0	604	71,6	37,9	9088	3086
Max	28,9	11,1	758	101,5	53,0	12423	5794
Vid.	27,6	8,6	720,0	88,2	44,9	10896	4380
STDEV	0,38	0,88	33,39	7,60	4,42	821	508

Piezīme: | 1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij; -1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij; II paralēli segfiniera šķiedru virzienam; ⊥ perpendikulāri segfiniera šķiedru virzienam; Vid vidējā vērtība; STDEV standartnovirze; Min minimālā vērtība; Max maksimālā vērtība.

3.4 tabula

**Saplākšņa Rīga Ply (biezums 30 mm, saklājuma shēma**

||-|||-|-|-|-|-|

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 310**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
					⊥		⊥
				N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>	N·mm <sup>-2</sup>
Min	29,5	8,0	618	42,1	29,2	4984	3247
Max	31,9	11,3	850	100,2	94,0	11990	11450
Vid.	30,5	9,2	713,8	87,0	41,9	10524	4365
STDEV	0,60	0,74	39,34	10,37	10,85	1255	1356



Pētījuma rezultāti par elastības moduļa un robežstiprības liecē 4-punktu liecē apkopoti tabulās 3.5 līdz 3.8.

3.5 tabula

**Saplākšņa Rīga Ply, biezums 27 mm, saklājuma shēma**

| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 789**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	26,3	9,5	669	53,6	31,5	7370	6410
Max	27,7	10,8	757	76,8	61,5	19930	9320
Vid.	26,9	10,1	716,1	64,9	50,6	10665	7737
STDEV	0,38	0,33	26,32	6,18	6,72	1908	797

Piezīme: | 1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij; -1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij; II paralēli segfiniera šķiedru virzienam; ⊥ perpendikulāri segfiniera šķiedru virzienam; Vid vidējā vērtība; STDEV standartnovirze; Min minimālā vērtība; Max maksimālā vērtība.

3.6 tabula

**Saplākšņa Rīga Ply (biezums 28 mm, saklājuma shēma**

| - - - - | - | - - - | - | - | - | - - - - |

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 789**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	26,9	6,8	607	18,0	45,9	3585	8382
Max	29,0	10,1	748	40,6	80,8	7526	13830
Vid.	27,7	8,8	710,5	30,7	67,3	5754	11400
STDEV	0,46	0,74	32,33	5,91	10,03	986	1369

Piezīme: | 1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij; -1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij; II paralēli segfiniera šķiedru virzienam; ⊥ perpendikulāri segfiniera šķiedru virzienam; Vid vidējā vērtība; STDEV standartnovirze; Min minimālā vērtība; Max maksimālā vērtība.

3.7 tabula

**Saplākšņa Rīga Ply (biezums 28 mm, saklājuma shēma**

|| - | - | - | - - | - | - | - ||

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 789**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	27,1	7,0	604	20,6	14,6	4720	3058
Max	28,9	11,1	758	85,4	46,5	15783	8929
Vid.	27,7	8,6	720,0	64,2	28,1	11854	4162
STDEV	0,35	0,88	33,39	15,14	7,29	2383	1102

**Saplākšņa Riga Ply (biezums 30 mm, saklājuma shēma**

||-|||-|-|-|-|-|-||-||

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 789**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	29,5	8,0	618	51,1	12,8	9724	2927
Max	31,7	11,3	850	90,8	36,2	15576	5557
Vid.	30,5	9,2	713,8	71,5	24,3	12391	4263
STDEV	0,59	0,74	39,34	12,00	5,41	1672	673

Piezīme: | 1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij; -1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij; || paralēli segfiniera šķiedru virzienam; ⊥ perpendikulāri segfiniera šķiedru virzienam; Vid vidējā vērtība; STDEV standartnovirze; Min minimālā vērtība; Max maksimālā vērtība.

Iegūtie pārbaudes rezultāti *Riga Tex Spec1* markas gataviem saplākšņu paraugiem redzami 3.9 tabulā, *Riga Tex Spec* markas saplākšņu paraugiem 3.10 tabulā.

**Saplākšņa Riga Tex Spec1 (biezums 28 mm, saklājuma shēma**

F-|||-|-|-|-|-|-||-W

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 789**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	27,8	8,6	724	80,8	-	10679	-
Max	28,9	9,2	765	90,7	-	11040	-
Vid.	28,5	9,0	745	86,3	-	10899	-
STDEV	0,55	0,2	13	3,4	-	141	-

Piezīme: | 1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu paralēli plātnes garenasij; -1,4 mm bērza finieris ar šķiedru virzienu perpendikulāri plātnes garenasij; F||-|||-|-|-|-|-||-W paralēli segfiniera šķiedru virzienam; ⊥ perpendikulāri segfiniera šķiedru virzienam; Vid vidējā vērtība; STDEV standartnovirze; Min minimālā vērtība; Max maksimālā vērtība.

**Saplākšņa Riga Tex Spec (biezums 30 mm, saklājuma shēma**

F||-|||-|-|-|-|-||-W

**Elastības modulis un robežstiprība liecē pēc LVS EN 789**

N.P.K	Biezums, mm	Mitrums, %	Blīvums, kg·m <sup>-3</sup>	Robežstiprība liecē $f_{max}$ , MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
				 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>	 N·mm <sup>-2</sup>	⊥ N·mm <sup>-2</sup>
Min	30,8	7,6	678,0	75,8	-	10835	-
Max	29,9	8,1	725,6	102,7	-	13081	-
Vid.	29,5	7,9	706,5	85,7	-	11726	-
STDEV	0,55	0,2	14,4	8,0	-	595	-

*Riga Tex Spec1* markas paraugu lieces robežstiprība ir nedaudz lielāka par *Riga Tex Spec* markas paraugu robežstiprību.

Iegūtos rezultātus var salīdzināt ar iepriekš veiktajiem *Riga Ply* markas slīpēto saplākšņu īpašību pētījumiem ar paralēlo segfinieru šķiedru virzienu vērtībām. Piemērām, standarta saplākšnim ar biežumu 30 mm lieces robežstiprība ir 43,5 MPa, kas ir par 49,2 % mazāk nekā pārbaudītajam saplākšnim ar to pašu biežumu. Elastības modulis liecē standarta saplākšnim ir 9791 MPa, kas ir par 16,5 % mazāks nekā *Riga Tex Spec* saplākšnim.

Standarta saplākšnim ar biežumu 27 mm robežstiprība liecē ir 64,9 MPa, kas ir par 49 % mazāk nekā pārbaudītajam saplākšnim ar biežumu 28 mm. Lieces elastības modulis *Riga Ply* markas saplākšnim ir 10665 MPa, kas ir par 9,5 % mazāks par *Riga Tex Spec1* saplākšņa šī rādītāja vidējo vērtību.

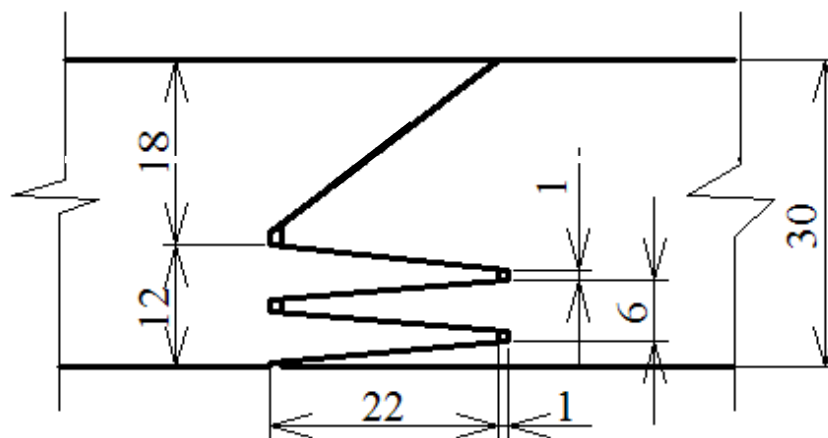
Kā zināms, koksnes materiālu savienojumu izturība ir mazāka par pašu materiālu izturību. Sevišķi tas attiecas uz saplākšņa savienojumiem (Карсункин, 2006). Tāpēc pareizi jāizvēlas šo savienojumu visiem elementiem.

Praksē, saudzējot saplākšni slogotiem elementiem, pielieto sekojošus līmes savienojuma veidus (Волынский, 2003):

- ar slīpo saduri;
- ar taisno saduri, lietojot uzliktņus no vienas vai abām pusēm;
- ar ķīļtapas savienojumu.

Savienojot ar slīpo saduri, tiek panākts savienojums ar lielu līmes šuves laukumu. Mazā slīpuma leņķa dēļ, iestrādājot šo savienojumu ir liels materiāla patēriņš. Šo savienojuma veidu izmanto lielformāta plātņu saudzēšanai.

Saplākšņu saudzēšana ar ķīļtapām ir sarežģīts process, jo saplākšnis ir neviendabīgs materiāls, kurš arī satur līmi. Ķīļtapas parasti iestrādā visā materiāla augstumā. Taču veidojot eksperimentājos pētījuma paraugus un iestrādājot ķīļtapu savienojumu, šis savienojums nenodrošināja nepieciešamo precizitāti un nedarbojās tā kā tas ir masīvkoksnes gadījumā. Tāpēc tika veidots kombinētais savienojums ar bāzes virsmu (skat. 3.1. att.).



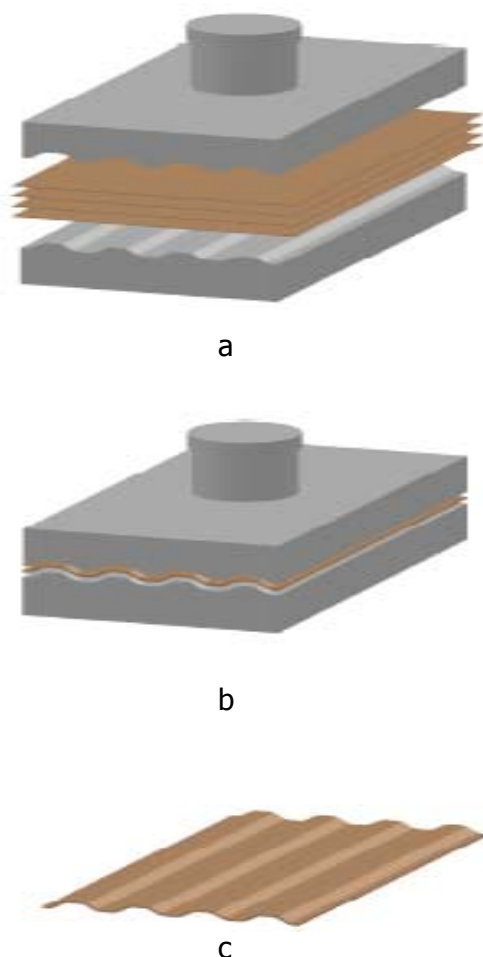
**3.1. att. Saplākšņu savienojums.**

Ir zināms, ka stiprāko līmes savienojumu var panākt tad, ja salīmējamo materiālu šķiedru virziens sakrīt (Волынский, 2003). Šī nosacījuma izpildīšanai tika izvēlētas standarta ķīļtapas ar garumu 22 mm un soli 6 mm. Ja tiek iestrādātas divas tādas ķīļtapas saplāksnim ar biezumu 27 mm, kuras finieru saklāšanas shēma tika aprakstīta iepriekš, tad tiks panākts, ka ķīļtapas savienojuma vietā atradīsies 6 gareniskās finiera kārtas ar biezumu 1,4 mm, kas paaugstinās šī savienojuma nestspēju.

Veicot sākotnējās pārbaudes tika noskaidrots, ka klasiskajā izpildījumā masīvkosnei piemērotā ķīļtapa saplākšņu savienošana nav piemērojama. Izstrādātais savienojums ir viens no iespējamiem risinājumiem pilnformāta saplākšņu savienošana garumā, kas prasa veikt papildus pārbaudes.

### 3.3 Trīsdimensiju (3D) plātņu izgatavošana, teorētiskie aprēķini un praktiskie fizikāli mehānisko īpašību pētījumi

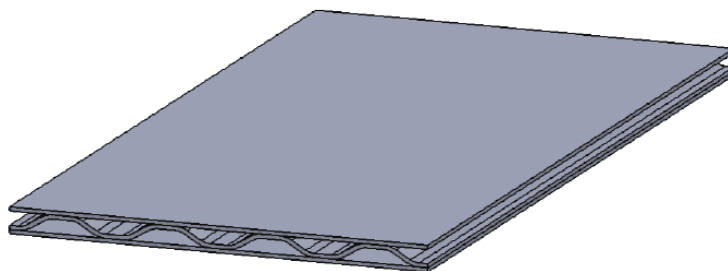
3D plātnes viens no variantiem izgatavotas ar aukstās presēšanas paņēmieni, speciālā presformā, principiālā shēma (skat. 3.2 att.), izmantojot līmi Calcolit 1974 (Casco Adhesives Akzo Nobel). 3D plātnes presēšanas spiediens 1,6-1,9 MPa, laiks virs 6 h. 3D plātņu ražošanas shēma attēlota 3.2 attēlā.



**3.2 att. 3D spec 1 plātņu ražošanas princips:**

a- saklāšana presformā; b- presformu sakļaušana; c- gatavs plātnes viduslānis

Tālāk šīs plātnes, aplīmējot ar standarta saplākšņiem, iegūst kārtainu „sendvič” struktūru (3.3 att.).



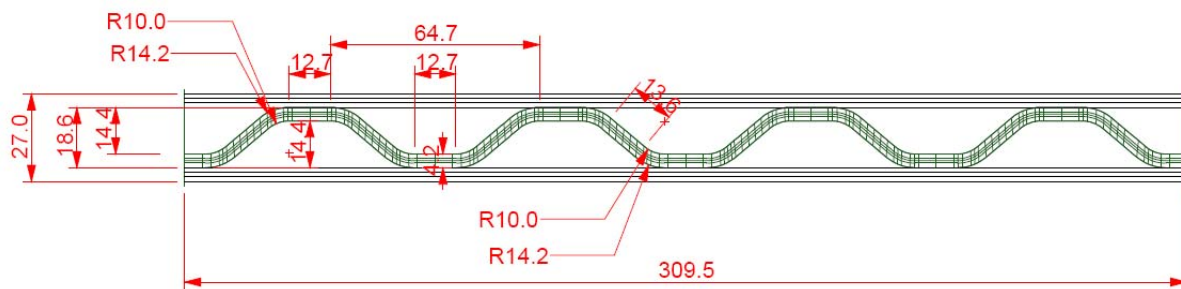
**3.3 att. Kārtainā koksnes plātne ar viļņotu vidusslāni.**

Šī trīs dimensiju (3D spec 1) struktūra plātņu materiāliem palielina materiāla stingumu un nestspēju. Šādas struktūras plaši pazīstamas metāla un plastmasu industrijā. Viens no plašāk pazīstamiem piemēriem ir gofrētais kartons, kur izmantojot salocīta papīra vidus kārtu aplīmētu ar tādu pašu papīru, iegūts augstas stiprības izstrādājums.

3D koksnes plātnes iespējamie pielietojumi var būt sekojoši:

- norobežojošais elements, piemēram, konteineru sienas, biroja darba zonas u.c.
- nesošais elements, pārseguma sijas;
- pārseguma plātnes.

Trīs dimensiju saplākšņa plātne ražota no septiņiem 0.8 mm bieziem bērza lobītiem finieriem, kuru blakus esošo kārtu šķiedru virziens vienam pret otru ir perpendikulārs (skat. 3.4 attēlā).



**3.4 att. 3D plātnes shēma (modelis „3D spec 1”), aplīmēta ar bērza saplākšņiem**

Pirmā modeļa 3D plātnes izgatavotas rūpnīcā Latvijas Bērzs speciālā presformās. Finieris salīmēti ar ūdens dispersijas līmi Calcolit 1974, cietinātājs 1993 izocianāta MDI (Casco Adhesives Akzo Nobel). Trīs dimensiju plātnes attēlu var aplūkot attēlā 3.5.



a



b

### 3.5 att. Trīs dimensiju plātne:

a- trīs dimensiju plātne; b- trīs dimensiju plātne aplīmēta ar saplāksniem

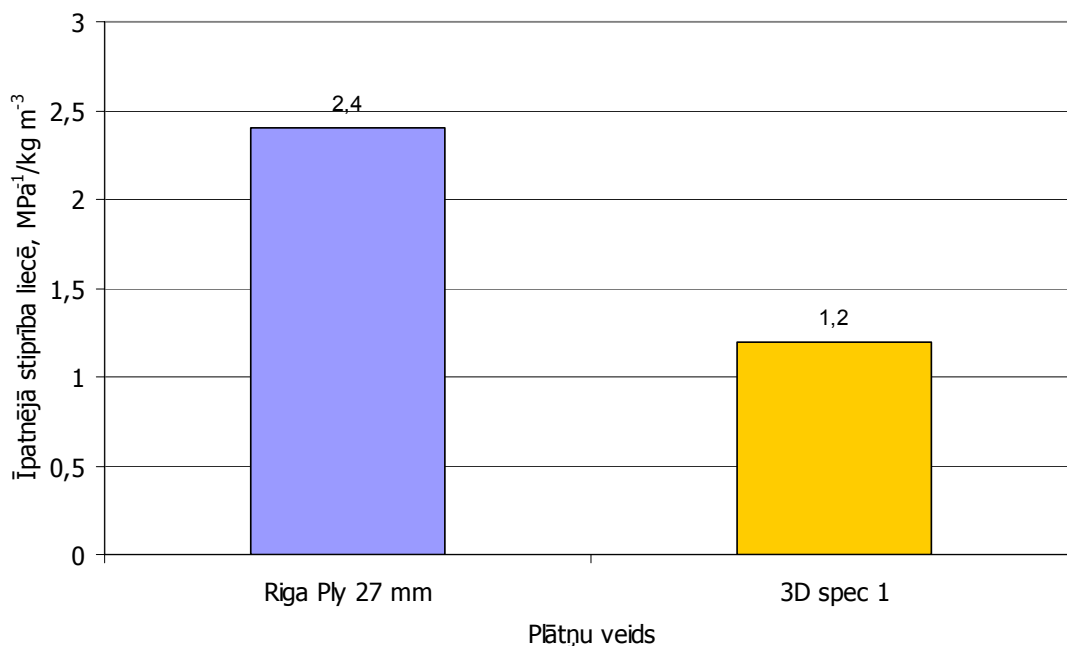
Mērķis pirmajam variantam ir izvērtēt 3D saplākšņa ražošanas iespējas, identificēt problēmas un iegūt izejas datus tālākai 3D modeļa izstrādei. Blīvums šādai plātnei aplīmētai ar 4 mm bērza saplāksni ir  $381 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Lieces stiprības un elastības moduļa vērtības palūkojamas tabulā 3.11.

3.11 tabula

#### 3D saplākšņa plātņu lieces īpašības

Saplākšņa veids	Biezums, mm	Blīvums, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Robežstiprība liecē $f_{max}$ MPa		Elastības modulis $E$ , MPa	
			Paralēli šķiedru virzienam	Perpendikulāri šķiedru virzienam	Paralēli šķiedru virzienam	Perpendikulāri šķiedru virzienam
3D spec 1	27.09	381	15.9	9.3	8888	8943

3D saplākšņa plātnes (3D spec 1) īpatnējās stiprības salīdzinājums ar 27 mm biezu bērza saplāksni aplūkojams 3.6 attēlā.



**3.6 att. Saplākšņa lieces īpatnējās stiprība, MPa<sup>-1</sup>/kg·m<sup>-3</sup>**

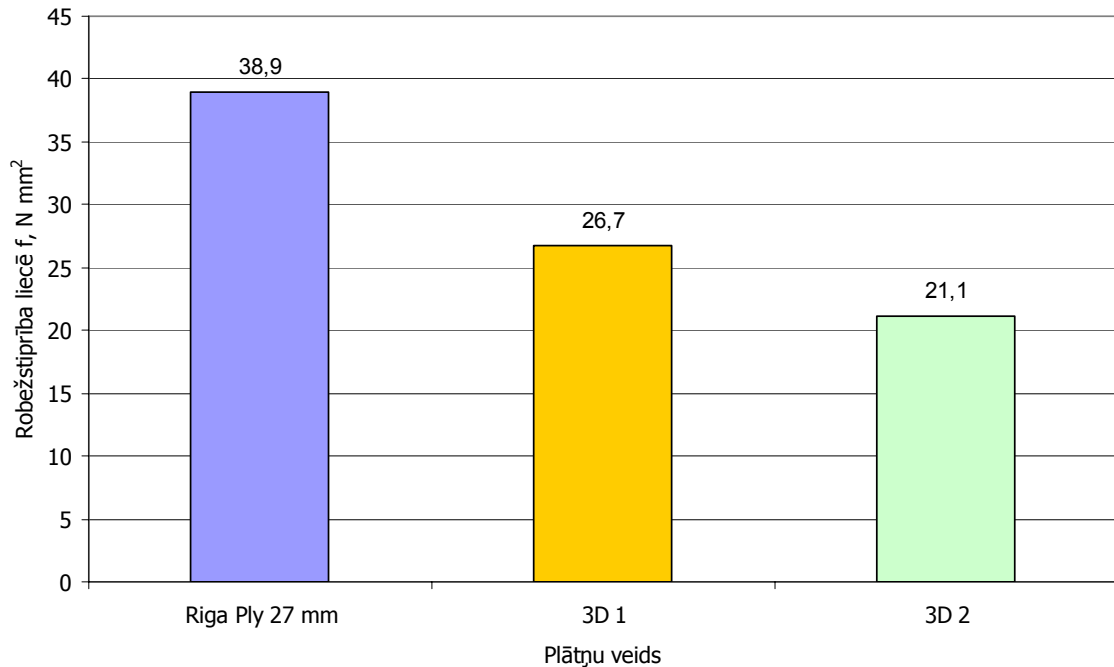
1 mm platas saplākšņa loksnes lieces īpatnējās stiprība uzrāda, ka 3D modelim vērtība ir par 50 % zemāka. Ņemot vērā eksperimenta gaitā novēroto 3D plātnes sagrūšanu, jāsecina, ka šajā modelī netiek pilnvērtīgi izmantots 3D vidus kārtā. Lai pilnvērtīgi izmantotu vidus kārtu plātnes ārējie saplākšņi var būt biezāki, jo paraugs sagruva lieces spēku ietekmē- bloka komponentu sekundārā līmējuma šuvēs un pēc tam sagraujot katru komponenti atsevišķi. 3D plātnes lieces pretestību liekumu garenvirzienā, būtu lietderīgi ārējās kārtās izmantot vismaz 5-kārtu saplākšni, kas pats par sevi jau ir formas noturīgāks nekā šajā gadījumā izmantotais 3-kārtu saplākšnis. 3D saplākšnis vidus kārtā un līmes šuve, starp ārējo saplākšni un vidus kārtu, izturēja cirpes spēkus. Pateicoties viļņotajam vidusslānim, iespējams iegūt plātņi ar mazu masu.

Eksperimentāli saražotajām 3D kārtainajām plātnēm noteiktas lieces īpašības saskaņā ar EN 789 (skat. .3.7 att.).

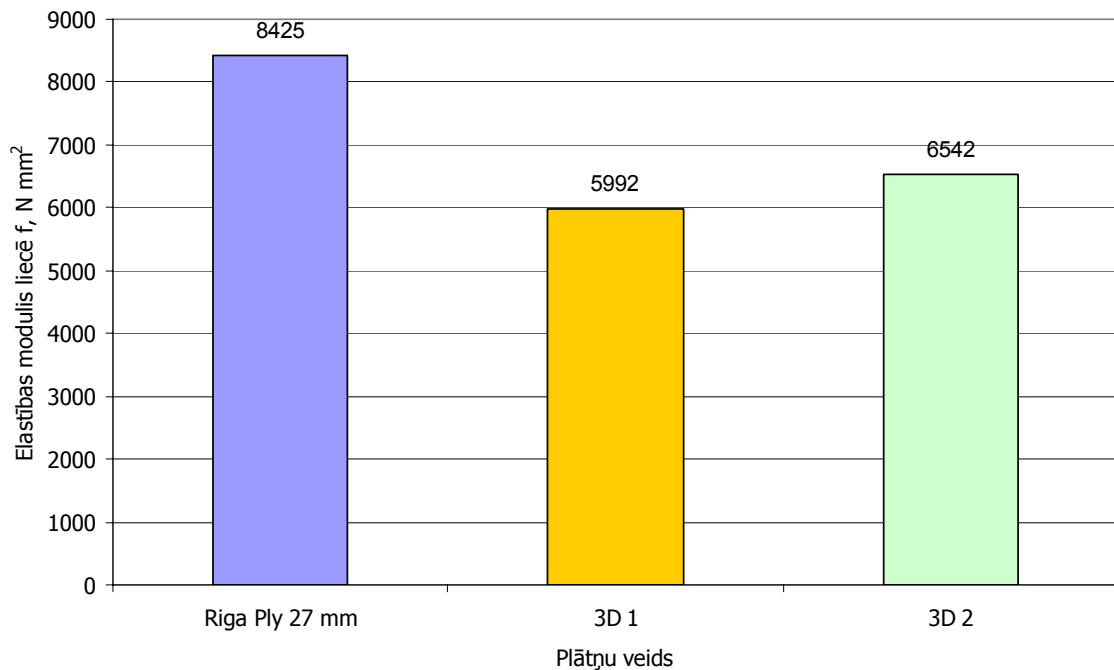


**3.7 att. 3D plātnes pārbaudes norise**

Lieces stiprības rādītājus 3D kompozītmateriālam un to salīdzinājumu ar tradicionālo bērza saplāksni Riga Ply iespējams aplūkot attēlos 3.8 un 3.9. 3D 1 ir kārtainā struktūra, kas sastāv no 3D materiāla aplīmēta ar 4 mm bērza saplāksni Riga Ply, bet 3D 2 ir aplīmēta ar 6.5 mm bērza saplāksni. Plātņu biezums 28 mm.



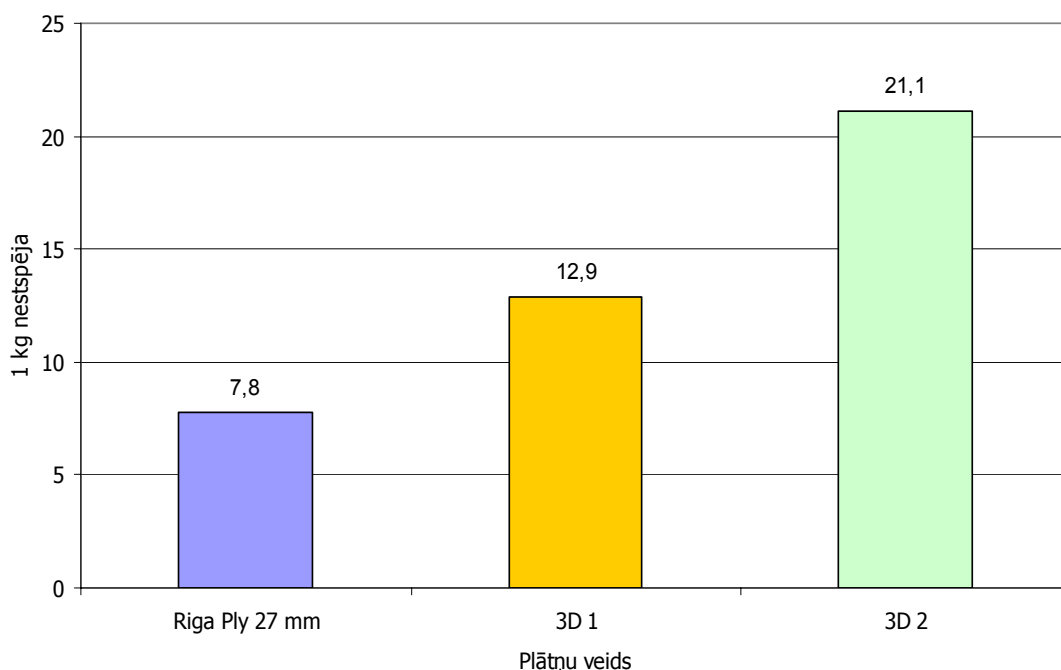
**3.8 att. Plātņu materiālu robežstiprība liecē.**



**3.9 att. Plātņu materiālu elastības modulis liecē.**



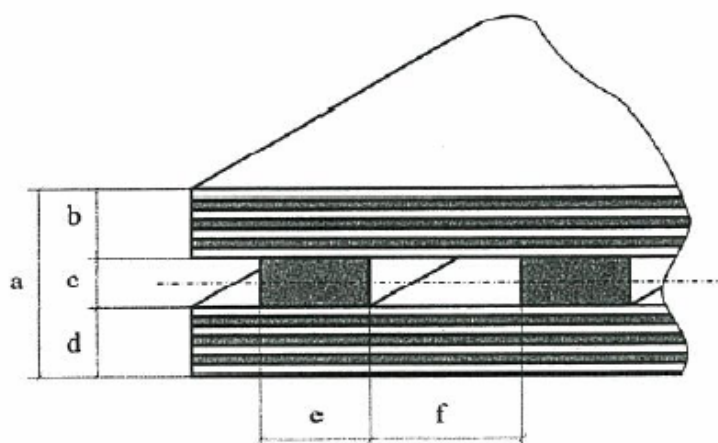
Kā redzams no rezultātiem lieces īpašības 3D struktūrām ir sliktākas. Īpatnēja nestspēja (maksimālo slodzes dalījumu ar materiāla blīvumu) jaunizstrādātiem materiāliem (skat. att. 3.10).



**3.10 att. 1 kg materiāla nestspēja**

Saplākšņa ražošana nenovēršami rodas saplākšņa atzāgi. Viens no atzāgu rašanās iemesliem ir nepieciešamība sazāgēt saplākšni klientiem nepieciešamos izmēros. Rūpnīcā atzāgi sastāda aptuveni 5 % no saražotās produkcijas. Līdz šim rūpnīcās maza izmēra atzāgus izmanto kā kurināmo siltuma enerģijas ražošanai. Šis sadaļas priekšlikums ir tos izmantot kompozītmateriāla ražošanā.

Zemāk aprakstītais kompozītmateriāls būtībā ir kārtainā plātne, kuras vidus kārtā veidota no atzāgu strēmelēm. Lai samazinātu plātnes masu izvēlēts saplākšņa strēmeles novietots ar distanci tādejādi racionāli izmantojot materiālu un uzlabojot īpatnējo stiprību (skat. 3.11 attēlā).



**3.11 att. Saplākšņu 3D spec 3 plātne**

Šīs plātnes ģeometriskie rādītāji aprakstīti 3.12 tabulā.

3.12 tabula

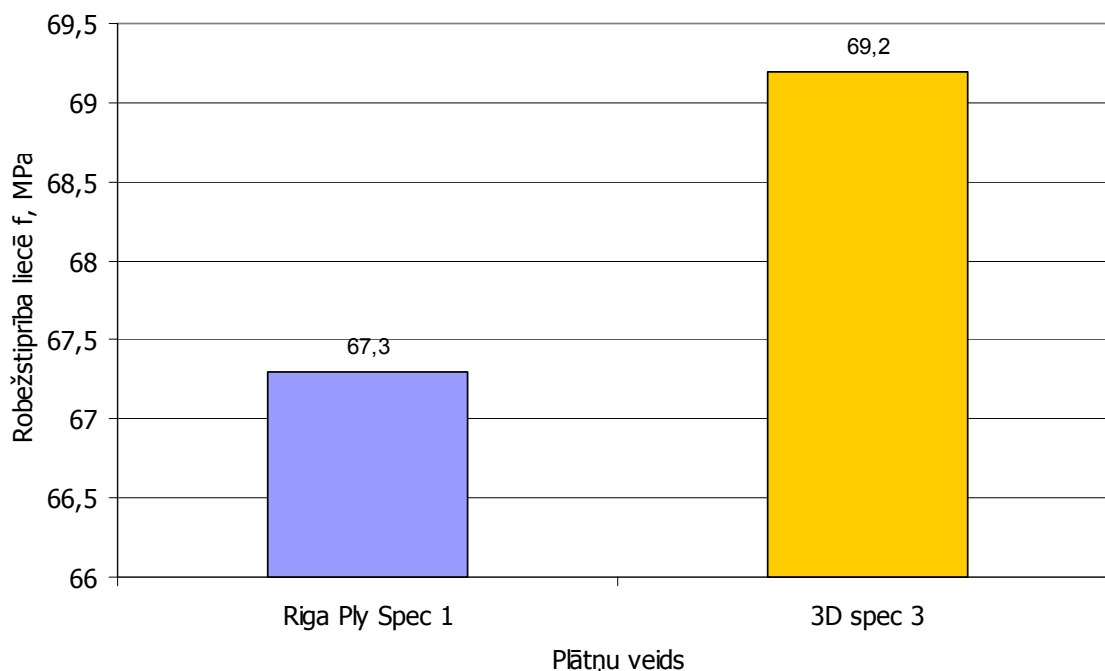
**„Sendvič” paneļa ģeometriskie parametri**

Izmēri	a	b	d	e	f
6,5x9 pie 17	28	6,5	9	15	17
9x9 pie 17	28	9	9	15	17
9x9 pie 22	28	9	9	15	22
9x9 pie 27	28	9	9	15	27

Iepriekš apskatītājā nodālā par terētiskajiem aprēķiniem veikta šādu plātņu matemātiskās modulācijas ar mērķi aprēķināt maksimāli efektīvas konstrukcijas.

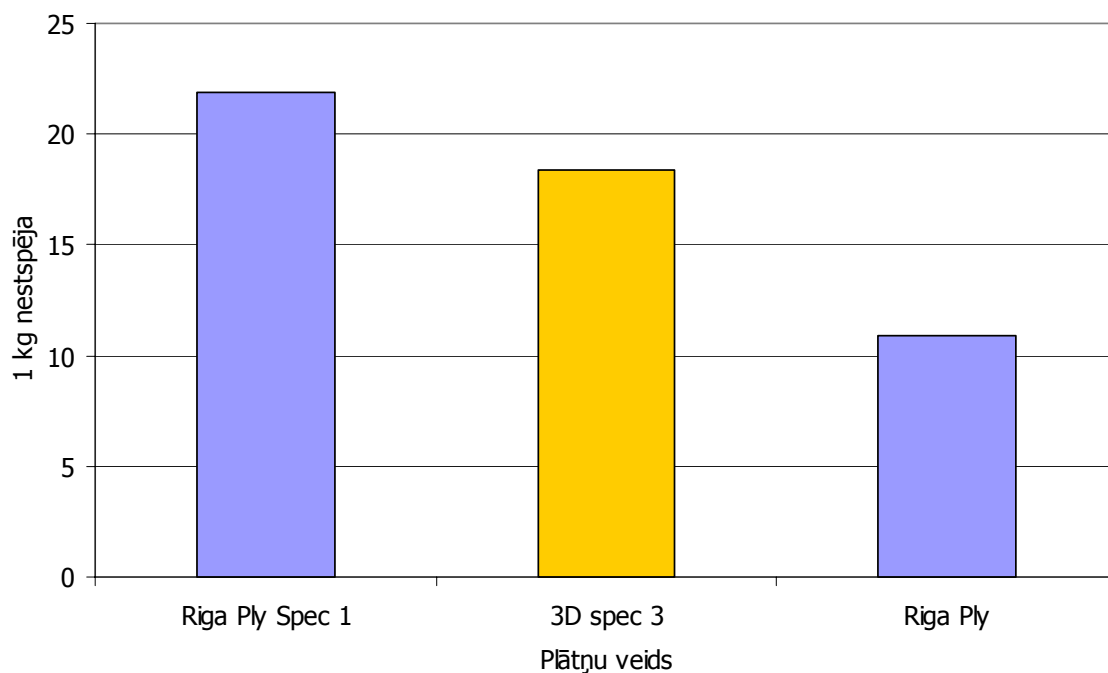
Pamatojoties uz matemātiskās modelēšanas datiem izvēlētas konstrukcijas, kas ir ar 20...30 % zemākām lieces īpašībām. Tad šīs plātnes saražotas un papildus izmainot konstrukciju (virsējo un apakšējo saplākšņa finieru konstrukciju, pastiprinot paneli ar stikla šķiedru) iegūtas plātnes ar augstām lieces īpašībām.

Lieces īpašības plātnēm noteiktas saskaņā ar EN 789 un salīdzinātas ar speciālas konstrukcijas bērza saplākšni kompozītu stiprākajā virzienā (skat. 3.12a attēlā).



**3.12a att. Robežstiprība liecē plātnēm Riga Ply Spec 1 un 3D spec 3.**

Plātņu īpatnējo nestspēju (maksimālo slodzes dalījumu ar materiāla blīvumu) aplūkojama 3.12b attēlā.

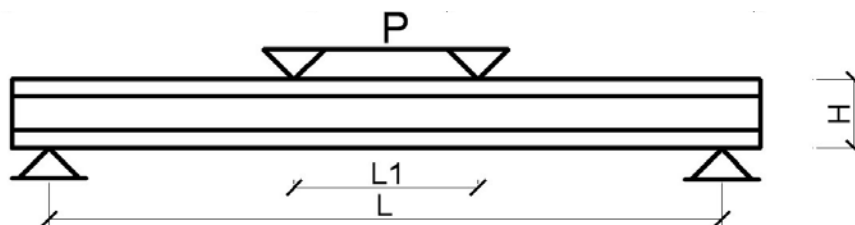


**3.12b att. 1 kg materiāla nestspēja.**

Papildus jāpiezīmē, ka jaunizveidotā materiālā elastības modulis ir par 5 % zemāks nekā saplāksnim Riga Ply ar speciālu konstrukciju.

### **3.4 Teorētiskie aprēķini izmantojot datorprogrammas ANSYS paketi, iegūtā modeļa validācija un pilottesti**

Skaitliskais modelis izstrādāts 3-punktu un 4-punktu lieces aprēķiniem atbilstoši EN 789 standartam, kur paneļa laidums ir pieņemts atbilstoši pārbaudāmā paneļa platumam  $B = 300$  un ir vienāds ar  $L = 1100$ , kā arī augšējo lieces punktu distance pieņemta ar soli  $L1 = 300$  (skat. 3.13. att.). Tomēr aprēķina modelis var tikt izmantots arī atbilstoši citai konfigurācijai, izmantojot to laboratorijā veicamās pārbaudes simulācijai un pārbaudei, kurā lieces pārbaudē apakšējo atbalstu attālums būtu  $L = 1000$  mm un solis starp slodzēm  $L1 = 200$  mm.



**3.13. att. Aprēķina modeļa 4-punktu liecē konfigurācija**

Pieci mainīgie parametri tika pieņemti, kas raksturo „sendvič” paneļa šķērsriezuma profila konfigurācijas. Paneļa augstums  $H$ , kas tiek savietots ar

ražotnē realizējamo plātņu variantiem (skat. 3.14. att.). Saplākšņa „sendvič” konstrukcijas augšējā plātnes biezums  $T1$ , saplākšņa „sendvič” konstrukcijas apakšējā plātnes biezums  $T3$ , saplākšņa „sendvič” konstrukcijas stinguma ribu plātņu biezums  $T2$ . Jāatzīmē, ka augšējo un apakšējo apšuvuma plātņu biezums tiek pārrēķināts pēc formulas:

$$T1 = (2 \times N1 + 1) \times tt \quad (3.1.)$$

kur  $tt$  - finiera vienas kārtas vidējais biezums, mm;

$$tt = 1.35.$$

Kā arī ribu reālais kārtu skaits tiek pārrēķināts pēc formulas:

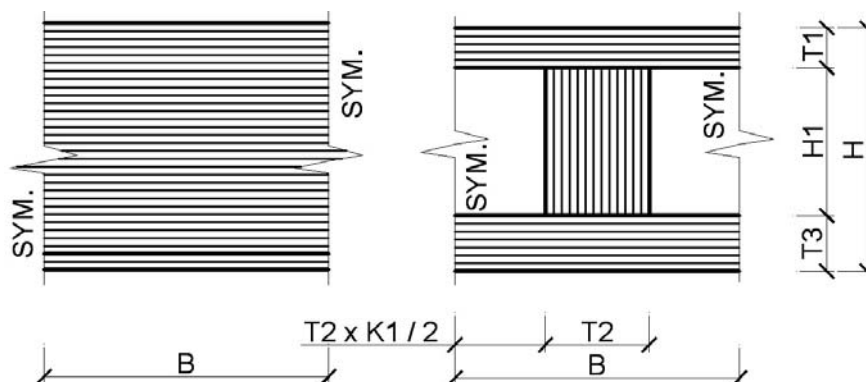
$$T3 = (2 \times N3 + 5) \times tt \quad (3.2.)$$

Kopējai „sendvič” paneļa augstums tiek pieņemts ievērtējot ekvivalentā – references saplākšņa biezumu un kārtu skaitu:

$$H = (2 \times N4 + 17) \times tt \quad (3.3.)$$

Skaitliskā modeļa izveidei tika pieņemts arī „sendvič” ribu izvietojuma koeficients –  $K1$  un ribu daudzuma parametrs  $K2$ , kas nodrošināja vienmērīgu un „sendvič” konstrukcijas platuma  $B$  izveidi pēc formulas:

$$B = (T2 + T2 \times K1) \times K2 \quad (3.4.)$$



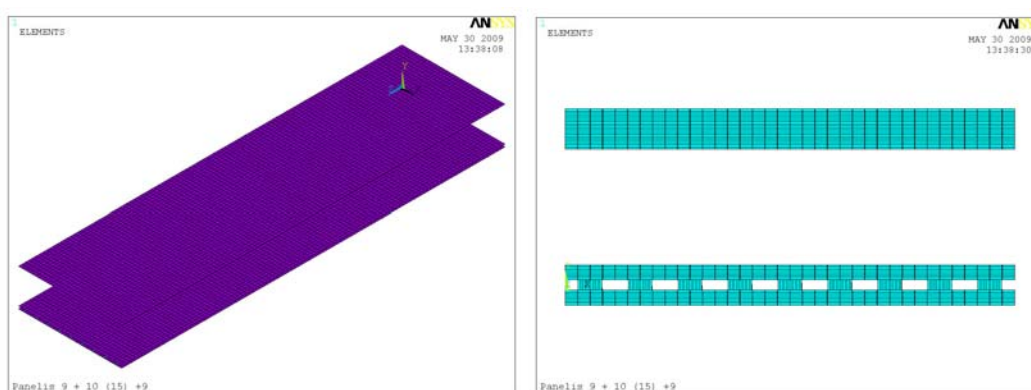
**3.14. att. Pilna klāja un „sendvič” paneļa šķērsriezuma profila konfigurācija**

Skaitliskā modeļa verificācijai tika izveidotas konfigurācijas saskaņā ar definētajiem ģeometriskiem izmēriem, kuri doti 3.13. tabulā.

### Skaitliskā modeļa validācija ar natūras eksperimentu plātnēm

Apzīmē-jums	Augšējās plātnes biezums	N1	Apakšējās plātnes biezums	N3	Ribas platums	N2	Attālums starp ribām	K1
Panelis 1.	6.5	2	9	3	15	3	7	0.467
							12	0.8
							17	1.133
							22	1.467
							27	1.8
							32	2.13
Panelis 2.	6.5	2	9	3	15	3	7	0.467
							12	0.8
							17	1.133
							22	1.467
							27	1.8
							32	2.13
Panelis 3.	9	3	6.5	2	15	3	7	0.467
							12	0.8
							17	1.133
							22	1.467
							27	1.8
							32	2.13

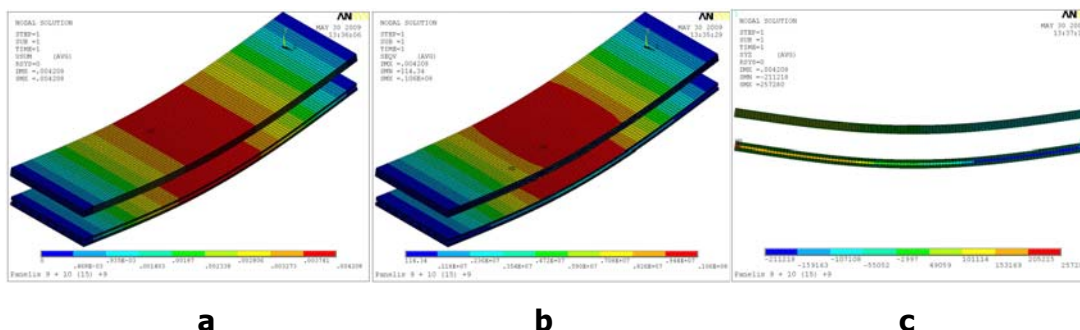
Izstrādātais modelis ir ar ļoti augstu detalizācijas pakāpi ievērtējot materiāla ortotropiju un slāņu virzienu izvietojumus kā tas redzams 3.15 attēlā.



**3.15 att. ANSYS aprēķina modeļa detalizācijas pakāpe.**

Veicot skaitliskos aprēķinus iegūst konstrukcijas stingumu- deformāciju reakcijas  $\delta$  no pieliktās slodzes  $P$ , spriegumu  $\sigma$  sadalījumu slāņainā konstrukcija (virsslāņos un šķērsslāņos) kā arī bīdes spriegumus  $\tau$ . Ļoti svarīga ir relatīvo deformāciju aprēķini, jo šī mērījumi var tikt salīdzināti ar natūras eksperimentos

pievienotajiem tenzorezistoriem. Tādejādi skaitliskais modelis var tikt nokalibrēts un pārbaudīts skaitliskās modeļa uzvedības sakritība ar natūras eksperimentiem. Vispārīga spriegumu un deformāciju aprēķina attēls ir parādīts 3.16 attēlā. Kurā apskatīts panelis ar augšējā un apakšējā plātnes biezums ir 9 mm un 9 ribu biezums ir pieņemts 15mm attālums starp ribām ir pieņemts konstants 17 mm.



**3.16 att. ANSYS aprēķini:**

a- deformācijas  $\delta$ ; b- ekvivalentie spriegumi  $\sigma$ , c- bīdes spriegumi  $\tau$ .

Papildus tiešajiem aprēķiniem tika aprēķināts stinguma efektivitātes koeficients  $\Delta K$  un tilpuma efektivitātes koeficients  $\Delta W$ . Šajā gadījumā standarta saplākšņa plātnes stingums tiek proporcionāli salīdzināts ar „sendvič” konstrukcijas stingumu. Ja stinguma koeficients tuvojas vērtībai 1, tad „sendvič” konstrukcija ir tik pat nespējīga kā standarta panelis. Pretēji tilpuma efektivitātes koeficients, ja viņš tuvojas 1, tas nozīmē, ka „sendvič” konstrukcija nav svara efektīva. Šie efektivitātes koeficienti tika izvērtēti uzražotajiem paneļiem variantiem ar  $0^\circ$  virzienu ārējām kārtām (skat. 3.14 tabulu) un variantam ar  $90^\circ$  virzienu ārējām kārtām (skat. 3.15 tabulu).

3.14 tabula

**Stinguma un svara efektivitāte paneļiem ar  $0^\circ$  virziena ārējām kārtām**

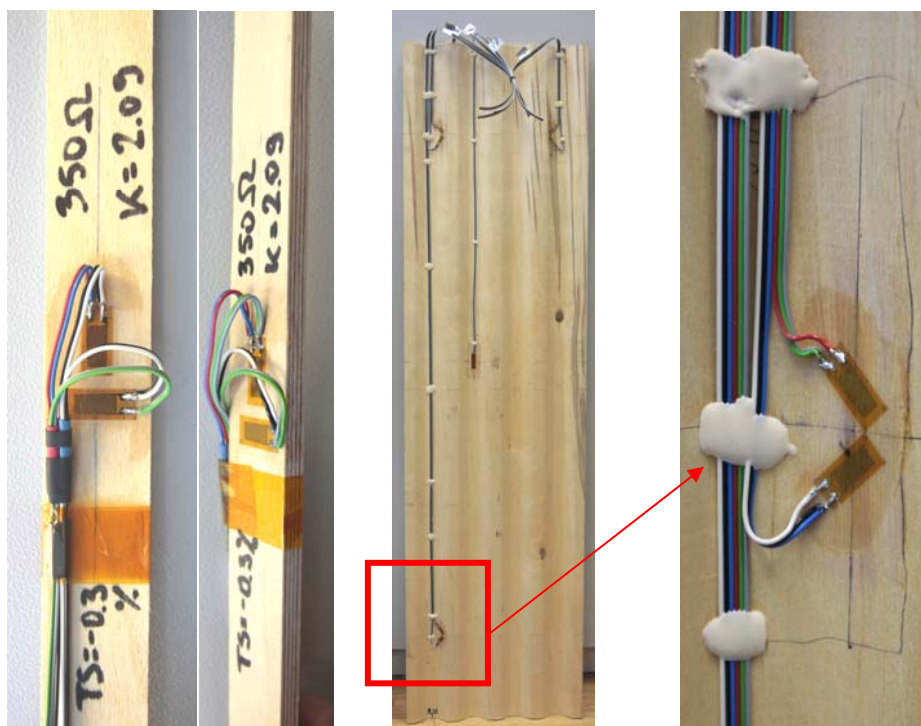
Apzīmējums	Attālums starp ribām	K1	Stinguma ribu skaits	$\Delta K$	$\Delta W$	B
Panelis 1.	7	0.467	13	0.967	0.883	0.29
	12	0.8	11	0.963	0.836	0.30
	17	1.133	9	0.959	0.804	0.30
	22	1.467	8	0.955	0.781	0.30
	27	1.8	7	0.948	0.763	0.30
	32	2.13	6	0.942	0.749	0.29
Panelis 2.	7	0.467	13	0.967	0.883	0.29
	12	0.8	11	0.963	0.836	0.30
	17	1.133	9	0.959	0.804	0.30
	22	1.467	8	0.955	0.781	0.30
	27	1.8	7	0.948	0.763	0.30
	32	2.13	6	0.942	0.749	0.29
Panelis 3.	7	0.467	13	0.967	0.883	0.29
	12	0.8	11	0.963	0.836	0.30
	17	1.133	9	0.959	0.804	0.30
	22	1.467	8	0.955	0.781	0.30
	27	1.8	7	0.948	0.763	0.30
	32	2.13	6	0.942	0.749	0.29

**Stinguma un svara efektivitāte paneļiem ar 90° virziena ārējām kārtām**

<b>Apzīmējums</b>	<b>Attālums starp ribām</b>	<b>K1</b>	<b>Stinguma ribu skaits</b>	<b>ΔK</b>	<b>ΔW</b>	<b>B</b>
Panelis 1.	7	0.467	13	0.903	0.883	0.273
	12	0.8	11	0.898	0.836	0.283
	17	1.133	9	0.892	0.804	0.275
	22	1.467	8	0.887	0.781	0.282
	27	1.8	7	0.880	0.763	0.280
	32	2.13	6	0.874	0.749	0.269
Panelis 2.	7	0.467	13	0.903	0.883	0.273
	12	0.8	11	0.898	0.836	0.283
	17	1.133	9	0.892	0.804	0.275
	22	1.467	8	0.887	0.781	0.282
	27	1.8	7	0.880	0.763	0.280
	32	2.13	6	0.874	0.749	0.269
Panelis 3.	7	0.467	13	0.903	0.883	0.273
	12	0.8	11	0.898	0.836	0.283
	17	1.133	9	0.892	0.804	0.275
	22	1.467	8	0.887	0.781	0.282
	27	1.8	7	0.880	0.763	0.280
	32	2.13	6	0.874	0.749	0.269

Lai salīdzinātu relatīvo deformāciju rādītājus un vienmērīgumu „sendvič” paneļos, laboratorijas eksperimentos tika pievienoti HBM firmas tenzorezistori. Ar tenzorezistoru palīdzību tika kontrolētas relatīvā normālviziena un šķērsvirziena deformācija sendviču plātnēs, kas ir ļoti svarīgi skaitliskā modeļa un eksperimenta validācijai.

Klāja pārbaudes eksperimentā tika izmantoti divu veidu uzņēmuma HBM ražotie SG/LY41 sērijas tenzorezistori. Laboratorijas mērījumiem šķiedru virzienā tika izmantoti tenzorezistori ar 20 mm mērījuma tīklu, bet perpendikulāri šķiedrām 10 mm mērījuma tīklu tenzorezistori (skat. 3.17 att.).



**3.17 att. Tenzorezistori izvietoti uz finiera paraugiem ar 20 mm un 10 mm mērijuma bāzi**

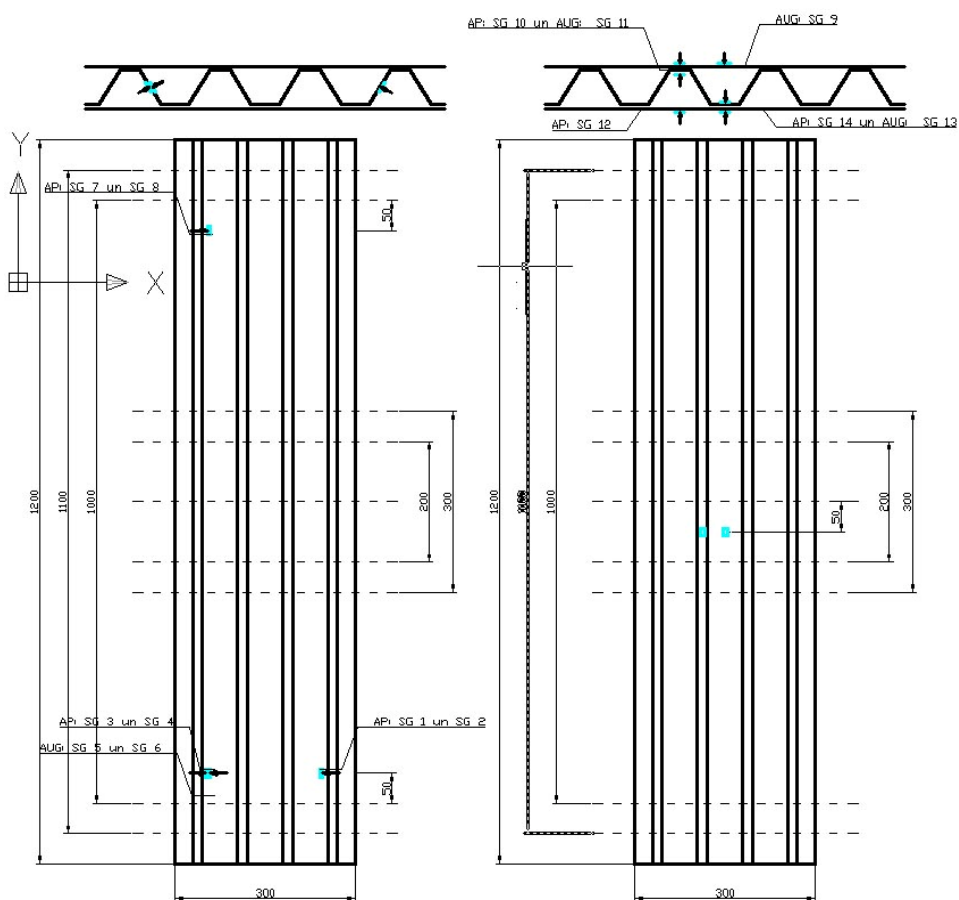
Laboratoriskos eksperimentos paralēli slodzes deformācijas līknēm tika iegūti tenzorezistoru relatīvo deformāciju lasījumi. Kā redzams 3.18 attēlā tenzorezistori izvietoti pāros, tādējādi verificējot nolasījumu mehāniskā suzvedības atbilstību konstrukcijā. Kopā 14 tenzorezistori tik aizvietoti uz katru pārbaudes paneli, kā arī ar tenzorezistoriem tik aprīkoti mazie kupona paraugi un references paneļi (skat. 3.18 attēlu).



**3.18 att. Tenzorezistori izvietoti uz finiera „sendvič” un references plātņu paraugiem**



Tenzorezistoru izvietojums pārbaudāmajās 3D plātnēs attēlots 3.19 attēlā.



**3.19 att. Tenzorezistori izvietojums „sendvič” konstrukcijās**

### 3.5 Trešās nodaļas kopsavilkums

- 1 Pārbaudīto nestandarta saklāšanas shēmu saplākšņu robežstiprība liecē un lieces elastības modulis ir ievērojami lielāki par standarta saklāšanas shēmas saplākšņu šiem rādītājiem;
- 2 Dotajiem nestandarta saklāšanas shēmu saplākšņa segfiniera šķiedru virziens nav robežstiprību noteicošais faktors;
- 3 Liekāka robežstiprība ir saplākšņiem, kuros garenisko finiera kārtu īpatsvars paraugu šķērsgriezuma stieptajā zonā ir lielāks.
- 4 Jo mazāks „sendvič” paneļa augstums, jo vairāk iespējas viņu izprojektēt svara un stinguma ziņā efektīvu risinājumu, turpretim paneļa augstumam pieaugot stinguma un svara efektivitātes balansu ir grūti sasniegt.
- 5 Pie optimāliem risinājumiem stingumam samazinoties tikai par 20% var sasniegt gandrīz 60% materiāla ietaupījumu.
- 6 No svara/ stinguma efektivitātes viedokļa „sendvič” ribas var tikt izvietotas ar aptuveni trīskārša platuma soli.

- 7 Ribu biezums stinguma efektivitāti minimāli ietekmē, tāpēc reālos biezumus jāizvēlas konstruktīvi atbilstoši ražošanas procesam.
- 8 Trīs dimensiju struktūrām ir liels potenciāls materiāla ekonomijas un konstrukcijas svara ziņā. Šādu plātņu matemātiskā modelēšana ir sarežģīta un prasa turpmāko izpēti. Nākotnē prasībā pēc „inteliģentiem” konstrukciju risinājumiem nenoliedzami pieaugs un šādu plātņu „darba spējīgu” matemātisko modeļu izveide ļautu īsā laikā efektīvi piedāvāt dažādus konstrukciju risinājumus.
- 9 Ir izstrādāts materiāls ar zemāku masu, bet ar līdzīgām lieces īpašībām nekā tradicionālais bērza saplāksnis.
- 10 Pētījumi saplākšņu savienmošanai garumā jāturpina optimālā savienojuma izstrādei.

## 4 MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU UZLABOŠANA AR NEKOKSNES MATERIĀLIEM- JAUNA VEIDA STIKLŠĶIEDRAS PRE-PREGU IZGATVOŠANA, TO APROBĀCIJA. JAUNIEGŪTĀ KOMPOZĪTMATERIĀLA FIZIKĀLI MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU NOTEIKŠANA UN IEGŪTO REZULTĀTU IZVĒRTĒŠANA

### 4.1 Vispārēji

Koksnes mehānisko īpašības var uzlabot ar metāla un/vai polimēra konstrukcijām. Koksnes mehānisko īpašību uzlabošana ar metāla konstrukcijām ir pazīstama jau ļoti sen. Galvenokārt izmantoja metāla plāksnes, troses, stieņus. Galvenā problēma, kas radās uzlabojot koksnes mehāniskās īpašības ar metāla elementiem ir to pielīmēšana pie koksnes. Tā kā šie materiāli ir ļoti dažādi, tad rodas grūtības nodrošināt labu adhēziju dažādu ciklisku ārējo faktoru (mitruma, temperatūras vai slodzes) iedarbībā.

Runājot par mehānisko īpašību uzlabošanu izmantojot polimērmateriālus var izdalīt trīs galvenos materiāla tipus- stikla šķiedra, oglekļa/grafīta šķiedra un sintētiskās šķiedras (kevlars, aramīds u.c.). Ņemot vērā ekonomiskos nosacījumus visplašāk pielieto stikla šķiedru, kura ir lētākais materiāls no augstāk minētajiem un kuru ražo Latvijā.

Viens no iespējamiem veidiem kā uzlabot mehāniskās īpašības koksnes plātnēm var būt stikla šķiedras diegu ielīmēšana koksnes plātnē visā tās šķērsgriezumā.

Mehānisko īpašību pastiprinot materiāla īpašības ir atkarīgas no materiāla sastāvdaļām (piemēram, šķiedras veida, pildvielas u.c.) un to uzbūves (piemēram, orientētas, neorientētas daļiņas utml.).

Pprojektā veikti stikla šķiedras adhēzijas pētījumi un arī saplākšņu mehānisko īpašību paaugstināšanu ar dažādu pre-pregu izmantošanu. Stikla šķiedras pre-pregi- auster stikla šķiedras siets vai audums, kurš piesūcināts ar termoreaktīviem sveķiem




Bērza saplākšnis (biezums 9 mm, saklājuma shēma septiņi 1.4 mm biezi bērza finieri blakus esošo finieru šķiedru virziens perpendikulārs) aplīmēts ar stikla šķiedru. Eksperimentā izmantots 2 veidu stikla šķiedras produkti:

- stikla šķiedras pre-pregs- stikla šķiedras siets vai audums piesūcināts ar epoksīda sveķiem. Epoksīda sveķi termoreaktīvi;
- stikla šķiedras audums, lai uzlabotu adhēziju ar fenola formaldehīda līmi, audums apstrādāts ar eļļotāju, kurš satur amino un vinil funkcionālās grupas.

### 4.2 Stikla šķiedras un bērza koksnes adhēzijas pārbaudes

Stikla šķiedras produktu apraksts atrodams 4.1 tabulā.

## Stikla šķiedras veidi

Apzīmējums	KN G 310.1	KN G 500 M4	TG – 200P-1
Ražotājs/ no kā saņemts	P-D Glasseiden GmbH Oschatz	P-D Glasseiden GmbH Oschatz	a/s Vlamieras stikla šķiedra
Parauga apraksts			
Virsmas blīvums, g/m <sup>2</sup>	310	500	200
Apdares veids	Epoxida	Epoxida	302P eļļotājs
Struktūra	biaksiāla	multiaksiāla	audekla pinums
Foto:			

Stikla šķiedras pre pregu KN G 310.1 un KN G 500 M4 gabaliņi novietoti uz saplākšņa Riga Ply 9 mm. Paraugu gabaliņi izgriezti tādā veidā, lai viena mala būtu nepiesūcināta ar sveķiem.

Stikla šķiedras audums TG -200P-1 novietots uz saplākšņa Riga Ply 9 mm, zem tā un virs tā novieto fenola formaldehīda sveķiem piesūcinātu papīru– laminātu ar 1 m<sup>2</sup> masu 220 g.

Saplākšnis ievietots karstajā presē un dažādos presēšanas režīmos sapresēts, presēšanas režīmi tabulā 4.2.

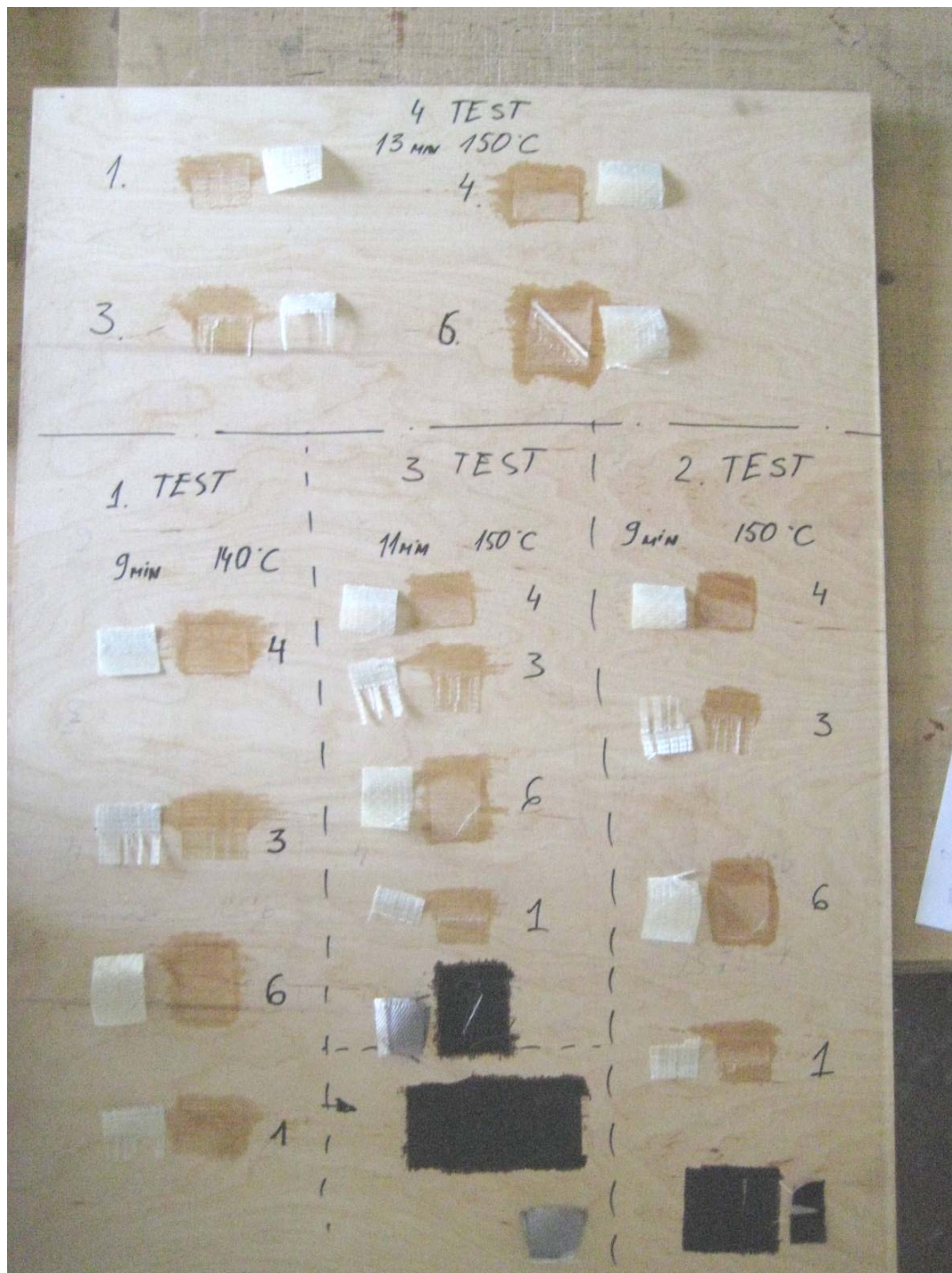
## Presēšanas režīmi

Režīms	Temperatūra, °C	Pilna spiediena laiks, min	Spiediena samazināšanas laiks, min
1	140	9	1
2	150	9	1
3	150	11	1
4	150	13	1

Rezultātu izvērtēšana: paraugus mēģina atdalīt no saplākšņa paņemot ar roku aiz nepielipušās daļas (pre-pregu gadījumā tur kur tie nav piesūcināti ar epoksīda sveķiem; TP 200 auduma gadījumā daļa auduma atstāj nepārklāta ar laminātu).

Paraugi Nr 3 un 1 vislabāk pielīmējās pie saplākšņa. Testa rezultātu izvērtēšana ir subjektīva (paraugi atdalīti ar roku), likās, ka 2 un 3 presēšanas režīmi būtiski neatšķiras. Paraugus 4 un 6 bija vieglāk atdalīt no koksnes un kā redzams attēlā B atdalot no koksnes tos gandrīz pilnībā varēja noplēst. Izturot pēc presēšanas režīmiem 3 un 4 varam novērot, ka šos paraugus daļēji nevar atdalīt no koksnes.

Stikla šķiedra TG-200P-1 visos gadījumos atdalījās viegli. Kā iemesls var tikt minēta šī auduma struktūra, tā ir diezgan cieša un neļauj līmvielai izspiesties cauri (skat. 4.1 att.).



**4.1 att. Adhēzijas pārbaude**

Izvērtējot rezultātus pieņemts lēmums stikla šķiedras paraugus 3 un 1 salīmēt saskaņā ar presēšanas režīmu Nr. 3 (lai būtu pārliecīga, ka iegūta laba adhēzija). Paraugus 4 un 6, kā arī stikla šķiedras audumu saskaņā ar presēšanas režīmu Nr 4.

Pēc sākotnējiem adhēzijas testiem, veikti elastības moduļa un robežstiprības liecē pētījumi un pārbaudes rezultāti aplūkojami tabulā 4.3.

4.3 tabula

**Saplākšņu ar dažādiem pre-pregiem elastības moduļa un robežstiprības liecē rezultāti**

Paraugs	Biezums, mm	Lieces	
		stiprība, N/mm <sup>2</sup>	elastības mod., N/mm <sup>2</sup>
Saplākšnis Riga Ply + pre-pregs Nr 1	9	130.8	12788
Saplākšnis Riga Ply + pre-pregs Nr 3	9	132.9	12506
Saplākšnis Riga Ply + pre-pregs Nr 4	9	137.6	12329
Saplākšnis Riga Ply + pre-pregs Nr 6	9	131.4	12667
Saplākšnis Riga Ply + lamināts 220 gr·mm <sup>-2</sup> + stikla šķiedras audums TG 200 + lamināts 220 gr·mm <sup>-2</sup>	9	115.6	13515
Saplākšnis Riga Ply	9	88.5	9804

**4.3 Stikla šķiedras izmantošanas iespējas splākšņu mehānisko īpašību paaugstināšanai**

Pēc sākotnējiem eksperimentiem, veikti papildus pre-pregu īpašību apskate, iegāde un pielietojamības pārbaudes splākšņu materiāliem.

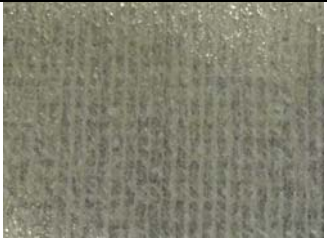

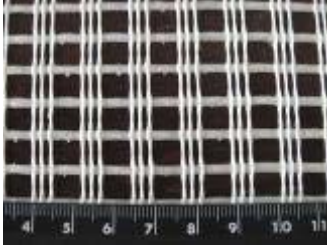
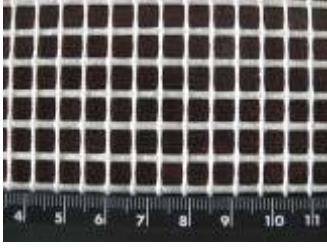
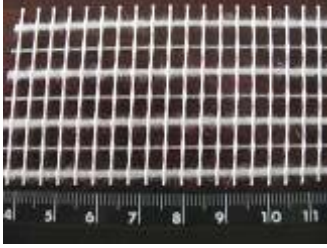
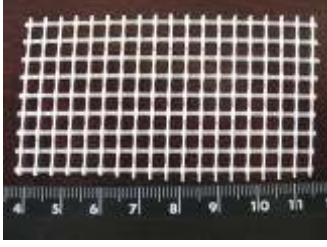
Pētījumā izmantotos stikla šķiedras materiālus var iedalīt divās grupās:




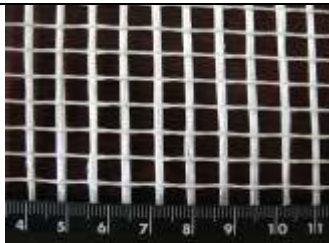
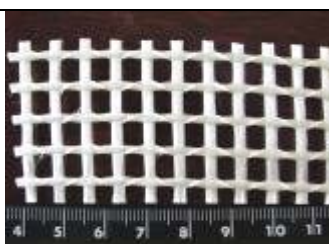
- stikla šķiedras sieti;
- stikla šķiedras pre-pregi.

Stikla šķiedras sieti- stikla šķiedra saauستا sietā. Iespējami dažādi sieta „acu” izmēri un šķiedras pavedienu diametri. Pavedieni var būt biaksiāli vai multiaksiāli austi. Siets var būt speciāli apstrādāts ar dažādām ķīmiskām vielām ar mērķi uzlabot noteiktas tā īpašības, piemēram, adhēzijas saišu veidošanu ar fenola formaldehīda sveķiem u.c.

Dotajiem pre-pregiem var variēt sveķu receptes un auduma struktūra (skat. 4.4. tabulu).

## Stikla šķiedras veidi

Nr.	Apraksts	Attēls
1	Svars: $310 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	
2	Svars: $310 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	
3	Svars: $322 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	
4	Svars: $214 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	
5	Svars: $122 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Aksilāta dispersija ar sveķu maisījumu, 21.5%	
6	Svars: $144 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Aksilāta dispersija ar sveķu maisījumu, 15.7%	

7	Svars: $144 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	
8	Epoksīda sveķi FR4, saturs – 48.8%	
9	Epoksīda sveķi FR4 saturs – 40.7%	
10	Svars: pie $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - $78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ; pie $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - $82 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Svars uz 1 kvadrātmētru- stikls: $160 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Kopējais svars: $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Sveķu saturs: $60 \%$ viskozitāte pie temperatūras $140^{\circ}\text{C}$ : $60 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	
11	Svars uz 1 kvadrātmētru - stikls: $139 \text{ g}/\text{m}^2$ Kopējais svars: no $155 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ līdz $165 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	
12	Svars uz 1 kvadrātmētru- stikls: $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Kopējais svars: aptuveni $600 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	

Stikla šķiedras sietu un pre-pergu pielietojums plātņu industrijā tehnoloģiski nav sarežģīts. Process pilnībā atgādina jau ražošanā eksistējošo saplākšņu laminēšanu ar fenola formaldehīda sveķiem piesūcinātu papīru. Problēma rodas nodrošināt adhēziju starp stikla šķiedru un koksni.

Stikla šķiedras sieti uzlīmē uz saplākšņa Riga Ply, izmantojot laminātu- papīru, kas piesūcināts ar fenola formaldehīda sveķiem, viena  $\text{m}^2$  lamināta svars  $220 \text{ gr}$ . Izmantojot laminātus, sietu līmē divējādi- novietojot starp diviem laminātiem vai novietojot tieši uz saplākšņa un pārklājot ar laminātu. Ir arī papildus variants- siets ielīmēts saplākšņī zem segfiniera. Šāda veida pielietojums ļauj saglabāt bērza saplākšņa dabisko izskatu.



Stikla šķiedras sieta un saplākšņa saklājuma shēmas aplūkojamas tabulā 4.5.

4.5 tabula

### Saplākšņa ar stikla šķiedras sietu saklājuma shēmas

Stikla šķiedras Nr.	Saklājuma shēma	Biezums, mm
4	I X — I — I — X I	9
3	I X — I — I — X I	9
4	FF X FF I — I — I — I FF X FF	9
3	FF X FF I — I — I — I FF X FF	9
5	FF X FF I — I — I — I XFF	9
5	FF X I — I — I — I FF X FF	9
6	FF X FF I — I — I — I X FF	9
6	FF X I — I — I — I FF X FF	9
7	FF X I — I — I — I FF X FF	9

**Piezīme:** FF papīrs piesūcināts ar fenola formaldehīda sveķiem 220 gr/m<sup>2</sup>; X stikla šķiedras siets; I bērza finieris 1.45 mm, šķiedru virziens paralēli garenasij; — bērza finieris, šķiedru virziens perpendikulārs garenasij, no abām pusēm pārklāts ar fenola formaldehīda sveķu līmi.

Stikla šķiedras prepregus izmanto saplākšņa laminēšanai. Saklājuma shēmas attēlotas tabulā 4.6.

4.6 tabula

### Saplākšņu aplimēta ar prepregiem saklājuma shēmas

Stikla šķiedra	Saklājuma shēma	Biezums, mm
2	PP I — I — I — I PP	9
1	PP I — I — I — I PP	9
9	PP I I I — I — I — I — I — I — I I I PP	23
10	PP I I I — I — I — I — I — I — I I I PP	22.8

**Piezīme:** PP prepregs; I bērza finieris 1.45 mm, šķiedru virziens paralēli garenasij;— bērza finieris, šķiedru virziens perpendikulārs garenasij, no abām pusēm pārklāts ar fenola formaldehīda sveķu līmi.

Viens no būtiskākajiem stikla šķiedras produktu pielietošanas iespēju ierobežojošiem faktoriem ir presēšanas režīmi. Presēšanas režīmus raksturo trīs mainīgie lielumi: presēšanas temperatūra, spiediens un laiks. Būtiskākie parametri ir temperatūra un laiks. Parametrs „laiks” tieši ietekmē ražošanas tehnoloģijas ražīgumu un gala produkta izmaksas. Presēšanas režīmi izvēlēti sekojoši:

- spiediens robežās no 1.6 līdz 1.8 MPa;
- temperatūra 135... 150 °C;
- presēšanas laiks 10... 30 min.

Stikla šķiedras paraugi presēti presē variējot ar visiem trim presēšanas režīmu faktoriem ar mērķi noteikt optimālos presēšanas režīmus. Mehānisko īpašību pārbaucē paraugi salīmēti pie optimālajiem presēšanas režīmiem.

Lieces stiprību un elastības moduļa vērtības saskaņā ar standarta LVS EN 310 un LVS EN 789 prasībām 9 mm biežam ar stikla šķiedru aplīmētam saplāksnim aplūkojamas tabulā 4.7.

4.7 tabula

**Lieces īpašības ar stikla šķiedru aplīmētam saplāksnim**

Stikla šķiedra	Biezums, mm	Paralēli šķiedru virzienam N·mm <sup>-2</sup>		Perpendikulāri šķiedru virzienam N·mm <sup>-2</sup>	
		Stiprība	Elastības modulis	Stiprība	Elastības modulis
2	9	131.9	12647	-	-
1	9	134.5	12498	-	-
4	9	100	11830	54.1	4739
3	9	103.2	12148	56.4	4936
4	9	103	11025	83.8	6954
3	9	106.7	10596	89	7500
5	9	98.7	9950	58.8	7007
5	9	103.4	11319	85	7293
6	9	105.6	11167	83.3	7353
6	9	103.4	11319	85	7293

Kā redzams no rezultātiem, vairumā kompozītmateriāla (saplāksnis+stikla šķiedra) gadījumu ir novērojama būtiska īpašību uzlabošanās, it sevišķi, aplīmējot saplāksni ar prepregiem, kas izskaidrojams ar relatīvi lielāku stikla šķiedras masu. Prepregu pozitīvos rezultātus var skaidrot ar faktu, ka prepregos ir nozīmīgs sveķu daudzums. Sveķi, iesūcoties koksnes šūnās var sasaistīt šūnu sienīgas, aizpildot šūnu brīvās vietas, tādējādi uzlabojot saplāksņa virskārtas mehāniskās īpašības. Šī pieņēmuma izvērtēšanai ir nepieciešams papildus veikt virsmas mikroskopisko analīzi.

Ņemot vērā augstāk uzrādītos rezultātus, tika izgatavoti 24 mm biezi saplāksņi ar mērķi aizstāt 27 mm biezu tradicionālo saplāksni.

Kā redzams tabulā 4.7, vienā virzienā lieces stiprība un elastības modelis pieaug ievērojami. Tas skaidrojams ne tikai ar stikla šķiedras īpašībām, bet arī ar to, ka ar prepregiem aplīmētam saplāksnim ir speciāla finieru konstrukcija, t.i., trīs ārējās kārtās finieru šķiedru virziens orientēts vienā virzienā. Ar šo speckonstrukciju var izskaidrot otra virziena lieces īpašību negatīvās vai salīdzinoši mazās izmaiņas.

Salīdzinot šo saplāksņu funkcionālās īpašības, slogojot ar vienādām slogojuma shēmām (pie vienādiem attālumiem starp atbalstiem un slodzes pielikšanas vietām), kā arī, pieliekot vienādu spēku 3000 N, ar prepregiem aplīmēta saplāksņa izliece ir 10...15 reizes lielāka nekā parastās vai speciālās konstrukcijas (trīs ārējās kārtas finieru šķiedru virziens orientēts vienā virzienā) saplāksnim ar biežumu 27 mm.

Ņemot vērā, ka viens no būtiskākajiem rādītājiem transporta industrijā izmantojam saplāksnim ir izliece, tad jāatzīst, ka biežāka saplāksņa aizstāšana ar plānāku saplāksni, kas aplīmēts ar stikla šķiedras prepregu, nav sasniedzama, augstākas izlieces dēļ pie vienādām slodzēm.

#### 4.4 Ceturtās nodaļas kopsavilkums

- 1 Stikla šķiedras produkti demonstrē lielisku iespēju uzlabot bērza saplākšņa mehāniskās īpašības. 9 mm biezs bērza saplākšni aplīmēta ar stikla šķiedru uzrāda augstākus stiprības rādītājus robežās no 30 līdz 55 % un augstāku elastības moduli robežās 25 līdz 37 %.
- 2 Stikla šķiedras audums TG 200 uzrāda zemu adhēziju ar saplākšni. To viegli atdalīt no saplākšņa virsmas. Kā viens no iemesliem varētu būt, tas, ka šis audums cieši noausts un līmviela nespēj izspiesties tam cauri un tādejādi neizveidojas savstarpējās saites. Apakšējais lamināts labi pielīp pie koksnes, taču augšējais nespēj sasaistīties ar apakšējo (līmviela nespēj caur spiesties) un tajā pašā laikā stikla šķiedra arī neveido saites ar fenola formaldehīda sveķiem.
- 3 Vislabākā adhēzija novērota pre-pregam 1 un 3. pie presēšanas režīma temperatūra 150 °C un laiks 11 min. Saplākšņa laminēšanas režīms ar fenola formaldehīda sveķiem piesūcinātu papīru ir - presēšanas režīma temperatūra 130 °C un laiks 7 min.
- 4 Aplīmējot saplākšni ar stikla šķiedru, ir iespējams būtiski uzlabot saplākšņa nestspēju. Taču, aizvietojot biezāku saplākšņa plātņi ar plānāku plātņi, kas pastiprināta ar stikla šķiedru, palielinās izliece, kas var kļūt par iemeslu produkta funkcionālai neatbilstībai.
- 5 Autobūves industrijā, pielietojot saplākšni grīdas konstrukcijās, izliece ir viens no svarīgākiem rādītājiem. Ņemot vērā augstāk minēto, nav iespējama 27 mm bieza saplākšņa aizstāšana ar 24 mm saplākšni, kas aplīmēts ar stikla šķiedru, bez papildus plātnes stinguma (stiffness) nodrošināšanas.
- 6 Kā viens no optimālākiem variantiem ir saplākšņa mehānisko īpašību uzlabošana ar stikla šķiedru sietiem viegli realizējams ražošanas laminējot saplākšni. Šādam saplākšnim mehāniskās īpašības garenvirzienā pieaug par 10 – 20 %, papildus prognozējama īpašību izkliedes mazināšanās.
- 7 Stikla šķiedras preperegi - pārbaudes uzrādīja lielu potenciālu šādu materiālu pielietošanai speciālos gadījumos. Taču pārbaudēs izmantotie materiālus nepieciešams uzlabot, jo labu adhēziju panākt varēja pie presēšanas režīmiem spiediens 1.8MPa, temperatūra 150 °C un laiks 30 min. Nepieciešami turpmākie pētījumi ar mērķi uzlabot pre-pregu adhēziju ar saplākšni pie presēšanas režīmiem ar zemāku temperatūru un īsāku presēšanas laiku.

## 5 KOKSNES PLĀTŅU AR PAAUGSTINĀTU ĪPATNĒJO STIPRĪBU RAŽOŠANAS PAŅĒMIENU IZSTRĀDE

Pētījuma gaitā, veicot esošo un jaunizstrādāto materiālu ar paaugstinātu īpatnējo stiprību fizikāli mehānisko īpašību noteikšanu, izstrādāts patenta pieteikums iesniegšanai LR patentu valdē. Tā kā izstrādātajā patenta pieteikumā ir minētas būtiskas jaunizstrādātā materiāla izgatavošanas tehnoloģiskā specifikācija un pirms patenta iesniegšanas nedrīkst šos datus publicēt, tad tie kļūs zināmi tikai pēc patenta publicēšanas LR patentu valdē.

## 6 PROJEKTA REALIZĀCIJAS KOPSAVILKUMS

### 6.1 Visu nodaju kopsavilkums

- 1 Sekojot produktu attīstības tendencēm pasaulē, veikta jauna tipa koksnes plātņu izstrāde ar paaugstinātu īpatnējo stiprību, tādējādi radot produktu ar augstinātu pievienoto vērtību.
- 2 Izstrādāti iespējamie saplākšņu savienošanas garumā risinājumi.
- 3 Risināti tehnoloģiskie parametri un izstrādi ražošanas paņēmieni, kuri apvienoti izstrādātajā patenta pieteikumā.
- 4 Ugunsdrošības pārbaudes metodes un maksimālās pieļaujamās vērtības variē gan dažādu valstu, gan transporta industrijā koncernu robežās. Taču veicot pārbaudes saskaņā ar BS 6853 ir iespējams gūt priekšstatu un paredzēt produkta atbilstību vairums no normatīvajiem dokumentiem.
- 5 Bērza saplāksnis Riga Ply, Riga Form un Riga Tex biezumā no 6.5 līdz 12 mm var izmantot M3 kategorijas auto transporta līdzekļu ražošanai.
- 6 Visi saplākšņa veidi ir pielietojami dzelzceļa vagonu būvē kā grīdas elementi, augstākas prasības klases (Ia) nosacījumiem atbilst Riga Tex un jaunizveidotais produkts Riga C.
- 7 Pielietojot saplāksni kā vagonu interjera sastāvdaļu vertikālās virsmās, nepieciešama ugunsreakcijas īpašību uzlabošana. Pprodukti (Riga Prime, Riga Composite un Riga A (projekta ietvaros izstrādāts produkts)) atbilst ierobežotam pielietojumam šajā sfērā.
- 8 Saplākšņu ugunsreakcijas īpašības ir iespējams uzlabot, uzlabojot saplākšņu ražošanā izmantojamo sintētiskās sveķu līmes ugunsreakcijas īpašības.
- 9 Pārbaudīto nestandarta saklāšanas shēmu saplākšņu robežstiprība liecē un lieces elastības modulis ir ievērojami lielāki par standarta saklāšanas shēmas saplākšņu šiem rādītājiem;
- 10 Dotajiem nestandarta saklāšanas shēmu saplākšņa segfiniera šķiedru virziens nav robežstiprību noteicošais faktors;
- 11 Liekāka robežstiprība ir saplākšņiem, kuros garenisko finiera kārtu īpatsvars paraugu šķēsgriezuma stieptajā zonā ir lielāks.
- 12 Jo mazāks „sendvič” paneļa augstums, jo vairāk iespējas viņu izprojektēt svara un stinguma ziņā efektīvu risinājumu, turpretim paneļa augstumam pieaugot stinguma un svara efektivitātes balansu ir grūti sasniegt.
- 13 Pie optimāliem risinājumiem stingumam samazinoties tikai par 20% var sasniegt gandrīz 60% materiāla ietaupījumu.
- 14 No svara/ stinguma efektivitātes viedokļa „sendvič” ribas var tikt izvietotas ar aptuveni trīskārša platuma soli.
- 15 Ribu biezums stinguma efektivitāti minimāli ietekmē, tāpēc reālos biezumus jāizvēlas konstruktīvi atbilstoši ražošanas procesam.
- 16 Trīs dimensiju struktūrām ir liels potenciāls materiāla ekonomijas un konstrukcijas svara ziņā. Šādu plātņu matemātiskā modelēšana ir sarežģīta un prasa turpmāko

- izpēti. Nākotnē prasībā pēc „inteliģentiem” konstrukciju risinājumiem nenoliedzami pieaugs un šādu plātņu „darba spējīgu” matemātisko modeļu izveide ļautu īsā laikā efektīvi piedāvāt dažādus konstrukciju risinājumus.
- 17 Ir izstrādāts materiāls ar zemāku masu, bet ar līdzīgām lieces īpašībām nekā tradicionālais bērza saplāksnis.
  - 18 Pētījumi saplākšņu savienošanai garumā jāturpina optimālā savienojuma izstrādei.
  - 19 Stikla šķiedras produkti demonstrē lielisku iespēju uzlabot bērza saplākšņa mehāniskās īpašības. 9 mm biezs bērza saplāksni aplīmēta ar stikla šķiedru uzrāda augstākus stiprības rādītājus robežās no 30 līdz 55 % un augstāku elastības moduli robežās 25 līdz 37 %.
  - 20 Stikla šķiedras audums TG 200 uzrāda zemu adhēziju ar saplāksni. To viegli atdalīt no saplākšņa virsmas. Kā viens no iemesliem varētu būt, tas, ka šis audums cieši noausts un līmviela nespēj izspiesties tam cauri un tādejādi neizveidojas savstarpējās saites. Apakšējais lamināts labi pielīp pie koksnes, taču augšējais nespēj sasaistīties ar apakšējo (līmviela nespēj caur spiesties) un tajā pašā laikā stikla šķiedra arī neveido saites ar fenola formaldehīda sveķiem.
  - 21 Vislabākā adhēzija novērota pre-pregam 1 un 3. pie presēšanas režīma temperatūra 150 °C un laiks 11 min. Saplākšņa laminēšanas režīms ar fenola formaldehīda sveķiem piesūcinātu papīru ir - presēšanas režīma temperatūra 130 °C un laiks 7 min.
  - 22 Aplīmējot saplāksni ar stikla šķiedru, ir iespējams būtiski uzlabot saplākšņa nestspēju. Taču, aizvietojot biežāku saplākšņa plātņi ar plānāku plātņi, kas pastiprināta ar stikla šķiedru, palielinās izliece, kas var kļūt par iemeslu produkta funkcionālai neatbilstībai.
  - 23 Autobūves industrijā, pielietojot saplāksni grīdas konstrukcijās, izliece ir viens no svarīgākiem rādītājiem. Ņemot vērā augstāk minēto, nav iespējama 27 mm bieza saplākšņa aizstāšana ar 24 mm saplāksni, kas aplīmēts ar stikla šķiedru, bez papildus plātnes stinguma (stiffness) nodrošināšanas.
  - 24 Kā viens no optimālākiem variantiem ir saplākšņa mehānisko īpašību uzlabošana ar stikla šķiedru sietiem viegli realizējams ražošana laminējot saplāksni. Šādam saplāksnim mehāniskās īpašības garenvirzienā pieaug par 10 – 20 %, papildus prognozējama īpašību izkliedes mazināšanās.
  - 25 Stikla šķiedras preperegi - pārbaudes uzrādīja lielu potenciālu šādu materiālu pielietošanai speciālos gadījumos. Taču pārbaudēs izmantotie materiālus nepieciešams uzlabot, jo labu adhēziju panākt varēja pie presēšanas režīmiem spiediens 1.8MPa, temperatūra 150 °C un laiks 30 min. Nepieciešami turpmākie pētījumi ar mērķi uzlabot pre-pregu adhēziju ar saplāksni pie presēšanas režīmiem ar zemāku temperatūru un īsāku presēšanas laiku.

## 6.2 Projekta rezultatīvie rādītāji

- 1 Noteiktas lieces īpašības četru veidu bērza saplāksnim saskaņā ar LVS EN 310 un LVS EN 789 standartu metodikām.
- 2 Veikti pētījumi par saplākšņa lieces īpašību uzlabošanu, izmantojot stikla šķiedru. Saražoti paraugi, izmantojot vairāku veidu stikla šķiedru produktus, noteiktas lieces īpašības saskaņā ar LVS EN 310.
- 3 Izstrādāti divu veidu jauni koksnes plātņu produkti ar paaugstinātu īpatnējo stiprību.
- 4 Veikts jaunizstrādātas plātnes ar paaugstinātu īpatnējo stiprību tehnoloģiskais optimizēšanas process.
- 5 Publikācijas:
  - Zudrags K., Ludviksone – 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), 2008, Rīga, Latvija.
  - 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), 2009, Kopenhāgena, Dānija.
  - 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", SSTA 2009, Taylor & Francis, 2009, Jurata, Polija.
- 6 Ņemta dalība konferencēs:
  - EcoWood 2008, Porto, Portugālē, Kaspars Zudrags, 09-11.09.2008.
  - International Panel Products Symposium 2008, Helsinki, Somija, Kaspars Zudrags, 23-26.09.2008.
  - Holz innovative, Rozenheima, Vācija, Sanita Ludvigsones- Rudzīte, Kaspars Zudrags, 30.03.-03.04.2009.
  - IPPS 2009 un COST E49, Nante, Francija, Kaspars Zudrags, 13-18.09.2009.
  - 5th meeting of Nordic Baltic Network in Wood Material Science & Engineering, Kopenhāgenā, Dānija, Kaspars Zudrags, 01-02.10.2009.
- 7 Izveidota sadarbība ar:
  - IHD institūts, Drēzdene, Vācija, 16.10.2008.
  - Bodycote testēšanas laboratorija, Varingtona, Anglija, 09.-10.10.2008.
  - RTU, Rīga, Latvija.
- 8 Izstrādāts patenta pieteikums iesniegšanai LR Patentu valdē.

## 7 IZMANTOTĀ LITERATŪRA

### Patenti un grāmatas

1. Alann André, *Fibres For Strengthening Of Timber Structures*. Luleå University of Technology; Luleå, February 2006.
2. ASV Patents 4758478, 1988, Fast curing phenolic resins and bonding methods employing same.
3. ASV Patents 5106697, 1992, Fast curing phenolic resin for making plywood.
4. ASV Patents 5451657, 1995, Phenolic resol plywood resin, manufacture and use.
5. ASV Patents 5763559, 1998, Phenol-formaldehyde resins modified with guanidine salts.
6. Choi M. H., Byun H. Y., Chung I. J. The effect of chain length of flexible diacid on morphology and mechanical property of modified phenolic resin, *Polymer* 43 (2002) 4437-4444.
7. Ghosh N.N., Kiskan B., Yagci Y. Polybenzoxazines - New high performance thermosetting resins: Synthesis and properties, *Prog. Polym. Sci.* 32 (2007) 1344–1391.
8. Moubarik A., Pizzi A., Allal A., Charrier F., Charrier B. Cornstarch and tannin in phenol-formaldehyde resins for plywood production. *Industrial Crops and Products* 30 (2009) 188–193.
9. Meža nozare Latvijā 2008, Latvijas Kokrūpniecības federācija, Rīga, 2008, 31 lpp.
10. Nair C.P. R. Advances in addition-cure phenolic resins, *Prog. Polym. Sci.* 29 (2004) 401–498.
11. Rigoberto Burgueño, Mario J. Quagliata, Amar K. Mohanty, Geeta Mehta, Lawrence T. Drzal and Manjusri Misra. Load-bearing natural fiber composite cellular beams and panels, Elsevier, 2004., ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)).
12. Surna J., Alksnis A., Perniķe R., Zoldners J. *Sintētiskās līmes, R.: Liesma, 1965, 92 lpp.*
13. Tai N-H., Yeh M-K, Peng T-H. Experimental study and theoretical analysis on the mechanical properties of SWNTs/phenolic composites, *Composites: Part B* 39 (2008) 926–932.
14. Takeichi T., Kawauchi T., Agag T. High Performance Polybenzoxazines as a Novel Type of Phenolic Resin, *Polymer Journal*, Vol. 40 (2008) , No. 12 pp1121-1131.
15. Wang, M., Leitch, M., Xu, C. Synthesis of phenol-formaldehyde resol resins using organosolv pine lignins, *European Polymer Journal* (2009), doi: 10.1016/j.eurpolymj.2009.10.003.
16. Wool R. P., Sun X. S. *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier, 2005, 620 p.
17. Zmihorska-Gotfryd A. Coating compositions based on modified phenol-formaldehyde resin and urethane prepolymers, *Progress in Organic Coatings* 49 (2004) 109–114.



18. Волынский В.Н., Технология клееных материалов: Учебное пособие для вузов (2-е изд., исправленное и дополненное). Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. - 280 с.
19. Качалин Н.В., Справочник по производству фанеры. Москва: "Лесная промышленность", 1984. - 354 с.
20. Кардашов Д. А. Конструкционные клеи. Москва: Химия, 1980, 288 с.
21. Карсункин В.В., Обрезкова В.А., Конструкции из дерева и пластмасс: Методические указания для курсовой работы. Ульяновск: УлГТУ, 2006. - 22 с.
22. Кондратьев В. П., Доронин Ю. Г. Водостойкие клеи в деревообработке, Москва: Лесная промышленность, 1988, 216 с.
23. Петрова А. П. Термостойкие клеи. Москва: Химия, 1977, 200 с.

### **Standarti**

24. LVS EN 310:2001 Koka skaidu plāksnes - Elastības moduļa un lieces spēka noteikšana.
25. LVS EN 789:2005 Koka konstrukcijas - Testa metodes - Koksnes plātņu mehānisko īpašību noteikšana
26. LVS EN 1995-1-2 Eurocode 5 - Design of timber structures – Part 1-2: General - structural fire design, European committee for standartization (CEN), 2004. 69 p.

### **Interneta resursi**

27. [http://priede.bf.lu.lv/grozys/Skoleeniem/ESF\\_mikr\\_un\\_suna/augu\\_anat/Augu\\_anat\\_m\\_ac\\_met\\_materiali/Lekcijas/04\\_lekcija\\_sunapvalks.pdf](http://priede.bf.lu.lv/grozys/Skoleeniem/ESF_mikr_un_suna/augu_anat/Augu_anat_m_ac_met_materiali/Lekcijas/04_lekcija_sunapvalks.pdf) (skat. internetā 15.10.09.)
28. <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=250395>, (skat. internetā 15.10.09.)
29. [http://www.compriscomposites.com/COMPRIS\\_FPS\\_2003\\_POSTER.pdf](http://www.compriscomposites.com/COMPRIS_FPS_2003_POSTER.pdf) (skat. internetā 16.03.09.).
30. How Green Is Recycled Plastic Lumber? Thursday , January 08, 2009 By Rita Cant, <http://www.foxnews.com/index.html> (skat. internetā 31.03.09.).
31. S.J. Pickering (School of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering, The University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, UK). Recycling technologies for thermoset composite materials—current status, Composites: Part A 37 (2006) 1206–1215.
32. [http://www.ecrcgreenlabel.org/www\\_ecrc/ecrc\\_home\\_4\\_2\\_0\\_f.htm?timestamp=1239781937032](http://www.ecrcgreenlabel.org/www_ecrc/ecrc_home_4_2_0_f.htm?timestamp=1239781937032) (skat. internetā 15.04.09.).
33. COWI. Waste minimisation through cleaner technology applications. Cleaner technology at the fibre glass factory.
34. (<http://209.85.129.132/search?q=cache:AXxjWbYmAt4J:www.dynacase.com/our-cases.html+reinforced+plywood&cd=20&hl=lv&ct=clnk&gl=lv>).
35. <http://www.ngcc.org.uk/DesktopDefault.aspx?tabindex=47&tabid=467>,(skat. internetā 05.03.2009).