

## **Inovatīva tehnoloģija šķiedraugu atlikumu kompleksai pārstrādei produktos ar augstu pievienoto vērtību**

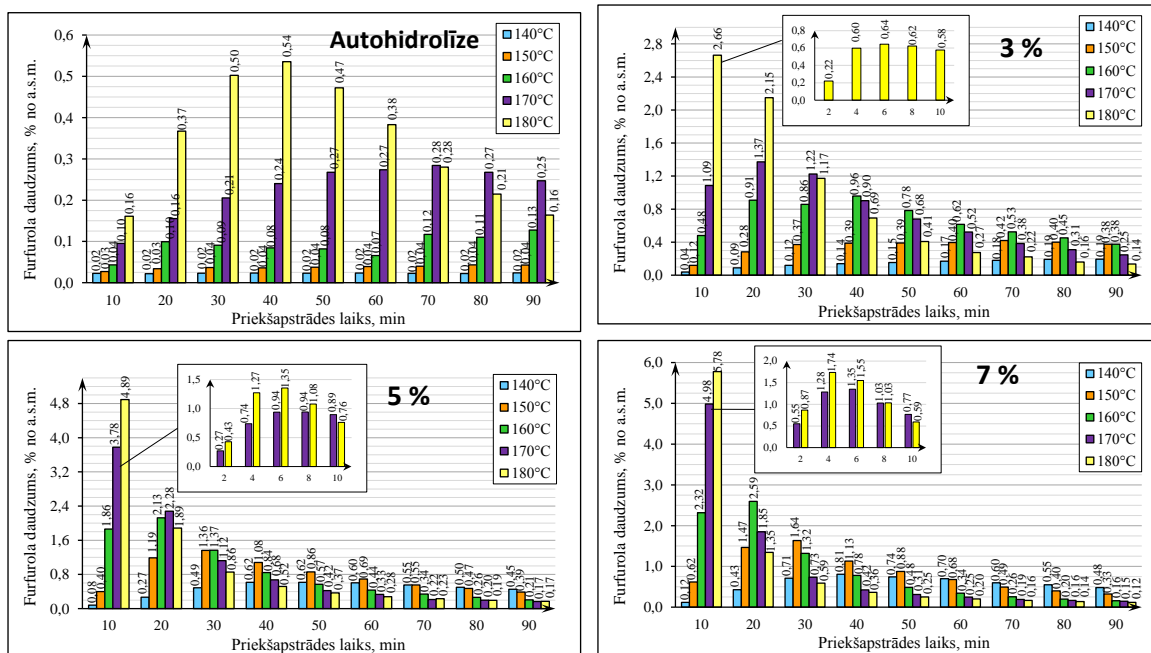
Eiropas Sociālā Fonda projekts

(Nr. 2013/0044/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/022)

### **Veiktā pētījuma īss kopsavilkums par periodu 01.09.2014. - 30.11.2014.**

**2.1. aktivitātes „Kaņepju spaļu priekšapstrādes pētījumi furfurola iegūšanai”** ietvaros kaņepju spaļu priekšapstrādes procesa pētījumiem izmantojām frakciju 3-12 mm, kas sastāda 77% no kaņepju šķiedru ražošanas pārpalikumiem un ir lietderīga izejviela ķīmiskai pārstrādei. Iepriekšējā pārskatā minēts, ka paaugstinot temperatūru, palielinās furfurola veidošanās ātrums, kā rezultātā pie visiem katalizatora daudzumiem furfurola veidošanās maksimums nobīdās tuvāk procesa sākumam un temperatūras intervālā 170-180°C tas tiek sasniegts jau pirmajās 10 minūtēs. Savukārt, raugoties no katalizatora daudzuma ietekmes, parādījās pirmais optimālais parametrs – 5%, kur augstāk minētā temperatūras intervālā sasniegtais kopējā furfurola iznākums ir visaugstākais.

Palielinot katalizatora daudzumu, furfurola veidošanās maksimumi nobīdās tuvāk procesa sākumam. Ja pie zemākām temperatūrām katalizatora daudzuma palielināšana līdz 7%, rēķinot uz a.s. kaņepju spaļu masu, dod būtisku iegūtā furfurola daudzuma pieaugumu atkarībā no procesa ilguma, tad pēc 170°C novērojams būtisks furfurola daudzuma palielinājums tikai līdz katalizatora daudzumam 5%. Ja skatās furfurola iznākuma atšķirības pie priekšapstrādes procesa temperatūras 170 un 180°C, izvēloties katalizatora daudzumu 5% un 7%, tad nebūtisks furfurola veidošanās maksimuma palielinājums 7% gadījumā pamanāms tikai pirmajās 6-8 minūtēs, pēc tam notiek furfurola veidošanās maksimuma izlīdzināšanās un pat paaugstināšanās pie katalizatora daudzuma 5% (skat. 1. att.).



1. attēls. Furfurola veidošanās dinamika atkarībā no katalizatora daudzuma pie dažādām priekšapstrādes procesa temperatūrām.

Līdzīgas sakarības uzrāda kopējo organisko skābju veidošanās dinamika, kas, kā jau iepriekšējā pārskatā minēts, notiek paralēli furfurola veidošanās procesam un veicina tā katalīzi.

Celulozes sadalīšanās pakāpe (CSP) ir tieši, bet polimerizācijas pakāpe (PP) ir apgriezti proporcionāli lielumi kā priekšapstrādes procesa temperatūrai, tā arī katalizatora daudzumam (skat. 1.Tabulu). Skatoties pēc PP, var secināt, ka celulozes makromolekulu depolimerizācija notiek jau pie relatīvi zemām temperatūrām – ja izejvielas celulozei PP ir 800, tad pēc autohidrolīzes pie 140°C tā jau samazinājusies līdz 760, un CSP arī uzrāda, ka ir sākusies neliela celulozes destrukcija. PP ir aptuvenš celulozes raksturojošs lielums, bet lai novērotu celulozes sadalīšanās tendences, tā uzrāda pietiekoši stabilas sakarības. Kad celulozes PP ir aptuveni 650 – tad CSP ir zem 5% atzīmes (skat. 1. tabulu), bet ja PP samazinās zem 500, tad CSP pārsniedz 10% atzīmi.

Iegūtie rezultāti skaidri norāda, ka no celulozes sadalīšanās viedokļa arī nebūtu ieteicams ņemt katalizatoru vairāk kā 5% no a.s.m., jo, tam paaugstinoties, krasi pazeminās PP un līdz ar to palielinās CSP. Ja, nepielietojot katalizatoru, celulozes PP jūtami samazinās tikai pie 180°C, tad, ņemot katalizatora daudzumu 3%, rēķinot uz a.s. kaņepju spaļu masu, jūtams samazinājums novērojams jau pie 150°C un tam ir tendence progresēt. Tā, piemēram, pie katalizatora daudzuma 7% jau pie 140°C PP ir tikai 510 (skat. 1. tabulu).

1. tabulā ar zaļu krāsu iekrāsotajos parametru intervālos vajadzētu iekļauties, lai iegūtu mehāniski izturīgas plātnes, kad CSP nepārsniedz 10-20%. Savukārt vērā ņemamus furfurola iznākumus var iegūt ar oranžu krāsu iekrāsotajos parametros, t.i. pie priekšapstrādes temperatūras 170-180°C un katalizatora daudzuma 5-7%. Kā jau noskaidrojām iepriekš, katalizatora daudzums 5% varētu būt pirmais optimālais parametrs, kaut gan aina varētu mainīties, samazinot priekšapstrādes procesa ilgumu, ko paredzēts izpētīt nākamajos projekta atskaites periodos.

1. Tabula. Celulozes sadalīšanās pakāpe (CSP) un polimerizācijas pakāpe (PP) un furfurola iznākums atkarībā no priekšapstrādes temperatūras un katalizatora daudzuma pie procesa ilguma 90 min.

Katalizators, % no a.s.m.	Parametrs	140°C	150°C	160°C	170°C	180°C
<b>0</b>	<b>PP</b>	760	710	650	640	470
	CSP, %	1,3	3,1	4,6	9,3	11,6
	Furf., %	0,2	0,3	0,8	2,0	3,1
<b>3</b>	<b>PP</b>	730	500	440	250	190
	CSP, %	4,1	6,0	10,0	11,6	18,1
	Furf., %	1,3	3,1	6,0	6,7	7,9
<b>5</b>	<b>PP</b>	680	420	230	160	130
	CSP, %	2,7	10,8	14,6	27,3	44,5
	Furf., %	4,2	7,0	8,0	9,2	9,4
<b>7</b>	<b>PP</b>	510	320	200	120	70
	CSP, %	5,8	10,8	23,3	38,6	65,4
	Furf., %	5,1	7,6	8,8	9,2	9,0

2. Tabula. Priekšmēģinājumu rezultāti furfurola iznākuma paaugstināšanai.

Nr.	Parametri °C-min-mod.	CL mitrums	CL iznākums no a.s.m.	Furfurols	% no teor. iesp. furf. daudz.	Etiķskābe	CSP, %
<b>47.H.</b>	<b>170-90-0,05- 30'-400</b>	<b>45,6</b>	<b>74,5</b>	<b>9,45</b>	<b>71,6</b>	<b>6,9</b>	<b>25,9</b>
15.H.	170-90-0,05	49,0	75,5	9,19	69,6	7,0	27,3
<b>48.H.</b>	<b>170-90-0,05- CH<sub>3</sub>COOH</b>	<b>48,4</b>	<b>77,4</b>	<b>8,71</b>	<b>66,0</b>	<b>12,6</b>	<b>24,0</b>
<b>49.H.</b>	<b>180-90-0,05- 30'-400</b>	<b>52,9</b>	<b>69,0</b>	<b>9,73</b>	<b>73,7</b>	<b>8,1</b>	<b>44,6</b>
17.H.	180-90-0,05	47,60	69,8	9,40	71,2	8,6	44,5

Ņemot vērā to, ka ir izkristalizējis katalizatora daudzums 5%, tika veikti priekšmēģinājumi, lai pārliecinātos par iespēju palielināt furfurola iznākumu, par ko tika minēts iepriekš. Temperatūras izvēlējas, balstoties uz iepriekšējiem pētījumiem, kur uzrādījās augstākie furfurola iznākumi – 170 un 180°C. Tātad izmēģinājām 2 jaunas idejas, kas rezultātu iteiksmē apkopotas 2a. Tabulā:

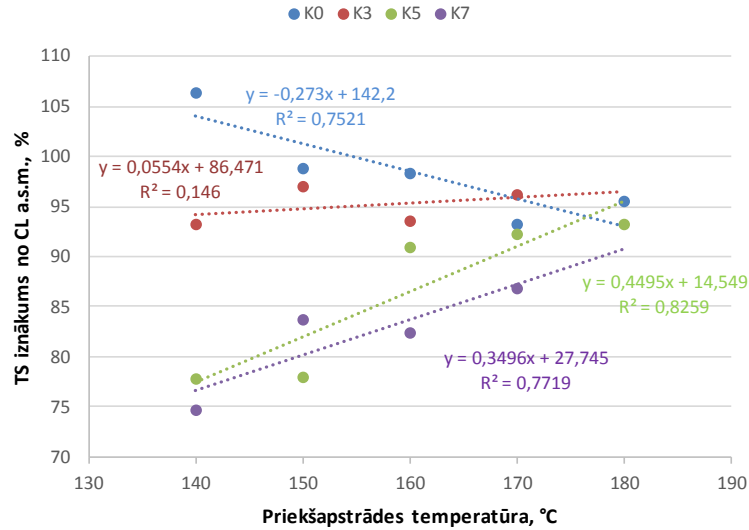
- 1) Tvaika daudzuma palielināšana pirmajās 30 minūtēs līdz 400 ml/min
- 2) Etiķskābes pievienošana izejmateriālam pirms priekšapstrādes.

Kā redzams 2. Tabulā, tad tvaika daudzuma (un līdz ar to ātruma) palielināšana līdz 400 ml/min deva vērā ņemamus uzlabojumus furfurola iznākuma gadījumā (47.H. un 49.H), kur 170°C gadījumā tas pieauga no 9,19% (15.H.) līdz 9,45%, bet 180°C gadījumā no 9,40% (17.H.) līdz pat 9,73%, kas pierāda iepriekš izvirzīto hipotēzi, ka tvaika daudzuma palielināšana pirmajās 30 minūtēs dos augstākus furfurola iznākumus. Kā arī samazinās etiķskābes iznākums par aptuveni 0,1-0,5% punktiem. Tas savukārt parāda, kāda ir nozīme tvaika daudzuma palielināšanai procesa sākumā, jo tad furfurola koncentrācija uz daļiņas virsmas ir visaugstākā un to jāpaspēj aizvadīt no reakcijas zonas, lai tas nesadalītos līdz etiķskābei. Vēl pozitīvi ir tas, ka celulozes sadalīšanās pakāpe nepalielinājās, kas nozīmē, ka šis solis ir devis vēlamo rezultātu – furfurola iznākums palielināts, celulozei paliekot iepriekšējā sadalīšanās līmenī. Tas nozīmē, ka pie optimālajiem parametriem šo ideju var realizēt, lai vēl vairāk paceltu furfurola iznākumu.

Ņemot vērā to, ka no hemicelulozēm atdalījusies etiķskābe tālāk nodrošina pentožu dehidratāciju, radās ideja, pievienot etiķskābi jau sākumā izejmateriālam, ar cerību palielināt furfurola iznākumu uz tā rēķina, ka etiķskābe jau būs materiālā un process iesāksies straujāk. Kā parādīja rezultāti (2. Tabula, 48.H.), tad tas nekādu pozitīvu efektu nedeva un tālākas idejas attīstībai nav pamata. Kaut gan šāds solis atmaksātos, ja skatītu etiķskābes kā produkta iegūšanu no biomasas, jo tās iznākums krietni palielinājās no 7,0% (15.H.) līdz pat 12,6%, pievienojot izejmateriālam tikai 1% etiķskābes, rēķinot uz absolūti sausu masu.

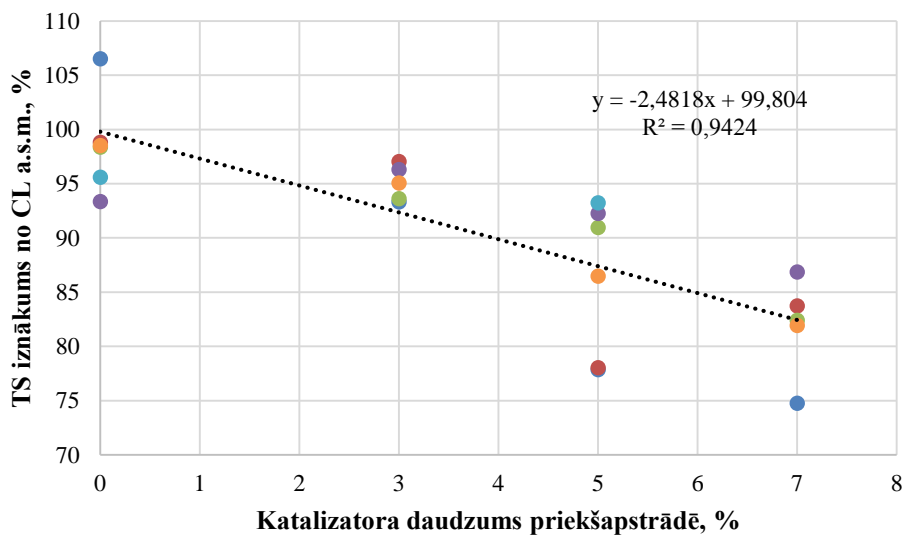
**2.2. aktivitātes „Tvaika sprādziena pētījumi atkarībā no tehnoloģiskā režīma”** ietvaros dotajā laika periodā veikta tvaika sprādziena (TS) apstrāde lignoceluložu paraugiem pēc 90 min priekšapstrādes ar katalizatora daudzumu 3% (K3). Paraugi tika apstrādāti TS pie T 210 °C 7 s un rezultāti salīdzināti ar iepriekš iegūtajiem rezultātiem (sk. 2.att.).

Atšķirībā no lignocelulozes paraugiem, kas iegūti ar K0, K5 un K7, lignocelulozes paraugam ar K3 masas iznākumi pēc TS apstrādes būtiski neatšķiras (93 – 97%) atkarībā no priekšapstrādes temperatūras (sk. 2. att.). Attēlā redzamās sakarības parāda, ka Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> pēc hidrotermiskās priekšapstrādes paliek liegnocelulozes atlikumā un tālāk turpina katalizēt arī TS procesu, it sevišķi pie zemākām temperatūrām, ka celuloze vēl nav pilnībā sadalījusies. Pie augstākām temperatūrām šī sakarība vairs nav tik izteikta un pie 180°C TS cietais atlikuma visiem lignocelulozes paraugiem ir 91-96% robežās, kas apstiprina to, ka pie šīs temperatūras jau priekšapstrādes procesa laikā celuloze ir gandrīz pilnībā sadalījusies. Tikai autohidrolīzes procesam līknei ir uz leju vērsts raksturs.



**2. att.** Lignocelulozes iznākumu sakarības pēc tvaika sprādziena (TS) apstrādes atkarībā no priekšapstrādes temperatūras un katalizatora daudzuma.

Ja skatās uz vidējiem lignoceluložu TS iznākumiem neatkarīgi no priekšapstrādes T, tad tie izmainās sekojoši: K0 – 99%, K3 – 95%, K5 – 88% un K7 – 82%, kas norāda uz tiešo katalizatora ietekmi – jo vairāk tas ir, jo zemāki cietā atlikuma iznākumi pēc TS procesa. Šo apgalvojumu apstiprina iegūtā korelācija ( $r = -0,94$ ): katalizatora daudzumu paaugstinot par 2%, cietā atlikuma iznākumi pēc TS apstrādes vidēji samazinās par 2,48% (sk. 3. att.).



**3. att.** Vidējie lignocelulozes iznākumi pēc tvaika sprādziena (TS) apstrādes atkarībā no priekšapstrādes katalizatora daudzuma.

2.3. aktivitātes „Plātņu izgatavošanas tehnoloģiskā procesa parametru pētījumi” ietvaros presētas plātnes no lignocelulozes un lignocelulozes TS cietā atlikuma pēc 90 min priekšapstrādes ar katalizatora daudzumu, attiecīgi, 0, 3, 5 un 7 %, pie dažādiem režīmiem. Iegūto plātņu variējošie parametri (presēšanas mitrums  $W$ , presēšanas temperatūra  $T_{pr}$ , presēšanas laiks  $t$ ) un īpašības (blīvums  $D$ , elastības modulis  $MOE$  un sagrauves modulis liecē  $MOR$ ) ir uzrādītas 3.- 5. tabulā.

3. Tabula. Plātņu no kaņepju spaļiem pēc priekšapstrādes ar **K5** un pēc apstrādes iegūšanas parametri un īpašības.

Paraugs	$W$ , %	$T_{pr}$ , °C	$t$ , min	Plaisas	$D$ , kg/m <sup>3</sup>	$MOE$ , MPa	$MOR$ , N/mm <sup>2</sup>
CL140	≤ 2	160	15	+	866	319	2,7
		170	15	+	833	668	5,0
		<b>180</b>	<b>15</b>	<b>+</b>	<b>-</b>	<b>992</b>	<b>6,1</b>
CL150	≤ 2	160	15	-	830	672	4,1
		170	15	-	-	888	4,6
		180	15	-	928	699	4,1
CL160	7	160	210	-	-	264	2,3
	1	170	15	-	799	818	3,7
	10	160	210	-	-	74	0,9
CL170	6	160	210	-	910	327	2,2
	1	150	15	-	-	380	3,4
CL180	6	160	15	+	1111	149	0,6
<b>CL160TS</b>	<b>5</b>	<b>160</b>	<b>210</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1198</b>	<b>4,2</b>
CL170TS	≤ 2	170	10	+	-	669	2,5
		150	15	-	-	597	2,4

Kā redzams no 3. tabulas datiem, lignocelulozes paraugu mitruma samazināšana nedeva gaidāmos rezultātus, proti, plātņu plaisu problēma netika novērsta pilnīgi, kā arī neuzlaboja lieces robežstiprības rādītājus. Iespējams, tas ir saistīts ar plātņu laukuma palielināšanos (no 100×100 mm iepriekšējā perioda uz 150×180 mm šajā periodā), kā arī ar

presēšanas režīma nepilnībām. Augstākais lieces robežstiprības rādītājs ( $6,1 \text{ N mm}^{-2}$ ) sasniegts plātnei no CL140 materiāla, kas presēts pie  $T=180^{\circ}\text{C}$  15 min. Savukārt iepriekšējā perioda maksimālā MOR vērtība ( $11,5 \text{ N mm}^{-2}$ ) bija plātnei presētai pie tādiem pašiem apstākļiem tikai no CL180 materiāla, kas šoreiz vairs neatkārtojās.

Tas arī norāda uz iespējamo izejas materiāla nevienmērīgumu. Daži no šīs sērijas lignocelulozes paraugiem pēc presēšanas tika atstāti presē zem minimālā noslogojuma ( $0,2 \text{ MPa}$ ) un izņemti pēc tam, kad  $T$  nokritās līdz  $90^{\circ}\text{C}$ . Kopējais presēšanas ilgums palielinājās līdz 210 min, kas pilnībā neattaisnojās, jo MOR rādītāji neuzlabojās.

Plātņu sērijas no priekšapstrādes lignocelulozes paraugiem ar katalizatora daudzumu 7% (K7) un TS pēcapstrādes iegūšanas parametri un īpašības ir parādīti 4. tabulā. Kā redzams, tad šajā gadījumā lignocelulozes materiālu samazinātais mitrums pirms presēšanas deva savus rezultātus plātņu iegūšanai bez plaisām, taču lieces robežstiprības rādītāji neuzlabojās. Tas liek domāt par to, ka pētāmo plātņu no kaņepju spaļiem ar priekšapstrādi un pēcapstrādi augstākie MOR rādītāji jau tika sasniegti iepriekšējā periodā, neskatoties uz neapmierinošo kvalitāti. TS apstrāde MOR rādītāju uzlabo, taču ne būtiski, piemēram, salīdzinājumā ar plātņu paraugu CL150 presētu pie  $T=180^{\circ}\text{C}$  10 min (sk. 4. tabulā).

Tāpat kā K5 gadījumā, no lignocelulozes paraugiem visaugstākās MOR vērtības uzrādīja lignocelulozes paraugi, kas apstrādāti pie zemākām temperatūrām ( $T=140^{\circ}$  un  $T=150^{\circ}\text{C}$ ), kas presēti pie  $180^{\circ}\text{C}$  15 min. Savukārt pie augstākas temperatūras apstrādātie paraugi uzrādīja zemākus MOR rādītājus, bet pēc apstrādes ar TS mehāniskās īpašības krietni uzlabojās.

Plātņu sērijas no priekšapstrādes lignocelulozes paraugiem ar katalizatora daudzumu 3% (K3) un TS pēcapstrādes iegūšanas parametri un īpašības ir parādīti 5. tabulā. Atšķirībā no K5 un K7, K3 lignocelulozes plātņu gadījumā nav novērota izteikta mehānisko īpašību samazināšanās tendence līdz ar priekšapstrādes temperatūras palielināšanos. Līdz CL170 MOR vērtības palielinās un tikai pie CL180 tās samazinās. Kā arī presēšanas temperatūra  $160^{\circ}\text{C}$  izskatās optimāla lignocelulozes paraugiem, kas iegūti pie zemākām temperatūrām ( $140$  un  $150^{\circ}\text{C}$ ), līdzīgi kā autohidrolīzes gadījumā.

Visaugstākās vērtības lignocelulozes paraugiem sasniegtas plātnēm no CL170 parauga, kas ir presēts pie  $T=180^{\circ}\text{C}$  10 min ( $7,2 \text{ N mm}^{-2}$ ), bet pēc TS apstrādes CL150, ( $7,0 \text{ N mm}^{-2}$ ). Šeit atklājas novērojums, ka pēc spaļu priekšapstrādes TS apstrāde nav nepieciešama, jo tā neveicina plātņu mehānisko īpašību uzlabošanu. Lai pilnīgi pārliecinātos par šādu pieņēmumu, vajag sagaidīt plātņu akustisko īpašību rezultātus, kas ir paredzēti šī projekta ietvaros.

CL plātņu ar K3 blīvums vidēji mainās robežās  $829 - 1109 \text{ kg m}^{-3}$  (sk. 5. Tabulā) atkarībā no biezuma ( $6,0 - 7,8 \text{ mm}$ ). Savukārt, kā jau bija novērots pirmajā projekta īstenošanas posmā, plātņu biezumu ietekmē presējamās masas tilpumbūvums, kas vidēji cieši korelē ar celulozes sadalīšanās pakāpi ( $r=0,58$ ).

**4. Tabula.** Plātņu no kaņepju spaļiem pēc priekšapstrādes ar **K7** un pēcapstrādes iegūšanas parametri un īpašības.

Paraugs	W, %	T <sub>pr</sub> , °C	t, min	Plaisas	D, kg/m <sup>3</sup>	MOE, MPa	MOR, N/mm <sup>2</sup>
CL140	≤ 2	160	15	–	–	272	2,2
		170	15	–	847	448	3,5
		<b>180</b>	<b>15</b>	–	–	<b>654</b>	<b>4,2</b>
		180	10	–	757	172	1,5
CL150	≤ 2	160	15	–	871	511	3,3
		170	15	–	–	747	4,3
		<b>180</b>	<b>15</b>	–	<b>970</b>	<b>1027</b>	<b>5,5</b>
		180	10	–	630	159	1,2
CL160	7	160	15	+	1157	654	4,2
		170	10	+	–	460	2,2
CL170	7	160	15	+	1004	354	1,5
		150	15	+	751	57	0,4
CL180	7	170	10	+	887	300	2,1
CL160TS	5	<b>160</b>	<b>15</b>	+	–	<b>1460</b>	<b>5,7</b>
CL170TS	5	<b>170</b>	<b>10</b>	+	–	<b>2600</b>	<b>8,4</b>



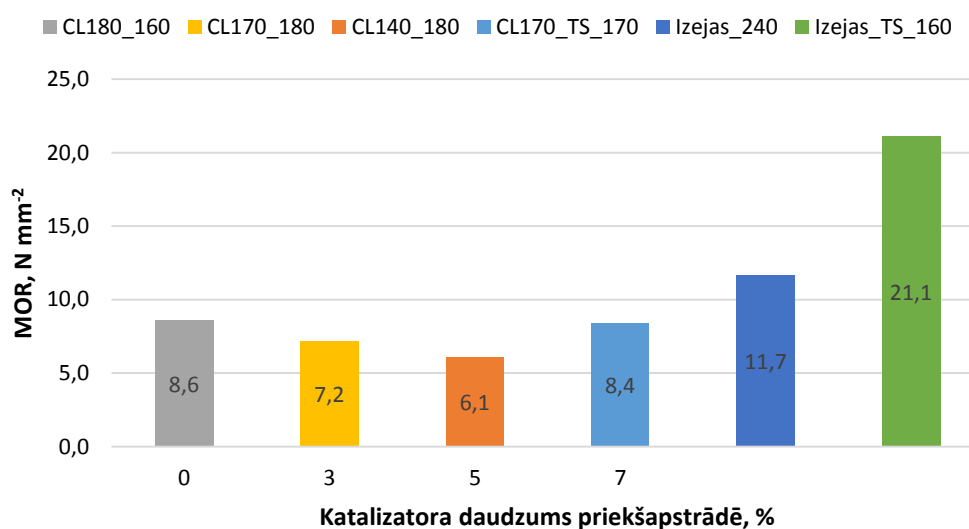
**5. Tabula.** Plātņu (ar caurumiem) no kaņepju spaļiem pēc priekšapstrādes ar **K3** un pēc apstrādes iegūšanas parametri un īpašības

Paraugs	W, %	T <sub>pr</sub> , °C	t, min	Plaisas	D, kg/m <sup>3</sup>	MOE, MPa	MOR, N/mm <sup>2</sup>
CL140	<b>2</b>	<b>160</b>	<b>15</b>	–	899	<b>672</b>	<b>4,0</b>
	2	170	15	–	859	624	3,4
	10	180	10	–	931	486	3,2
CL140TS	2	160	15	–	993	960	4,3
CL150	<b>2</b>	<b>160</b>	<b>15</b>	–	<b>867</b>	<b>900</b>	<b>4,2</b>
	2	170	15	–	872	701	3,8
	10	180	10	+/-	935	578	4,0
CL150TS	<b>2</b>	<b>160</b>	<b>15</b>	–	<b>917</b>	<b>1827</b>	<b>7,0</b>
CL160	2	160	15	+/-	829	393	2,7
	2	170	15	–	896	677	3,8
	<b>2</b>	<b>180</b>	<b>10</b>	–	<b>908</b>	<b>934</b>	<b>5,0</b>
CL160TS	2	160	15	–	1011	845	4,6
CL170	2	160	15	–	886	1497	5,2
	2	170	15	–	924	976	4,8
	<b>2</b>	<b>180</b>	<b>10</b>	–	<b>1109</b>	<b>1643</b>	<b>7,2</b>
CL170TS	2	160	15	–	904	1470	5,0
CL180	2	160	15	+/-	876	800	3,5
	2	170	15	–	905	1237	4,1
	1	180	15	–	898	1210	3,8

Kā iepriekšējos projekta posmos tika konstatēts, plātnes var iegūt no visiem CL materiāliem, neatkarīgi no to iegūšanas parametriem. Taču, plātnes novērtējot pēc iegūtajiem augstākiem lieces robežstiprības rādītājiem, katrā sērijā, atkarībā no izmantotā katalizatora daudzuma, presēšanas parametriem ir nozīme, kas acīmredzami saskatāms 6. att. Šeit jāatzīmē, ka paraugu CL180\_160 (160 – presēšanas T, °C), CL170\_180 un CL170\_TS\_170 MOR rādītāji būtiski neatšķiras, taču atšķiras to iegūšanas parametri. Zemākā MOR vērtība ir CL140\_180 paraugam (6,1 N mm<sup>-2</sup>), ko var izskaidrot ar zemāko priekšapstrādes

temperatūru. Kā redzams, augstāku MOR rādītāju ( $11,7 \text{ N mm}^{-2}$ ) par paraugiem no priekšapstrādes materiāliem sasniedza paraugs no neapstrādātiem spaļiem, presētiem pie  $T=240^\circ\text{C}$ . Šo rezultātu var izskaidrot ar spaļu materiāla paaugstināto celulozes sadalīšanās pakāpi pēc priekšapstrādes, kas ir būtiska, lai nodrošinātu pietiekami augstas plātņu mehāniskās īpašības. Toties būtiski augstākais MOR rādītājs ( $21,1 \text{ N mm}^{-2}$ ) no visām iegūtajām plātnēm pieder paraugam no izejas spaļiem, apstrādātiem ar TS un presētiem pie  $T=160^\circ\text{C}$ .

Šeit apstiprinās apgalvojums, ka hemiceluložu klātbūtne, kuras tiek aizvāktas līdz priekšapstrādē, furfurola iegūšanas procesā, ir būtiska bezsaistvielu plātņu iegūšanā.



**6. att.** Maksimālā robežstiprība (MOR) kaņepju spaļu plātnēm atkarībā no priekšapstrādes veida un katalizatora daudzuma

Analizējot plātnes no lignocelulozes materiāliem, novērojams fakts, ka MOR rādītāji samazinās, pieaugot katalizatora daudzumam. Šo tendenci izskaidro noteiktie PP un CSP rādītāji 6. tabulā: jo vairāk katalizatora materiālā un jo augstāka temperatūra, jo vairāk tas tiek sagrauts, kas savukārt negatīvi iespaido plātņu mehāniskās īpašības. Iegūtie lielumi liecina par to, ka abi priekšapstrādes faktori (T un K) būtiski ietekmē PP rādītājus ( $r \geq -0,84$ ) un CSP rādītājus ( $r \geq 0,88$ ) negatīvā virzienā. Temperatūras paaugstināšana priekšapstrādē no  $140^\circ\text{C}$  līdz  $180^\circ\text{C}$  dažādi ietekmē plātņu no lignocelulozes materiāliem MOR rādītājus, atkarībā no katalizatora daudzuma: ar K0 un K7 – vidēji cieši ( $r = 0,53$  un  $r = -0,79$ , attiecīgi), ar K3 – vāji ( $r = 0,39$ ), ar K5 – cieši ( $r = -0,95$ ). Plātnēm no lignocelulozes materiāliem pēc TS temperatūras paaugstināšana priekšapstrādē no  $140^\circ\text{C}$  līdz  $180^\circ\text{C}$  pozitīvi ietekmē MOR rādītājus tikai K0 gadījumā ( $r = 0,97$ ). Pārējos gadījumos korelācija neveidojas, jo plātņu iegūšana ir atkarīga no vairākiem faktoriem. Piemēram, jau iepriekšējos periodos tika novērots, ka TS apstrāde no CL180 materiāla nav pamatota tikai tāpēc, ka TS procesā gan CSP, gan PP pazeminās. Bet arī no citiem lignocelulozes

materiāliem TS neattaisnojas to pašu problēmu dēļ. Izmantojot TS apstrādi, izdevās paaugstināt plātņu mehāniskās īpašības pat K7 gadījumā, kad no CL170 ieguva plātnes ar MOR – 8,4 N/mm<sup>2</sup>, kas nozīmē, ka principā plātņi var uzpresēt no jebkura tipa lignocelulozes, ja papildus piemēro TS apstrādi, bet, novērojot šo plātņu tendenci, var pieļaut arī, ka tas ir tikai gadījuma lielums, nevis kopsakarība. Iespējams, ka, turpinot plātņu pētījumus no CL materiāliem ar samazinātu priekšapstrādes laiku, būs iespējams sasniegt augstākus plātņu MOR rādītājus.

Maksimālās MOR vērtības plātnēm, kas iegūtas no lignocelulozes pie visiem katalizatora daudzumiem ir tad, kad CSP bijusi robežās no 10,8-11,6%. Tālāk vai nu plātnes ir ar zemākām mehāniskām īpašībām vai vispār nav sanākušas.

**6. tabula.** Celulozes polimerizācijas pakāpe (PP), sadalīšanās pakāpe (CSP), Furfurola saturs pēc priekšapstrādes un maksimālās iegūto lignocelulozes (CL) un tvaika sprādziena (TS) plātņu ( $T_{pr.}=180^{\circ}\text{C}$ ) lieces robežstiprības vērtības atkarībā no priekšapstrādes temperatūras un katalizatora daudzuma pie ilguma 90 min.

Katalizators, % no a.s.m.	Parametrs	140°C	150°C	160°C	170°C	180°C
<b>0</b>	<b>PP</b>	760	710	650	640	470
	CSP, %	<b>1,3</b>	<b>3,1</b>	<b>4,6</b>	<b>9,3</b>	<b>11,6</b>
	CL, MOR, N mm <sup>-2</sup>	1,7	3,4	<b>5,7</b>	<b>5,4</b>	<b>7,7</b>
	TS, MOR, N mm <sup>-2</sup>	2,5	<b>4,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>
	Furf., %	0,2	0,3	0,8	2,0	3,1
<b>3</b>	<b>PP</b>	730	500	440	250	190
	CSP, %	<b>4,1</b>	<b>6,0</b>	<b>10,0</b>	<b>11,6</b>	<b>18,1</b>
	CL, MOR, N mm <sup>-2</sup>	3,2	<b>4,0</b>	<b>5,0</b>	<b>7,2</b>	<b>3,8</b>
	TS, MOR, N mm <sup>-2</sup>	<b>4,3</b>	<b>7,0</b>	<b>4,6</b>	<b>5,0</b>	-
	Furf., %	1,3	3,1	6,0	6,7	<b>7,9</b>
<b>5</b>	<b>PP</b>	680	420	230	160	130
	CSP, %	<b>2,7</b>	<b>10,8</b>	<b>14,6</b>	<b>27,3</b>	<b>44,5</b>
	CL, MOR, N mm <sup>-2</sup>	<b>6,1</b>	<b>4,1</b>	3,7	-	-
	TS, MOR, N mm <sup>-2</sup>	-	-	<b>4,2</b>	<b>2,5</b>	-
	Furf., %	4,2	7,0	<b>8,0</b>	<b>9,2</b>	<b>9,4</b>
<b>7</b>	<b>PP</b>	510	320	200	120	70
	CSP, %	<b>5,8</b>	<b>10,8</b>	<b>23,3</b>	<b>38,6</b>	<b>65,4</b>
	CL, MOR, N mm <sup>-2</sup>	<b>4,2</b>	<b>5,5</b>	<b>2,2</b>	<b>0,4</b>	-
	TS, MOR, N mm <sup>-2</sup>	-	-	<b>5,7</b>	<b>8,4</b>	-
	Furf., %	5,1	7,6	<b>8,8</b>	<b>9,2</b>	<b>9,0</b>

**2.4. aktivitātes “Publikāciju sagatavošana”** ietvaros tika iesniegta publikācija ar nosaukumu **“A Preliminary Study of the Biorefinery Concept to Obtain Furfural and Binder-less Panels from Hemp (*Cannabis Sativa L.*) Shives”**. Raksts tika pieņemts publicēšanai SCI žurnālā **“Energy procedia”**. Publikācijā apkopoti dati, kas iegūti, strādājot 2.1. līdz 2.3. aktivitātes ietvaros, veicot priekšmēģinājumus ar katalizatora daudzumu 5% pie temperatūrām 160-180°C un pāri palikušo lignocelulozi presējot bezsaistvielu plātnēs, kurām pārbaudītas akustiskās īpašības.

**2.6. aktivitātes “Rezultātu atspoguļošana starptautiskās zinātniskās konferencēs”** ietvaros tika sagatavoti 4 abstrakti

- 1) Abstrakta **„Utilization of hemp fibre production waste shives for furfural production by hydrothermal pretreatment – optimization using full factorial design”** rakstīšana konferencei **„3rd International Symposium on Green Chemistry”**, kas notiks 3.-7. Maijā 2015.g., La Rochelle, Francija.
- 2) Abstrakta: **„Aluminum sulfate as a Catalyst in the pre-treatment process for Furfural Obtaining From Hemp (*Cannabis Sativa L.*) Shives”** rakstīšana dalībai konferencē: **„3rd International Symposium on Green Chemistry”**, kas notiks 3.-7. Maijā 2015.g., La Rochelle, Francija.
- 3) Abstrakta **“Changes of the polysaccharide complex in lignocellulose after the catalytic hydrothermal pre-treatment process of hemp (*Cannabis Sativa L.*) shives”** rakstīšana konferencei **„23rd European Biomass Conference and Exhibition”** (EUBCE 2015). 1–4 June 2015. Vienna, Austria
- 4) Abstrakta **“Furfural production from hemp (*Cannabis Sativa L.*) shives using aluminium sulphate as a catalyst in the hydrothermal pre-treatment process”** rakstīšana konferencei **„23rd European Biomass Conference and Exhibition”** (EUBCE 2015). 1–4 June 2015. Vienna, Austria

Projekta zinātniskais vadītājs

J.Rižikovs