

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 01.12.2014. - 28.02.2015.

2.1. aktivitātes „Kaņepju spaļu priekšapstrādes pētījumi furfurola iegūšanai” ietvaros iepriekšējos pārskatos pierādīts, 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, atrasts pirmais optimālais parametrs – 5% katalizatora, rēķinot uz absolūti sausu kaņepju spaļu masu (a.s.k.s.m.), kur augstāk minētā temperatūras intervālā sasniegtais kopējā furfurola iznākums ir visaugstākais (9,0-9,2%). Katalizatora daudzums arī turpmāk uzrādīts procentos no a.s.k.s.m.

Nemot vērā to, ka ir atrasts optimālais katalizatora daudzums, tika veikti priekšmēģinājumi, lai pārliecinātos par iespēju palielināt furfurola iznākumu, par ko tika minēts iepriekš. Temperatūras intervālu izvēlējamies, balstoties uz iepriekšējiem pētījumiem, kur bija iegūti augstākie furfurola iznākumi, tas ir 170 – 180°C. Tādēļ parbaudījām 2 jaunas idejas un iegūtie rezultāti apkopoti 1. tabulā:

- 1) Tvaika daudzuma palielināšana pirmajās 30 minūtēs līdz 400 ml/min;
- 2) Etiķskābes kā paralēlā katalizatora izmantošana priekšapstrādes procesam.

1. tabula. Priekšmēģinājumu rezultāti furfurola iznākuma paaugstināšanai.

Nr.	Parametri °C-min-%- ml/min	CL mitrums, (%)	CL iznākums no a.s.m. (%)	Furfurola iznākums no a.s.m. (%)	Teor. iesp. furf. daudz. (%)	Etiķskābes iznākums no a.s.m. (%)	CSP* (%)
47.H.	170-90-5- 30'-400****	45,6	74,5	9,45	71,6	6,9	25,9
15.H.	170-90-5-200	49,0	75,5	9,19	69,6	7,0	27,3
49.H.	180-90-0,05- 30'-400****	52,9	69,0	9,73	73,7	8,1	44,6
17.H.	180-90-5- 200	47,60	69,8	9,40	71,2	8,6	44,5
48.H.	170-90-5- CH₃COOH**	48,4	77,4	8,71	66,0	12,6	24,0

* CSP – celulozes sadalīšanās pakāpe ($100 - \text{Cel}_{\text{CL}} / \text{Cel}_{\text{Izejv.}}$)*100

** Paralēli $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kā papildus katalizators izmantota etiķskābe

*** Līdz procesa 30. minūtei tvaika daudzums – 400 ml/min

Kā redzams 1. tabulā, tvaika daudzuma (un līdz ar to arī tvaika ātruma) palielināšana līdz 400 ml/min deva vērā ņemamus uzlabojumus furfurola iznākuma gadījumā (47.H. un 49.H.), kur pie 170°C tas pieauga no 9,19% (15.H.) līdz 9,45% (47.H.), bet pie 180°C no 9,40% (17.H.) līdz pat 9,73% (49.H.), kas pierāda iepriekš izvirzīto hipotēzi, ka tvaika daudzuma palielināšana pirmajās 30 minūtēs dos augstākus furfurola iznākumus. Tas, savukārt, parāda, kāda ir nozīme tvaika daudzuma palielināšanai procesa sākumā, jo tad furfurola koncentrācija uz daļiņu virsmas ir visaugstākā un to jāpaspēj aizvadīt no reakcijas zonas, lai tas nesadalītos līdz skudrskābei un humīnvielām. Tas varētu būt saistīts ar to, ka ķīmiskā procesa ātrums ir lielāks par iegūtā furfurola izvadīšanas ātrumu no reakcijas sistēmas. Attiecīgi pieaug furfurola atrašanās laiks reakcijas zonā un palielinās zudumi no blakusreakcijām un otrējām pārvērtībām. Vēl pozitīvi ir tas, ka celulozes sadalīšanās pakāpe nepalielinājās, kas nozīmē, ka šis solis ir devis vēlamu rezultātu – furfurola iznākums palielināts, celulozei paliekot iepriekšējā sadalīšanās līmenī. Tas nozīmē, ka pie optimālajiem parametriem šo ideju var realizēt, lai vēl vairāk palielinātu furfurola iznākumu.

Ņemot vērā to, ka no hemicelulozēm izveidojusies etiķskābe, kura tālāk nodrošina pentozānu hidrolīzi, radās ideja, pievienot etiķskābi izejmateriālam jau sākumā, ar cerību palielināt furfurola iznākumu uz tā rēķina, ka etiķskābe jau būs materiālā un process iesāksies straujāk. Kā parādīja rezultāti (1. tabula, 48.H.), tas nekādu pozitīvu efektu nedeja un tālākas idejas attīstībai nav pamata. Kaut gan šāds paņēmieni atmaksātos, ja etiķskābe būtu vēl viens produkts, kas iegūts no biomasas. Tās iznākums krietni palielinājās no 7,0% (15.H.) līdz pat 12,6%, pievienojot izejmateriālam tikai 1% etiķskābes, rēķinot uz absolūti sausu biomasu.

Pilnā faktoru eksperimenta (PFE) pētījumi

Mūsu atrastās priekšapstrādes procesa likumsakarības deva iespēju izmantot pilno faktoru eksperimenta plānu (PFE), lai varētu optimizēt mūsu pētāmo procesu. Tas dos iespēju iegūt precīzāku priekšstatu par hidrotermiskā procesa norisi katalizatora

klātbūtnē. Izvēlējās sekojošus parametru nulles līmeņus un soļus, ar kuriem manipulēja, lai pārbaudītu iepriekš veikto eksperimentu rezultātu tendences:

- Temperatūra $X_1 = 160 \pm 20^\circ\text{C}$;
- Katalizatora daudzums $X_2 = 5 \pm 2\%$;
- Priekšapstrādes ilgums $X_3 = 60 \pm 30$ min.

Izvēlēto parametru matricu var aplūkot 2. tabulā, pēc kuras tika veikti priekšapstrādes procesa eksperimenti. Lai pārbaudītu tendences, veica eksperimentu arī nulles līmenim, t.i. pie temperatūras 160°C , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ daudzuma 5% un priekšapstrādes procesa ilguma 60 minūtes (160-5-60). Eksperimenti plānoti divās paralēlu eksperimentu sērijās un iegūto rezultātu vidējās vērtības parādītas 2. un 3. tabulā.

Iegūtos rezultātus katrai atsaucēs vērtībai Y_i apraksta ar vienādojumu (1):

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 \quad (1)$$

kur:

b_0 – vidējais aritmētiskais, kas aprēķināts no atsaucēs vērtībām Y_i ;

b_i – koeficients, kas iegūts, summējot atsaucēs vērtības (Y_i), ievērojot zīmes, kas atbilst attiecīgajam faktoru līmenim (-1 vai $+1$) un izdalot ar mainīgo skaitu (8).

2. tabula. Pilnā faktoru eksperimenta plāns un priekšapstrādes produktu iznākumi

Apz.	Hidr. Nr.	Parametri			Produkti			
		T ($^\circ\text{C}$) X_1	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (%) X_2	Laiks (min) X_3	Furfurola iznākums no a.s.m. (%) Y_1	CL iznākums no a.s.m. (%) Y_2	CL mitrums (%) Y_3	Skābes no a.s.m. (%) Y_4
180-7-90	53.a	180	7	90	9,9	60,3	54,5	11,7
180-7-30	52.	180	7	30	8,1	73,4	42,9	7,1
180-3-90	45.	180	3	90	7,9	77,5	42,6	6,3
180-3-30	50.	180	3	30	5,8	82,4	32,5	4,9
140-7-90	25.	140	7	90	5,1	88,2	33,6	4,9
140-7-30	56.	140	7	30	1,1	95,8	35,4	2,1
140-3-90	37.	140	3	90	1,3	97,6	37,3	1,9
140-3-30	54.	140	3	30	0,3	98,9	25,9	0,7
160-5-60	58.	160	5	60	7,2	79,7	40,1	5,6
Vidējā aritmētiskā vērtība (b_0)					5,2	84,2	38,1	4,9

Koeficienta vērtība atbilst dotā faktora nozīmīgumam no nulles līmeņa uz augšējo vai apakšējo līmeni. Izmantojot kā atsaucēs funkciju furfurola iznākumu Y_1 , rēķinot no absolūti sausas kaņepju spaļu masas, pēc vienādojuma (1) aprēķināts procesu matemātiskais modelis (2), kas izteikts vienādojuma formā un raksturo izvēlēto parametru ietekmi uz furfurola iznākumu:

$$Y_1 = 5,2 + 3,0 \cdot X_1 + 1,1 \cdot X_2 + 1,1 \cdot X_3 \quad (2)$$

Koeficienti pie neatkarīgajiem mainīgajiem norāda, ka visi izvēlētie parametri uzrāda pozitīvu ietekmi uz furfurola iznākumu, tāpēc, lai iegūtu vērā ņemamus iznākumus, visiem parametriem jābūt virs nulles līmeņa. Furfurola iznākumu visvairāk ietekmē tieši temperatūra, jo koeficients pie X_1 ir gandrīz 3 reizes augstāks kā ilguma X_2 un katalizatora daudzuma X_3 gadījumā. Arī iepriekšējos eksperimentos uzrādījās tāda pati tendence – vērā ņemami furfurola iznākumi bija pie temperatūrām 170° un 180°C. Priekšapstrādes laiks un katalizatora daudzums pat varētu palikt tādi paši kā nulles līmenī izvēlētie. Arī tas, ka furfurola iznākuma gadījumā vidējā vērtība (5,2%) ir zemāka kā nulles līmeņa eksperimenta gadījumā (7,2%), tikai apliecina, ka furfurola iznākuma palielināšanai optimālus parametrus jāmeklē virs nulles līmeņa. Tas, ka katalizatora daudzumam X_2 un priekšapstrādes ilgumam X_3 ir mazāka nozīme, no praktiskā viedokļa ir pat izdevīgi, jo tādējādi var samazināt ražošanas izdevumus.

Izmantojot kā atsaucis funkciju lignocelulozes iznākumu Y_2 , rēķinot no absolūti sausas kaņepju spaļu masas, pēc vienādojuma (1) aprēķināts procesa matemātiskais modelis (3):

$$Y_2 = 84,2 - 10,9 \cdot X_1 - 4,8 \cdot X_2 - 3,4 \cdot X_3 \quad (3)$$

Vienādojumā (3) redzams, ka visi koeficienti ir negatīvi, kas ir loģiski, jo arī iepriekšējie rezultāti uzrādīja tādu tendenci, ka paaugstinoties furfurola iznākumam, samazinās lignocelulozes iznākums. Līdzīgi kā furfurola iznākuma gadījumā, vislielāko ietekmi uz lignocelulozes iznākumu atstāj priekšapstrādes temperatūra X_1 (koeficients – 10,9).

Izmantojot kā atsaucis funkciju lignocelulozes mitrumu Y_3 , pēc vienādojuma (1) aprēķināts matemātiskais modelis (4):

$$Y_3 = 38,1 + 5,0 \cdot X_1 + 3,5 \cdot X_2 + 3,9 \cdot X_3 \quad (4)$$

Iegūtais vienādojums (4) apstiprina iepriekš secināto faktu, ka, palielinoties priekšapstrādes parametru lielumam, pieaug lignocelulozes mitrums. Tas varētu būt izskaidrojams ar to ka, celulozei sadaloties, palielinās hidrofilo daļiņu virsma, kas piesaista vairāk ūdeni.

Izmantojot kā atsaucis funkciju kopējās skābes daudzumus priekšapstrādes kondensātā Y_4 , iegūts sekojošs vienādojums (5):

$$Y_4 = 4,9 + 2,6 \cdot X_1 + 1,5 \cdot X_2 + 1,2 \cdot X_3 \quad (5)$$

Vienādojums (5) parāda, ka arī kopējo skābju daudzums kondensātā, tāpat kā furfurola gadījumā, ir vairāk atkarīgs no priekšapstrādes temperatūras X_1 , mazāk no katalizatora daudzuma X_2 un priekšapstrādes procesa ilguma X_3 , jo pēdējiem diviem parametriem koeficienti ir aptuveni uz pusi mazāki.

3. tabula. PFE priekšapstrādē pāri palikušās lignocelulozes (CL) sastāvs un īpašības

Apz.	Hidr. Nr.	CL sastāvs un tilpummasa				CL skalošana	
		Kiršnera celuloze (%) no a.s.spalī Y5	CSP* (%) Y6	Holo-celuloze (%) no a.s. spalī Y7	Tilpum-masa uz a.s.m. (kg/m ³) Y8	Pelni no CL pēc skal. (%) Y9	Mono-saharīdi skalošanas ūdenī (%) no a.s. spalī Y10
180-7-90	53.a	20,7	56,0	26,2	164,3	7,1	2,1
180-7-30	52.	30,4	35,4	29,7	139,9	5,9	5,1
180-3-90	45.	38,5	18,1	39,7	108,4	1,9	2,5
180-3-30	50.	40,7	13,4	41,9	99,9	1,6	4,5
140-7-90	25.	44,3	5,8	47,6	101,6	3,0	6,6
140-7-30	56.	46,6	0,8	54,7	102,1	2,1	8,2
140-3-90	37.	45,1	4,0	53,7	99,1	2,1	6,4
140-3-30	54.	46,6	0,8	60,1	90,7	2,7	3,8
160-5-60	58.	40,0	14,8	40,2	91,9	1,8	5,5
Vidējā aritmētiskā vērtība (b₀)		39,1	16,8	38,1	113,3	3,3	4,9

* CSP – celulozes sadalīšanās pakāpe $(100 - \text{Cel}_{\text{CL}} / \text{Cel}_{\text{Izejv.}}) \cdot 100$

3. tabulā apkopoti rezultāti par lignocelulozes ķīmiskā sastāva un tilpum-masas izmaiņām atkarībā no izvēlētajiem parametriem. Šie lielumi ir svarīgs rādītājs bezsaistvielu plātņu iegūšanas procesā, jo tieši ietekmē iegūtā materiāla mehāniskās īpašības.

Kā atsaucēs funkciju izmantojot Kiršnera celulozes saturu Y_5 un celulozes sadalīšanās pakāpi Y_6 , iegūti sekojoši vienādojumi (6) un (7):

$$Y_5 = 39,1 - 6,6 \cdot X_1 - 3,6 \cdot X_2 - 2,0 \cdot X_3 \quad (6)$$

$$Y_6 = 16,8 + 13,9 \cdot X_1 + 7,7 \cdot X_2 + 4,2 \cdot X_3 \quad (7)$$

Vienādojumā (6) redzams, ka visi koeficienti ir negatīvi un līdzīgi kā tas bija lignocelulozes iznākuma gadījumā. Kiršnera celulozes saturs Y_5 arī ir vairāk atkarīgs no priekšapstrādes temperatūras X_1 , bet mazāk atkarīgs no katalizatora daudzuma X_2 un priekšapstrādes ilguma X_3 , jo pēdējiem parametriem koeficienti ir aptuveni uz pusi mazāki. Savukārt celulozes sadalīšanās pakāpe Y_6 ir apgriezti proporcionāls lielums, tādēļ arī vienādojumā visi koeficienti ir pozitīvi, bet ar līdzīgu savstarpējo attiecību. Tas pierāda iepriekš izvirzīto pieņēmumu, ka lignocelulozes mitrums palielinās dēļ tā, ka, palielinoties priekšapstrādes parametriem, palielinājusies celulozes sadalīšanās pakāpe. Salīdzinot abu iepriekšminēto atsaucēs funkciju vidējās vērtības (b_0) ar nulles līmeņa vērtībām, var redzēt, ka tās ir tuvas. Lai samazinātu celulozes sadalīšanās pakāpi, priekšapstrādes parametriem, it īpaši temperatūrai, jābūt pat nedaudz zem nulles līmeņa, kas savukārt negatīvi iespaidotu furfurola iznākumu.

Izmantojot kā atsaucis funkciju holocelulozes saturu lignocelulozē pēc priekšapstrādes un rēķinot uz absolūti sausu kaņepju spaļu masu Y_7 , iegūts sekojošs vienādojums (8):

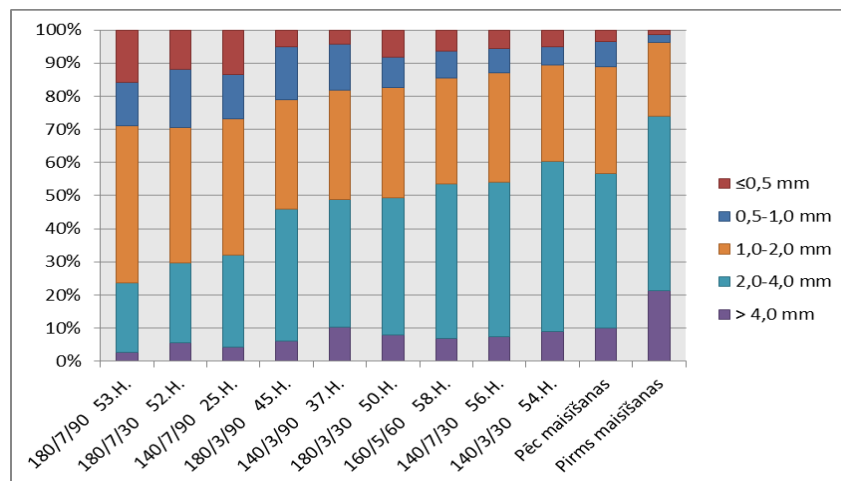
$$Y_7 = 38,1 - 9,8 \cdot X_1 - 4,6 \cdot X_2 - 2,4 \cdot X_3 \quad (8)$$

Vienādojumā (8) redzams, ka visi koeficienti ir negatīvi un, līdzīgi kā tas bija lignocelulozes iznākuma Y_2 (3) un Krišnera celulozes satura Y_5 (6) gadījumā, arī holocelulozes saturu Y_7 vairāk ietekmē priekšapstrādes temperatūra X_1 , bet mazāk ietekmē katalizatora daudzums X_2 un priekšapstrādes ilgums X_3 . Tas, ka nulles līmeņa gadījumā holocelulozes iznākums (40,2%) ir gandrīz vienāds kā Kiršnera celulozes iznākums (40,0%), kā arī tas, ka šie rādītāji ir tuvi vidējām vērtībām (b_0), norāda, ka sākot ar 160°C ir notikusi pilnīga hemiceluložu parveidošanās un pāri palikušajā holocelulozē hemiceluložu praktiski vairs nav. Tas pilnībā sakrīt ar furfurola veidošanās dinamiku, kad pie 160°C sākās vērā ņemami furfurola iznākumi jau ar pirmajām minūtēm (1.attēls).

Ņemot tilpummasu Y_8 kā atsaucis funkciju, iegūts sekojošs vienādojums (9):

$$Y_8 = 113,3 + 14,9 \cdot X_1 + 13,7 \cdot X_2 + 5,1 \cdot X_3 \quad (9)$$

Vienādojumā (9) visi koeficienti ir pozitīvi, kas nozīmē, ka, palielinoties apstrādes parametru lielumam, pieaug lignocelulozes tilpummasa, kas arī varētu būt izskaidrojams ar smalkuma pakāpes palielināšanos.



1. attēls. Kaņepju spaļu un to lignocelulozes frakcionālā sastāva izmaiņas atkarībā no priekšapstrādes procesa parametriem.

Lai apstiprinātu izvirzīto pieņēmumu, tika veiktas frakcionālā sastāva analīzes, kuru rezultātus var apskatīt 1. attēlā, kur labi var redzēt, ka, palielinoties priekšapstrādes procesa parametriem – galvenokārt temperatūrai un katalizatora daudzumam, palielinās smalkās frakcijas (fr. $\leq 0,5$ mm un fr. 0,5-1,0 mm) un samazinās rupjās frakcijas (fr. 2-4 mm un fr. > 4 mm) saturs lignocelulozē. Vienādojums (9) iezīmē tieši iepriekšminēto tendenci, kad vislielākie koeficienti ir pie temperatūras ($14,9 \cdot X_1$) un pie katalizatora daudzuma ($13,7 \cdot X_2$). Kā redzams 1. attēlā, tad arī samaisīšana ar katalizatoru vērā

ņemami ietekmē kaņepju spaļu un līdz ar to arī iegūtās lignocelulozes frakcionālo sastāvu. Tas dod iespēju homogenizēt šo materiālu, jo vidējās frakcijas (fr. 0,5-4,0 mm) saturs pieaug no 77,3% līdz 86,3%. Veicot iegūtās lignocelulozes ekstrakciju un pēc tam nosakot pelnu saturu Y_9 izskatotai lignocelulozei, ieguva attiecīgu vienādojumu (10):

$$Y_9 = 3,3 + 0,8 \cdot X_1 + 1,2 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_3 \quad (10)$$

Pēc vienādojuma (10) pelnu saturs lignocelulozei pēc ekstrakcijas ar ūdeni uzrāda nedaudz savādākas sakarības, salīdzinot ar iepriekšējiem rādītājiem. Vislielāko ietekmi uz pelnu saturu uzrāda katalizatora daudzums X_2 pie maksimālās temperatūras 180°C un pie maksimālā katalizatora daudzuma 7% (skat 3.tab.). Redzams ka 170-7-90 un 180-7-30 gadījumos pelnu saturs pēc lignocelulozes ekstrakcijas ir attiecīgi 7,1% un 5,9%, kas ir lielāks kā izejas kaņepju spaļu gadījumā (4,3%). Pierādās iepriekš novērotais fenomens, ka pie katalizatora daudzuma 7% un priekšapstrādes temperatūras virs 170°C $Al_2(SO_4)_3$ paliekas vairs tik labi neekstrahējas kā pie mazāka katalizatora daudzuma (3% un 5%). Tas arī norāda uz to, ka pie augstas temperatūras un 7% katalizatora daudzuma pāri palikušā lignoceluloze degradējas līdz tādai pakāpei, ka tur jau veidojās „pseudolignīna kušņi”, kuros ieslēdzas iekšā gan Al, gan S savienojumi. Pie 140°C iegūtajiem lignocelulozes paraugiem pelnu saturs bija zem 4,3%, tādēļ svarīgi ir izvēlēties pēc iespējas mazāku katalizatora daudzumu, jo tas pēc priekšapstrādes saglabājas lignocelulozes neorganiskajā daļā, kas viennozīmīgi pasliktinās iegūto bezsaistvielu plātņu īpašības. Priekšapstrādes ilgumam X_3 ir minimāli pozitīva ietekme, kas arī ir loģiska, jo, tam palielinoties, lignocelulozes iznākums samazinās.

Veicot iegūtās lignocelulozes ekstrakciju ar ūdeni un pēc tam nosakot monosaharīdu daudzumu Y_{10} šajos ekstraktos, ieguva attiecīgu vienādojumu (11):

$$Y_{10} = 4,9 - 1,3 \cdot X_1 + 0,6 \cdot X_2 - 0,5 \cdot X_3 \quad (11)$$

Analizējot vienādojumu (11), parādās ļoti interesants fakts - palielinoties priekšapstrādes procesa temperatūrai X_1 (galvenokārt) un ilgumam X_3 (mazāk) – monosaharīdu saturs ūdens ekstraktos samazinās, kas itkā ir loģiski, jo no tiem ir izveidojies furfurols. Savukārt pie lielāka katalizatora daudzuma (7%) un zemākas temperatūras (140°C) monosaharīdu saturs palielinās, tādēļ arī koeficients pie X_2 ir ar pozitīvu zīmi. Tas nozīmē, ka priekšapstrādes procesa parametri (katalizatora daudzums un procesa ilgums) ir pietiekoši, lai izveidotos monosaharīdi, bet temperatūra ir par zemu, lai izveidotos furfurols. To parāda vislielākais negatīvais koeficients pirms priekšapstrādes procesa temperatūras X_1 vienādojumā (11), kā arī furfurola iznākumi pie šādiem apstākļiem.

Optimālā katalizatora daudzuma noteikšana

Iepriekšējos pētījumos izmantots katalizatora daudzums 3%, 5% un 7% no absolūti sausas kaņepju spaļu masas. Par optimālo izvēlēts 5% daudzums. Lai par to pārliecinātos, veicām priekšapstrādi arī pie 4% un 6% katalizatora daudzumiem un pie temperatūras 170°C, jo pie šīs temperatūras celuloze vēl saglabājas labā kvalitātē priekš plātņu presēšanas, kā arī furfurola iznākums pie tās bija virs 9%. Iegūtie rezultāti apkopoti 4. tabulā.

4. tabula. Priekšapstrādes produktu iznākumi atkarībā no katalizatora daudzuma (170°C; 90 min; tvaika daudzums 200 ml/min)

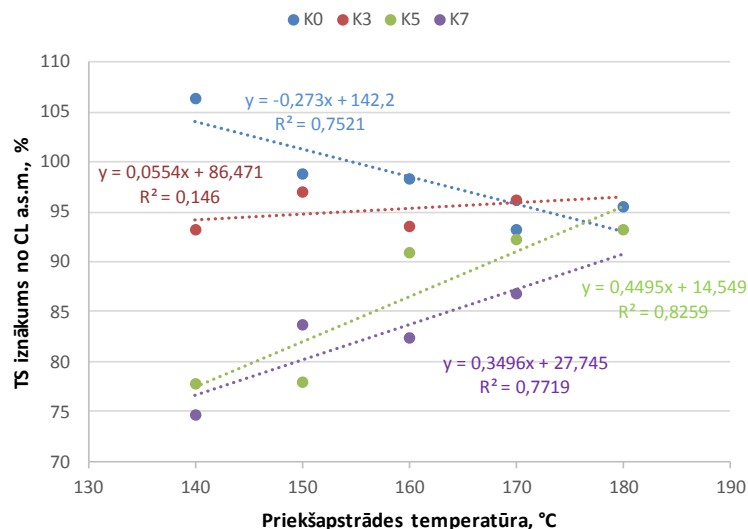
Nr.	Al ₂ (SO ₄) ₃ daudzums no a.s. spaļiem (%)	CL no a.s. spaļiem (%)	Furfurols no a.s. spaļiem (%)	Furf.** no teor.iesp. (%)	Etiķskābe no a.s. spaļiem (%)	Kiršnera celuloze no a.s. spaļiem (%)	CSP*	Holoceluloze no a.s. spaļiem (%)
61.a.	7	70,7	9,2	69,7	8,6	28,9	38,6	28,2
60	6	73,3	9,0	68,0	8,6	30,2	35,8	30,4
15	5	75,5	9,2	69,7	7,4	34,2	27,3	35,0
63	4	77,9	8,6	65,1	7,0	36,1	23,3	37,1
43	3	80,1	6,7	51,0	5,9	41,5	11,6	42,7
33	0	89,4	2,0	15,5	5,0	42,6	9,3	49,6

* CSP – celulozes sadalīšanās pakāpe $(100 - \text{Cel}_{\text{CL}} / \text{Cel}_{\text{Izejv.}}) \cdot 100$

** Furfurola iznākums no teorētiski iespējamā

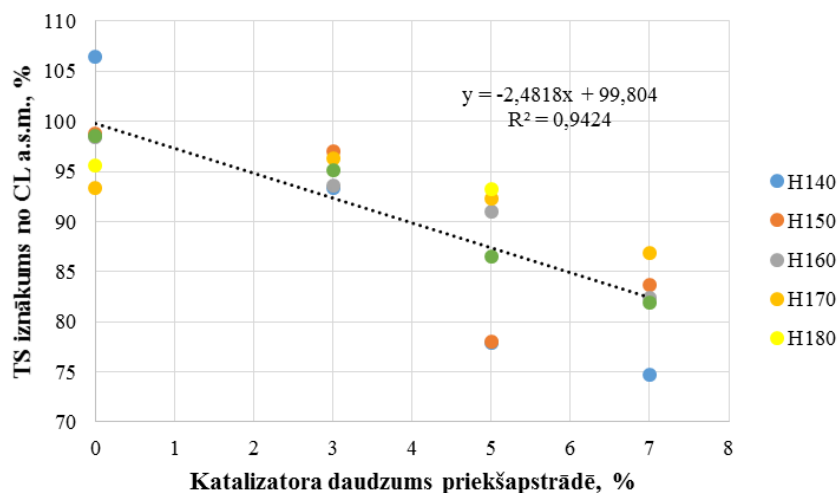
Pēc iegūtiem rezultātiem redzams, ka apstiprinās iepriekš atrastais optimālais katalizatora daudzums – 5%, jo izmantojot 6% un 7% katalizatora daudzumu furfurola iznākums nepalielinājās virs 9,2% no absolūti sausas kaņepju spaļu masas, kas ir 69,7% no teorētiski iespējamā furfurola iznākuma. Tas ir ļoti labs rezultāts, salīdzinot ar citām furfurola iegūšanas tehnoloģijām. Savukārt, izmantojot 4% katalizatora daudzumu, furfurola iznākums bija mazāks – 8,6% no absolūti sausas kaņepju spaļu masas. Arī no celulozes sadalīšanās pakāpes (CSP) viedokļa 5% katalizatora daudzums uzrāda vērā ņemamu samazinājumu, ja salīdzina to ar 6% un 7% katalizatora daudzumiem. Arī Kiršnera celulozes un holocelulozes saturs pāri palikušajā lignocelulozē uzrāda tuvas vērtības, attiecīgi 34,2% un 35,0%, pārrēķinot uz absolūti sausu kaņepju spaļu masu. Pie 170°C temperatūras, kaņepju spaļus apstrādājot 90 minūtes 5% Al₂(SO₄)₃ klātbūtnē, lignocelulozes iznākums ir 75,5% no absolūti sausas kaņepju spaļu masas, kas būs jāņem vērā tehnoloģiskā reglamenta izstrādāšanā.

2.2. aktivitātes „Tvaika sprādziena pētījumi atkarībā no tehnoloģiskā režīma” ietvaros dotajā laika periodā veikta tvaika sprādziena (TS) apstrāde lignoceluložu (CL) paraugiem pēc 90 min priekšapstrādes ar katalizatora daudzumu 3% (K3). Paraugi tika apstrādāti TS pie T 210 °C 7 s un to masas iznākumi salīdzināti ar iepriekš iegūtajiem rezultātiem. Atšķirībā no CL paraugiem, kas iegūti ar K0, K5 un K7, CL paraugam ar K3 masas iznākumi pēc TS apstrādes atkarībā no priekšapstrādes temperatūras būtiski neatšķiras (93 – 97%, sk. 2. att.). Attēlā redzamās sakarības parāda, ka Al₂(SO₄)₃ pēc hidrotermiskās priekšapstrādes paliek lignocelulozes atlikumā un tālāk turpina katalizēt arī TS procesu, it sevišķi pie zemākām temperatūrām (140, 150 °C), pie kurām celuloze vēl nav pilnībā sadalījusies. Pie augstākām temperatūrām šī sakarība vairs nav tik izteikta un pie 180°C TS cietais atlikums visiem CL 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 (K0, 2. att.).



2. attēls. CL iznākumu sakarības pēc TS apstrādes atkarībā no priekšapstrādes temperatūras un katalizatora daudzuma.

Ja skatās uz vidējiem CL TS iznākumiem neatkarīgi no priekšapstrādes T, tad tie izmainās sekojoši: K0 – 99%, K3 – 95%, K5 – 88% un K7 – 82%. Tāda tendence norāda uz tiešo katalizatora ietekmi – jo vairāk tā ir, jo zemāki cietā atlikuma iznākumi pēc TS procesa. Šo apgalvojumu apstiprina iegūtā cieša korelācija ($r = -0,94$): katalizatora daudzumu paaugstinot par 1%, cietā atlikuma iznākumi pēc TS apstrādes vidēji samazinās par 2,48% (sk. 3. att.).



3. attēls. Vidējie CL TS iznākumi atkarībā no katalizatora daudzuma priekšapstrādē.

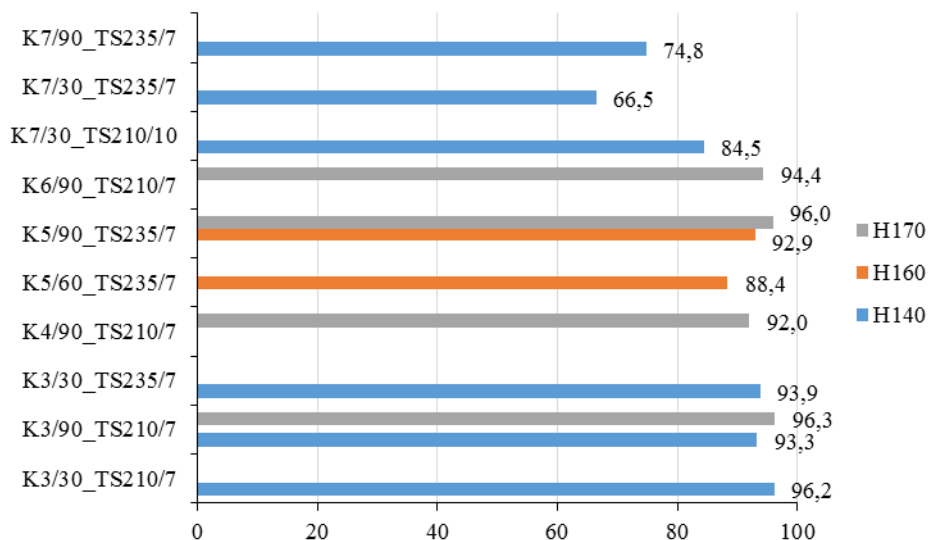
2.2. aktivitātes ietvaros TS apstrādāti CL paraugi priekš PLE, kuru rezultāti apkopoti 5. Tabulā. CL paraugu TS apstrādes režīmi izvēlēti ar mērķi iegūt maksimāli mazāk sagrautu un šķiedrainu CLTS masu. Šo mērķi sasniedza CL paraugi priekšapstrādē iegūti neatkarīgi no temperatūras (izņemot pie T 180°C, kas tika atklāts jau iepriekšējos periodos) un ilguma, taču būtiski atkarīgi no katalizatora daudzuma. Ja $K \leq 4$, tad CLTS

masu iespējams iegūt šķiedrainu un vairāk vai mazāk viendabīgu. Sākot ar K5, pat pie vidējās temperatūras CLTS masa ir diezgan sagrauta, kas izpaužas ar smalkām tās daļiņām (sk. CL58, 5. Tabula). No šādas CLTS masas nav iespējams turpmāk iegūt kvalitatīvo plātņu materiālu. No CLTS materiāliem ar $K \geq 5$ arī ir iespējams iegūt šķiedrainu masu derīgu turpmāko plātņu iegūšanai, taču jāsamazina TS apstrādes temperatūra (sk. CL56, 5. Tabula).

5. tabula. CL paraugu TS apstrādes parametri un iznākumi

CL paraugs	TS parametri			CLTS	
	T, °C	Laiks, s	W, %	Raksturojums	Iznākums, %
CL54_140_3_30	210±3	7±1	10±2	Šķiedrains viendabīgs	96,2
CL54_140_3_30	235±3	7±1	10±2	Šķiedrains neviendabīgs	93,9
CL37_140_3_90	210±3	7±1	10±2	Šķiedrains viendabīgs	93,3
CL43_170_3_90	210±3	7±1	10±2	Šķiedrains/smalks viend.	96,3
CL63_170_4_90	210±3	7±1	10±2	Šķiedrains/smalks viend.	92,0
CL5_170_5_90	235±3	5±1	10±2	Smalks viendabīgs	96,0
CL58_160_5_60	235±3	7±1	10±2	Smalks viendabīgs	88,4
CL13_160_5_90	235±3	7±1	5±2	Smalks viendabīgs	92,9
CL60_170_6_90	210±3	7±1	5±2	Šķiedrains/smalks viend.	94,4
CL56_140_7_30	210±3	10±1	10±2	Šķiedrains viendabīgs	84,5
CL56_140_7_30	235±3	7±1	10±2	Smalks viendabīgs	66,5
CL25_140_7_90	235±3	7±1	10±2	Smalks viendabīgs	74,8

Šajā pārskata periodā iegūto CLTS materiālu iznākumi no CL absolūti sausās masas (a.s.m.) svārstās no 66,5 līdz 96,3%, kam ir būtiska atšķirība (sk. 4.att.). Taču būtiski zemāki iznākumi (66,5 – 84,5%) konstatēti tikai 3 paraugiem, kas priekšapstrādē iegūti ar K7 un tas saskan ar jau iepriekš iegūtiem datiem (sk. 3.att.). Uzmanības vērts ir paraugs CL56_140_7_30, kam, neskatoties uz maigākiem priekšapstrādes apstākļiem, TS iznākumi ir viszemākie – tikai 66,5% (sk. 5. Tabula un 4.att.). Šādu rezultātu ietekmēja augsts K daudzums un augsts saglabājušos hemiceluložu saturs pēc priekšapstrādes, kas TS procesā ar šādiem apstākļiem, acīmredzami, tiek aizvākts pilnībā. Līdzīga tendence ir arī CL paraugiem 160_5_60 un 160_5_90: pēc TS pie vienādiem apstākļiem (235/7) pirmais zaudē masu vairāk (88,4) par otro (92,9) (sk. 4. att.), kas arī norāda uz pārāk augstu katalizatora daudzuma negatīvo ietekmi.



4. attēls. CLTS iznākums no CL a.s.m., % atkarībā no priekšapstrādes un TS apstākļiem.

No šī perioda 2.2. aktivitātes iegūtiem datiem ir skaidrs, ka, atkarībā no priekšapstrādes un TS apstākļiem ir iespējams iegūt vairākus CLTS materiālus, no kuriem turpmāk var presēt plātnes. Iegūtie dati arī liecina, ka, kombinējot priekšapstrādes un TS apstākļus, var iegūt CLTS masu ar augstu smalko daļiņu saturu un pietiekami augstu iznākumu. Taču, neskatoties uz pēdējo, augsts CLTS smalko daļiņu saturs negatīvi ietekmē plātņu īpašības.

2.3. aktivitātes „Plātņu izgatavošanas tehnoloģiskā procesa parametru pētījumi” ietvaros presētas plātnes no CL priekšapstrādes, izmantojot pilnā faktora eksperimenta ietvaros izvēlētos apstākļus, pie temperatūras 160-180°C un presēšanas ilguma 10-15 min. Rezultāti apkopoti 6. tabulā. Izvērtējot priekšapstrādes apstākļu ietekmi uz iegūtajām plātnēm no pāri palikušās lignocelulozes (CL), nosakot tām elastības moduli (MOE) Y_{11} un robežstiprību liecē (MOR) Y_{12} , ieguva attiecīgus vienādojumus (12) un (13):

$$Y_{11} = 1170,1 + 485,8 \cdot X_1 - 13,3 \cdot X_2 - 257,8 \cdot X_3 \quad (12)$$

$$Y_{12} = 4,3 + 0,91 \cdot X_1 + 0,04 \cdot X_2 - 0,14 \cdot X_3 \quad (13)$$

Lielā mērā abi šie lielumi ir saistīti, bet tomēr sakarības nedaudz atšķiras. Elastības modulis ir slodzes un izlieces (deformācijas) attiecība liecē, kas norāda par materiāla spēju deformēties pie noteiktās slodzes. Bet robežstiprība liecē ir materiāla sagrāves lielums, kas norāda uz materiāla maksimālo izturību pie noteiktās slodzes. Kā redzams no (12) un (13) sakarībām, MOE un MOR visvairāk ietekmē priekšapstrādes temperatūra X_1 : to paaugstinot par 1 soli, kas ir 20°C (robežās no 140 līdz 180°C), iegūto plātņu MOE vidēji paaugstinās par 485,8 vienībām (N/mm²), bet MOR – par 0,9 N/mm². Mazāka un negatīva ietekme ir priekšapstrādes ilgumam X_3 : tam palielinoties par 1 soli, kas ir 30 minūtes (robežās no 30 līdz 90 min), MOE vidēji pazeminās par 257,8

vienībām, bet MOR – par 0,14. Tas norāda, ka, lai būtu plātņu augstākas mehāniskās īpašības, nav nepieciešams kaņepju spaļus priekšapstrādē izturēt 90 min.

Augsts MOE ne vienmēr nozīmē arī augstu MOR vērtību. MOE var būt augsts arī trausliem materiāliem. No 6.tabulas redzams, ka, pie priekšapstrādes temperatūras 180°C, MOE ir 1089-2397 N/mm² un MOR ir 4,1-6,9 N/mm², kas ir ievērojami augstākas vērtības nekā plātnēm no CL pie 140°C: attiecīgi 425-984 N/mm² un 2,1-4,2 N/mm². Bet ir arī novērojamas nesakritības, piemēram, plātņu **180-3-90** un **140-7-90** gadījumos MOR vērtības ir tuvas, attiecīgi 4,1 un 4,2 N/mm², bet MOE vērtības atšķiras aptuveni 2 reizes – 1237 un 654 N/mm², attiecīgi. Tas varētu būt izskaidrojams ar būtiski atšķirīgu CSP: plātņu paraugam **180-3-90** – 18,1%, bet plātņu paraugam **140-7-90** – 5,8% (skat. 6. tabulā.). Ņemot vērā to, ka celuloze dabas materiālos pilda matricas armējošo funkciju, tad varētu šķist, ka jo vairāk tā būs sadalījusies, jo mehāniski neizturīgākas būs iegūtās plātnes. Bet, kā redzams pēc 6.tabulas, trauslāks nenozīmē mehāniski neizturīgāks. Tādēļ smalka plātņu mehānisko īpašību izskaidrošana ir komplicēta, jo ir daudz ietekmējošo faktoru: sākot ar presējamā materiāla (lignocelulozes) komponentu (celuloze, lignīns, hemicelulozes) sastāvu un to degradācijas pakāpi, un beidzot ar plātņu presēšanas parametriem, kas arī nav bijuši vienādi minēto komponentu attiecības un CSP atšķirības dēļ.

6. Tabula. PFE ietvaros iegūto plātņu no CL materiāliem īpašības.

Nr.	Hidrolīzes parametri			Plātnes			CL
	T, (°C) X_1	Al ₂ (SO ₄) ₃ , (%) X_2	T, (min) X_3	Presēšanas T/t, (°C)/(min)	MOE, (N/mm ²) Y_{11}	MOR, (N/mm ²) Y_{12}	CSP (%) Y_6
53.a	180	7	90	180/10	1089	4,4	56,0
52.	180	7	30	180/10	1903	5,5	35,4
45.	180	3	90	170/15	1237	4,1	18,1
50.	180	3	30	180/15	2397	6,9	13,4
25.	140	7	90	180/15	654	4,2	5,8
56.	140	7	30	180/10	984	3,3	0,8
37.	140	3	90	160/15	672	4,0	4,0
54.	140	3	30	180/15	425	2,1	0,8
58.	160	5	60	180/10	1480	5,5	14,8

Analizējot katalizatora daudzuma X_2 priekšapstrādē, ietekmi uz plātņu īpašībām, var pamanīt, ka tā nav būtiska: katalizatoru paaugstinot par 1 soli, kas ir 2% (robežās no 3 līdz 7%), plātņu MOE vidēji samazinās par 13,3 N/mm², bet MOR – paaugstinās par 0,04 N/mm². Tas nozīmē, ka augstākas plātņu MOE vērtības sasniedzamas pie $K < 5\%$, bet augstāki MOR rādītāji – pie $K > 5\%$.

Analizējot plātnes no lignocelulozes materiāliem, novērojams fakts, ka MOR rādītāji samazinās, pieaugot katalizatora daudzumam. Šo tendenci izskaidro noteiktie PP un CSP rādītāji 7. 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 (temperatūra un katalizatora koncentrācija) būtiski ietekmē PP rādītājus ($r \geq -0,84$) un CSP rādītājus ($r \geq 0,88$) negatīvā virzienā. Temperatūras paaugstināšana priekšapstrādē no 140°C līdz 180°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 ($r = -0,95$).

7. 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.

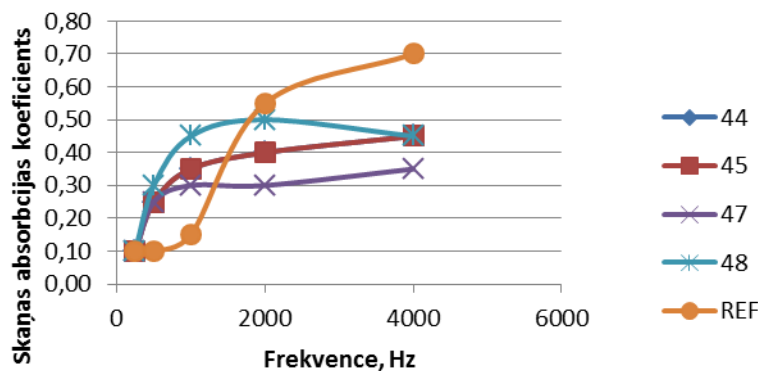
Katalizators, % no a.s.m.	Parametrs	140°C	150°C	160°C	170°C	180°C
0	PP	760	710	650	640	470
	CSP, %	1,3	3,1	4,6	9,3	11,6
	CL, MOR, N mm ⁻²	1,7	3,4	5,7	5,4	8,6
	TS, MOR, N mm ⁻²	2,5	4,0	5,1	5,3	6,3
	Furfurols, %	0,2	0,3	0,8	2,0	3,1
3	PP	730	500	440	250	190
	CSP, %	4,1	6,0	10,0	11,6	18,1
	CL, MOR, N mm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

Plātnēm no lignocelulozes materiāliem pēc TS temperatūras paaugstināšana priekšapstrādē no 140°C līdz 180°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/mm², 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. Savukārt, spriežot no pašlaik

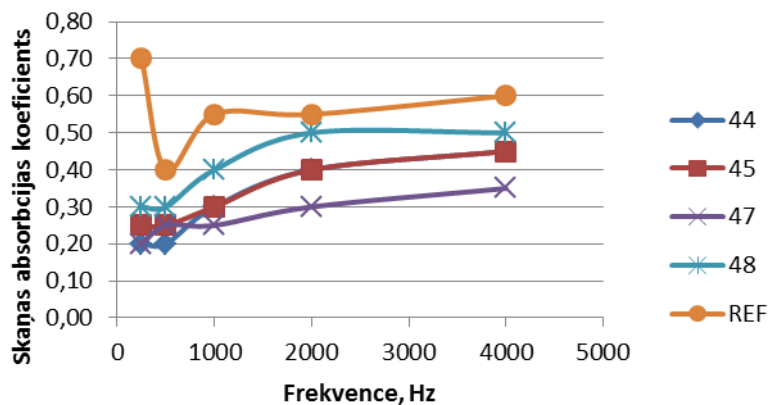
iegūtajiem datiem, TS apstrāde pēc priekšapstrādes būtiskus uzlabojumus plātņu īpašībām nedod, kas liek nopietni izvērtēt TS apstrādes nepieciešamību bezsaistvielu plātņu no kaņepju spaļiem iegūšanas tehnoloģijā.

Plātņu akustiskās īpašības

Skaņas absorbcijas koeficienta (α_w) noteikšanai izmantoti paraugi pēc testēšanas liecē, no tiem izgatavojot mērījuma paraugus ar \varnothing 40 mm. Testējot sapresēto plātņu materiālu, tika iegūti rezultāti ar zemu skaņas absorbcijas koeficientu $\alpha_w < 0,15$. Lai uzlabotu skaņas absorbcijas koeficientu vērtības, tika veidots plātnes perforējums un absorbcijas mērījumi veikti pie dažādiem novietojumiem. Priekšpētījumi parādīja, ka ir iespējams uzlabot skaņas absorbcijas koeficientu, izmantojot perforējumu un novietojuma maiņu (5. un 6. attēls).



5. att. Skaņas absorbcijas koeficients perforētām plātnēm ar iestrādes dziļumu 0 mm.



6. att. Skaņas absorbcijas koeficients perforētām plātnēm ar iestrādes dziļumu 250 mm.

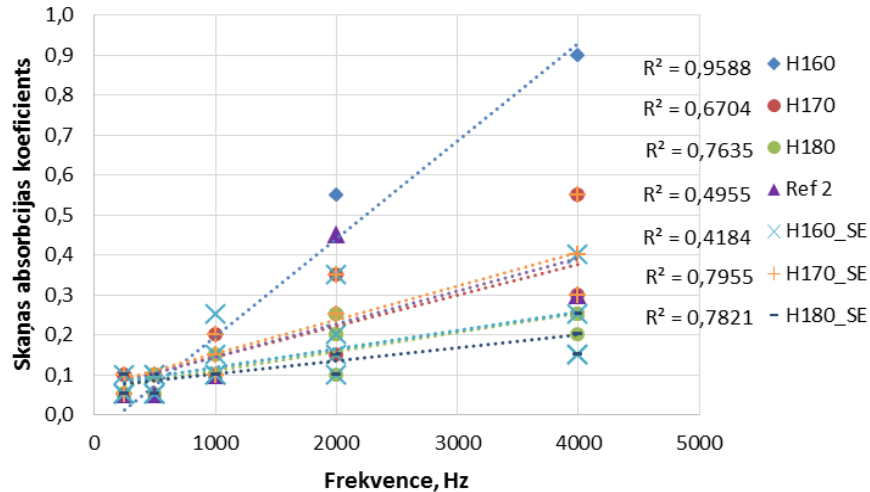
Pie materiāla iestrādes dziļuma bez gaisa šķirkārtas pētāmajām bezsaistvielu plātnēm skaņas absorbcijas koeficients frekvenču diapazonā < 2000 Hz ir augstāks kā akustiskām plātnēm par $0,15 \div 0,30$. Augstajā frekvenču diapazonā virs 2000 Hz akustiskām plātnēm ir augstāks skaņas absorbcijas rādītājs par $0,05 \div 0,35$. Palielinot iestrādes biezumu līdz 250 mm, kopējie bezsaistvielu plātņu skaņas absorbcijas

koeficienta rādītāji pieaug, bet salīdzinājumā ar akustisko plātņi iegūtais kaņepju plātņu materiāls ir ar zemākām skaņas absorbcijas koeficienta vērtībām visos frekvenču diapazonos, kas svārstās no 0,05÷0,40. Sākotnējā plātņu presēšanā tika iegūtas plātnes, kam tika novērotas plaisas materiālā. Šāda veida defekti var būtiski ietekmēt skaņas absorbcijas mērījumus. Turpmākos skaņas absorbcijas mērījumos tika veikti mērījumi materiāliem bez perforācijas, līdz plātņu izgatavošanas tehnoloģijas uzlabošanai, pēc kā būtu iespējams noteikt efektīvāko priekšapstrādes un presēšanas tehnoloģiju turpmākai plātņu izstrādei. Iegūtie rezultāti parādīja, ka zemo frekvenču apgabalā (zem 2000 Hz) presēšanas parametriem nav tiešas ietekmes uz skaņas absorbcijas koeficientu, bet netieši ir ietekme no priekšapstrādes tehnoloģijas un fizikālajām un mehāniskajām izejmateriālu īpašībām (8. tabula).

8. tabula Vidējais skaņas absorbcijas koeficients

No	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_w
H160	0,05	0,05	0,10	0,55	0,90	0,10
H170	0,10	0,10	0,15	0,25	0,40	0,10
H180	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,15
H160SE	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,10
H170SE	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,15
H180SE	0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,10
Ref	0,05	0,05	0,10	0,45	0,30	0,10

Augstākais skaņas absorbcijas koeficients paneļu paraugiem tika sasniegts paneļiem pie 4000 Hz un priekšapstrādes temperatūras 160°C (8. tabula). Izvērtējot izejmateriāla ietekmi, secināts, ka paneļiem, kas iegūti pēc hidrotermiskās priekšapstrādes un pēc tvaika sprādziena apstrādes, nav būtisku atšķirību vidējo skaņas absorbcijas koeficientu vērtībām (α_w), bet novērojama atšķirība atsevišķos frekvenču diapazonos. Izejas kaņepju spaļu skaņas absorbcijas koeficienta augstākā vērtība tiek sasniegta pie 2000 Hz, bet, veicot priekšapstrādi un tvaika apstrādi, maksimālā vērtība tiek novirzīta uz augstāku frekvenču diapazonu (4000 Hz) un pieaug tā skaitliskā vērtība no 0,3 (Ref., 8.tabula) līdz pat 0,9 (H160. 8. tabula).



7. att. Skaņas absorbcijas koeficients atkarībā no priekšapstrādes.

Palielinot izejmateriālu priekšapstrādes temperatūru līdz 180°C, skaņas absorbcijas koeficientam novērojama tendence samazināties frekvenču apgabalā no 2000 ÷ 4000 Hz (8. tabula) attiecībā pret abiem pārējiem izgatavošanas apstākļiem. Salīdzinot katru priekšapstrādes procesā iegūto plātņu izejmateriālu atsevišķi, temperatūras pieaugums no 160°C līdz 180°C hidrotermiskās priekšapstrādes procesā palielina skaņas absorbcijas koeficientu par 0,05 frekvenču apgabalā no 500÷1000 Hz, kas kopējo skaņas absorbcijas svērto vērtību (α_w) neuzlabo. Paraugiem, kam veikta tikai hidrotermiskā priekšapstrāde, absorbcijas koeficienta vērtības atsevišķos frekvenču diapazonos ir lielākas kā neapstrādātam materiālam. Savukārt, skaņas absorbcijas vērtības pēc tvaika sprādziena samazinās, kas izteikti novērojams paraugiem pie priekšapstrādes temperatūras 160°C. Ietekme ir būtiska, jo, veicot priekšapstrādes temperatūras palielināšanu, skaņas absorbcijas koeficients strauji samazinās augsto frekvenču diapazonā virs 2000 Hz (7. attēls). Hidrotermiskās priekšapstrādes procesa temperatūrām 170°C un 180°C ietekme uz skaņas absorbciju ir neliela - 0,05 robežās galvenokārt vidējā frekvenču diapazonā. Pakāpeniski palielinot izgatavošanas tehnoloģijas temperatūru no 160°C līdz 180°C, augstākie rezultāti atsevišķos frekvenču apgabalos tika sasniegti paraugiem, kam priekšapstrāde veikta ar 170°C.

Nākamajam projekta periodam 2.3. aktivitātes ietvaros tiek izvirzīti uzdevumi no optimālā CL materiāla (vienādi priekšapstrādes apstākļi) iegūt plātnes pie dažādiem apstākļiem un noteikt un analizēt materiālu skaņas absorbcijas īpašības; tās izvērtēt izmantojot PFE. Analizējot izgatavoto plākšņu parametrus, izvērtēt iespējamā paneļu pielietojumu dažādās sistēmās.

Projekta zinātniskais vadītājs

09.03.2015.

J.Rižikovs