
Parastās priedes (*Pinus sylvestris*) un Klinškalnu priedes (*Pinus contorta*) koksnes piemērotības papīra ražošanai salīdzinoša analīze

Inese Šāble¹, Uldis Grīnfelds¹, Āris Jansons^{2*}, Laura Viķele¹, Ilze Irbe¹,
Anrijs Verovkins¹, Endijs Bāders², Arnis Treimanis¹

Šāble, I., Grīnfelds, U., Jansons, Ā., Viķele, L., Irbe, I., Verovkins, A., Bāders, E., Treimanis, A. (2012). Suitability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and lodgepole pine (*Pinus contorta*) wood for paper production: comparative analysis. *Mežzinātne* 26(59): 155-166.

Kopsavilkums. Pieaugot pieprasījumam pēc koksnes kā atjaunojama resursa un meža apsaimniekošanas riskiem, palielinās nepieciešamība analizēt jaunu sugu introdukcijas lietderību. Pirms ieteikt kādu sugu izmantošanai, būtiska ir tās vispusīga izpēte, ietverot arī iespējamās koksnes pielietošanas veidus. Pētījums veikts kā daļa no Klinškalnu priedes introdukcijas Latvijā potenciāla novērtējuma, un tā mērķis ir raksturot vienādu dimensiju Klinškalnu un parastās priedes koksnes ķīmisko sastāvu un šķiedru īpašības, salīdzinot to piemērotību papīra ražošanai. Pētījuma materiāls – 59 parastās priedes un 22 Klinškalnu priedes koki – ievākts blakus esošos 1985. gadā ierīkotajos stādījumos mētrājā. Analizēts koksnes celulozes, lignīna, ekstraktvielu un pelnu saturs, kā arī sulfātcelulozes šķiedru galvenie raksturlielumi – iznākums, šķiedru dimensijas, raupjums. Konstatēts, ka Klinškalnu priedes koksne satur statistiski būtiski mazāk lignīna un ekstraktvielu nekā parastās priedes koksne (attiecīgi 26,4 % pret 27,0 % un 2,3 % pret 2,9 %). Tas liecina, ka Klinškalnu priedes koksni ir vieglāk delignificēt un delignifikācijas procesa nodrošināšanai ir nepieciešams mazāks enerģijas un ķīmikāliju patēriņš. Starp abām priežu sugām nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības sulfātcelulozes iznākumā un lignīna daudzumā šķiedrās. Šķiedru garums priežu sugām nav statistiski būtiski atšķirīgs, taču vairāki citi šķiedru kvalitāti raksturojoši rādītāji (šķiedru raupjums, garuma un platuma attiecība, Runkeļa indekss) Klinškalnu priedei ir statistiski būtiski labāki nekā parastajai priedei. Tas liecina, ka, izmantojot Klinškalnu priedes koksni, iespējama tādu īpašību kā papīra trūkšanas garuma, caurspiešanas, ieplēšanas un izstiepuma stiprības uzlabošana, tātad šī koksne ir piemērotāka izejviela augstvērtīga papīra iegūšanai nekā parastās priedes koksne.

Nozīmīgākie vārdi: introducēta suga, sulfātceluloze, Runkeļa indekss.

•••

Šāble, I.³, Grīnfelds, U.³, Jansons, Ā.^{4*}, Viķele, L.³, Irbe, I.³, Verovkins, A.³,

¹ Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūts, Dzērbenes iela 27, Rīga, LV-1006, Latvija

² LVMI Silava, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija; *e-pasts: aris.jansons@silava.lv

³ Latvian State Institute of Wood Chemistry, 27 Dzerbene str., Riga, LV-1006, Latvia

⁴ Latvian State Forest Research Institute "Silava", 111 Riga str., Salaspils, LV-2169, Latvia,

*e-mail: aris.jansons@silava.lv

Bādērs, E. ⁴, Treimanis, A. ³. **Suitability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and lodgepole pine (*Pinus contorta*) wood for paper production: comparative analysis.**

Abstract. The increasing demand for wood as a renewable material as well as the predicted climate change and its irregularities, associated risks for forest management calls for studies in options to diversify the forest composition. One of the ways to achieve it is to increase number of species used. Forestry has a long rotation cycle therefore any introduced material needs to be carefully studied before recommending to use it in praxis in a wider scale. One of the species undergoing such complex analysis (including productivity, stem and branch quality, resistance to biotic and abiotic factors) in Latvia is lodgepole pine (*Pinus contorta*). Aim of the particular study is to characterise wood chemical content and fibre properties, important for paper production, for lodgepole pine in comparison to Scots pine – the only native species that is used in production forests on similar dry sandy soils.

Material for the study – 59 Scots pine and 22 lodgepole pine trees – have been collected in experimental trials located in the central part of Latvia, *Vacciniosa* forest type, beside each other, established in year 1985. Sample trees were randomly selected with aim to represent diameter distribution in experiments and there were no statistically significant differences in sample tree dimensions between pine species. Wood samples were taken from the stem at height 1-1.3 m. Chemical composition was defined and fibre characteristics were measured for all samples from unbeaten Kraft pulp using methods as defined in respective standards; also Runkel and flexibility indexes of pulp fibres were calculated.

Results reveal that lodgepole pine wood contains statistically significantly less lignin and extractives than Scots pine wood (26.4 % vs. 27.0 % and 2.3 % vs. 2.9 % respectively). It indicates, that delignification of lodgepole pine wood is less demanding in terms of energy and chemicals and therefore most likely cheaper and friendlier to environment. No statistically significant differences between both pine species were found in Kraft pulp yield or lignin content in fibres after Kraft pulping experiment. Similarly, no significant differences in fibre length were detected (2.25 mm for *Pinus sylvestris* and 2.24 mm for *Pinus contorta*) however, slight differences in fibre length distribution were found. Statistically significant differences between pine species were found in number of fibre quality traits: fibre coarseness, Runkel index, fibre width-length ratio. These findings indicate that wood of lodgepole pine is more suitable for high-quality paper production than wood of Scots pine.

Key words: introduced species; Kraft pulp; Runkel index.

•••

Шабле, И. ⁵, Гринфелдс, У. ⁵, Янсонс, А. ^{6*}, Викеле, Л. ⁵, Веровкинс, А. ⁵, Бадерс, Э. ⁶, Трейманис, А. ⁵. **Пригодность древесины сосны обыкновенной и сосны скрученной для бумажной промышленности – сравнительный анализ.**

Резюме. Возрастая потребностей в древесине как в возобновляемом ресурсе,

⁵ Латвийский Государственный Институт химии древесины, ул. Дзербенес 27, Рига, LV-1006, Латвия

⁶ ЛГИЛ «Силава», ул. Ригас 111, Саласпилс, LV-2169, Латвия; *эл. почта: aris.jansons@silava.lv

также возрастает и необходимость заложения в конкретном регионе доселе неиспользованных древесных пород. В северных государствах, и в Латвии, изучаются возможности интродуцирования, а также и качественные показатели сосны скрученной. Цель исследования – выяснить данные о химическом составе и свойствах волокон интродуцированной в Латвии сосны скрученной для сравнения с соответствующими свойствами сосны обыкновенной.

Анализируются: содержание целлюлозы, лигнина, экстрактивных веществ и пепла в древесине 27-летних сосен обыкновенных и скрученных, а также характерные показатели волокон сульфатной целлюлозы – исход, дименсии волокон, корявость. По результатам исследования древесины и волокон бумажной массы вычислены и сравнены индексы Рункеля и гибкости волокон. Выяснено, что древесина сосны обыкновенной содержит больше лигнина и экстрактивных веществ по сравнению с сосной скрученной. Но, в свою очередь, из сосны скрученной возможно получить больше сульфатной целлюлозы по сравнению с сосной обыкновенной. Притом разница небольшая, но при значительном объеме производства целлюлозы она является существенной. Волокна у сосны скрученной уже чем у сосны обыкновенной, и поэтому более гибкие, что обеспечивает более устойчивых взаимосвязей между волокон, что в свою очередь обеспечивает механическую прочность отливки бумажной массы, в основном это относится к прочности сопротивления придавливанию.

Ключевые слова: интродуцированные породы, сульфатная целлюлоза, индекс Рункеля.

Ievads

Koku sugu introdukcija var nodrošināt lielu atjaunojamo resursu apjomu ar noteiktām koksnes īpašībām, “atbrīvojot” pārējās mežu platības citiem apsaimniekošanas mērķiem. Piemēram, Jaunzēlandē introducētās *Pinus radiata* plantācijas aizņem tikai aptuveni 10 % no kopējās mežu platības, tomēr nodrošinot gandrīz visu valsts koksnes patēriņu un līdz ar to iespēju pārējos mežos veikt tikai ekstensīvu apsaimniekošanu, galveno uzmanību veltot vides aizsardzībai un rekreācijai. Plašāks izmantojamo sugu klāsts ļauj meža īpašniekam diversificēt riskus, kas ir būtiski, jo prognozētās relatīvi straujās klimata izmaiņas saistītas ar mežsaimnie-

cisko risku pieaugumu gan tiešu meteoroloģisko faktoru izmaiņu ietekmē, gan pastarpināti, piemēram, paaugstinoties temperatūrai un mainoties mitruma sezonālajam apjomam, mainās arī ugunsbīstamības apstākļi.

Pirms ieteikt kādas koku sugas introdukciju, nepieciešami tās izmēģinājumi konkrētajā teritorijā un detalizēti pētījumi. Klinškalnu priedes stādījumos Latvijā ietverta daļa no tās plašo dabiskās izplatības areālu pārstāvošajām proveniencēm – materiāls no Kanādas rietumu piekrastes reģioniem. Daži eksperimenti jau sasnieguši 30 gadu vecumu, kas sastāda aptuveni trešdaļu no potenciālā rotācijas perioda garuma, un uzsākta to daudzpusīga izvērtēšana. Pirmie

iegūtie rezultāti liecina, ka stādījumos Latvijā Klinškanu priedes krāja vidēji ir lielāka nekā parastajai priedei (Sisenis *et al.*, 2012; Jansons *et al.*, 2009a; Jansons *et al.*, 2009b), kas atbilst kaimiņvalstu pētījumu datiem. Piemēram, kā liecina Elfving *et al.* (2001) apkopotā informācija, Zviedrijā *Pinus contorta* audžu krāja 25 gadu vecumā ir vidēji par 36 % augstāka nekā *Pinus sylvestris*, tādēļ šī suga Zviedrijā jau 1970-tajos gados introducēta lielās platībās (ap 600000 ha).

Ņemot vērā augstos produktivitātes rādītājus, Klinškanu priedes introdukcija varētu būt perspektīva, tādēļ ir lietderīgi analizēt citas šīs sugas īpašības, tajā skaitā koksnes determinējošās.

Pētījumu, kuros veikta tieša Klinškalnu un parastās priedes koksnes īpašību salīdzināšana, ir maz (Elfving *et al.*, 2001). Tas galvenokārt saistīts ar šo sugu dabiskā izplatības areāla nesakritību.

Pētījumos Somijā (Grekin, 2006) norādīts, ka Klinškalnu priedes koksni var izmantot būvbalķu, gulšņu un stabu izgatavošanai. Pieaug arī tās pielietojums apšuvuma, grīdas seguma u.c. dēļiem, tomēr to ierobežo zarojuma īpatnības. Analizējot Klinškalnu priedes ciršanas atlieku (galvenokārt neliela diametra galotņu) koksnes īpašības, konstatēts, ka adhezīvus nesaturošo šķiedru plātņu stiprība atbilst augsta blīvuma šķiedru plātņu standartam un atliekas ir piemērotas plātņu kompozītu ražošanai (Hunt *et al.*, 2008). Skaidrojot dzīvo un dendrofāgo kukaiņu bojājumu dēļ nesen nokaltušo Klinškalnu priežu koksnes īpašības, konstatēts, ka to šķiedras ir piemērotas mehāniski izturīgas papīrmasas iegūšanai (McGovern, 1951). Līdzīgi Hat-

tons un Gee (1993), analizējot papīrmasas iznākumu un šķiedru raupjumu, secina, ka iscirtmeta Klinškalnu priedes plantācijas var būt piemērotas sulfātcelulozes ieguvei, kas izmantojama plaša papīra produktu klāsta ražošanai. Izvērtējot koknes un šķiedru īpašības, līdzīgi rezultāti iegūti arī Latvijā (Sable *et al.*, 2012), tomēr, ņemot vērā pētījumā pielietoto metodiku, neatbildēts ir jautājums par abu sugu vienādu dimensiju koku koksnes īpašību atšķirībām.

Koksnes piemērotību sulfātcelulozes un papīra ražošanai nosaka, kompleksi izvērtējot galvenās šo procesu ietekmējošās īpašības – koksnes ķīmisko sastāvu (lignīna, celulozes, ekstraktvielu un pelnu saturs) un šķiedru ģeometriskos parametrus – garumu, platumu un formu.

Šī pētījuma mērķis ir raksturot vienādu dimensiju Klinškalnu un parastās priedes koksnes ķīmisko sastāvu un šķiedru īpašības, salīdzinot to piemērotību papīra ražošanai.

Materiāls un metodika

Paraugu ieguve

Paraugi ievākti Latvijas centrālajā daļā (56°41'Z.p., 24°27'A.g.) blakus izvietotos Klinškalnu un parastās priedes eksperimentālajos stādījumos (Nr. 82 un Nr. 19 Ilglaicīgo pētniecisko objektu reģistrā), kas ierīkoti 1985. gadā mētrājā, izmantojot divgadīgus kailsakņu stādus. Stādīšanas attālums 1 × 2 m; pirms paraugu ievākšanas 2009. un 2010. gada ziemas miera periodā (decembris, janvāris, februāris) stādījumos nav veiktas kopšanas cirtes. Paraugkoki izvēlēti proporcionāli caurmēru sadalījumam. Analizēti 59 parastās priedes un 22 Klinškalnu priedes koki, paraugus

koksnes ķīmisko un šķiedru īpašību noteikšanai iegūstot no šķērsriezuma ripām 1-1,3 m augstumā virs sakņu kakla. Parastās priedes paraugkoku vidējais augstums $10,7 \pm 1,3$ m, caurmērs $10,4 \pm 1,7$ cm; Klinškalnu priedes paraugkokiem – attiecīgi $11,2 \pm 1,0$ m un $12,5 \pm 2,5$ cm.

Koksnes anatomiskās struktūras mērījumi

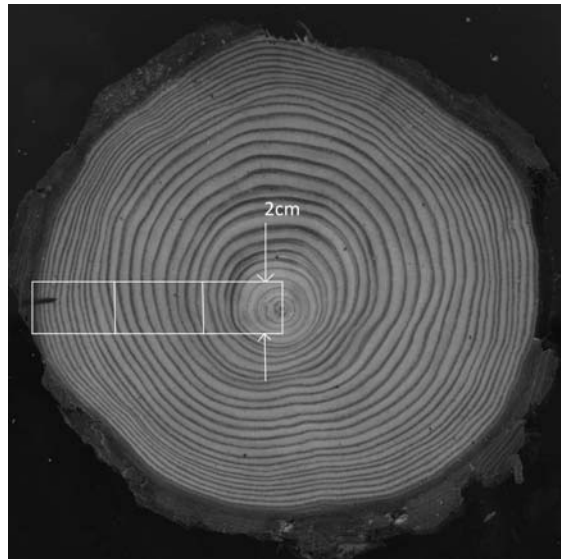
Koksnes anatomiskās struktūras mērījumiem no katra koka šķērsriezuma ripas izgrieztas 2 cm platas sloksnes virzienā no serdes uz mizu (1. att.).

Sagatavotās sloksnes sadalītas 3 vienādās daļās. Pēc koksnes paraugu izturēšanas destilētā ūdenī no katra parauga iegūti 15-20 μm biezi griezumi mikroskopiskai izpētei (palielinājums $400\times$), kas veikta, izmantojot caurejošās gaismas mikroskopu “Leica DMLB”, kas savienots ar videokameru “Leica DFC490”. Atsevišķu koksnes šūnu jeb traheīdu šķērsriezumu mērījumi izdarīti ar attiecīgi

kalibrētu attēlu apstrādes programmatūru “Image-Pro Plus 6.3” (*Media Cybernetics, Inc.*). Pēc nejaušības principa izvēlētām 150 agrinās un 150 vēlinās koksnes šūnām noteikti lumena laukuma, lumena diametra, šūnas diametra radiālā un tangenciālā virzienā un šūnas sienas biezuma rādītāji. Runkeļa indekss (Runkel, 1949) aprēķināts, divkāršu šūnas sienas biezumu dalot ar lumena diametru, šķiedras l/d attiecība iegūta, dalot šķiedras garumu ar platumu (Ververis *et al.*, 2004; Saikia *et al.*, 1997), bet šķiedru lokanības koeficients iegūts, šūnas lumena diametru dalot ar šūnas diametru un iznākumu reizinot ar 100 (Ohshima *et al.*, 2005; Saikia *et al.*, 1997).

Koksnes ķīmiskā sastāva analīze

Ķīmiskā sastāva noteikšanai izmantoti visi paraugkoki, katram veicot paralēlos mērījumus. Pirms koksnes ķīmisko īpašību noteikšanas koksne sasmalcināta un izsijāta. Koksnes ķīmiskā sastāva noteikšanai izman-



1. attēls. Priedes koksnes parauga sagatavošana mikroskopiskai izpētei.

Figure 2. Preparation of pine wood sample for microscopy.

tota skaidu frakcija ar izmēriem 0,4-0,6 mm.

Koksnes ekstrakcijai lietots acetons saskaņā ar TAPPI 2040m – 88 standartu. Celulozes daudzums koksnē noteikts pēc Kiršnera-Hoffnera metodes atbilstoši standarta TAPPI 2450m – 94 (TAPPI, 1994) prasībām, 95 % etilspirta (C_2O_5OH) un slāpekļskābes (HNO_3) šķīdumā (1 : 4). Lignīna daudzums noteikts atbilstoši standarta TAPPI 2220m – 88 prasībām; metode pazīstama kā Klāsona (sērskābē nešķīstoša) lignīna noteikšana.

Papīrmasas šķiedru iegūšana un īpašību noteikšana

Šķiedru īpašību raksturošanai 2 cm biezs disks no katra paraugkoka ar cērtamo nazi sagriezts 2-3 mm platās sloksnēs, neatdalot atsevišķi kodolkoksni un aplievu. Pēc tam sloksnes sagrieztas 2-3 mm platos skaliņos. Papīrmasa (sulfātceluloze) iegūta ar sulfāta vienpakāpes delignifikācijas metodi. Delignifikācijas procesa parametri bija šādi: aktīvā sārma koncentrācija vāršķīdumā – $49,6 \text{ g l}^{-1}$ (Na_2O vienībās), sulfiditāte 30,0 %, hidromoduls 4,5 : 1, maksimālā delignifikācijas temperatūra $170^\circ C$, delignifikācijas laiks – 85 min. Ar skaliņiem un vāršķīdumu uzpildītais autoklāvs nakti pirms vārīšanas izturēts istabas temperatūrā, lai panāktu labāku koksnes piesūcināšanos ar aktīvajām vielām. Pēc vārīšanas laika beigām autoklāvs tūlīt ievietots auksta ūdensledus vannā, lai apturētu delignifikācijas procesu. Iegūtā sulfātceluloze skalota ar siltu ūdeni līdz skalojamo ūdeņu neitrālai reakcijai. Delignificētās šķiedras apstrādātas dezintegratorā līdz 30000 apgriezieniem, tad filtrētas Bihnera piltuvē, žāvētas 3 dienas

istabas temperatūrā un noteikts sulfātcelulozes iznākums.

Aptuveni 0,1 g (~10000 atsevišķas šķiedras) iegūtās papīrmasas suspendēts 20 mL dejonizēta ūdens un nosacītas šķiedru dimensijas (garums, platums u.c.) ar Lorentzen & Wettre „FiberTester” iekārtu.

Datu statistiskā analīze

Iegūtie dati apstrādāti ar matemātiskās statistikas programmu SPSS, izmantojot faktoranalīzi (faktors-koka suga), dispersijas analīzi, kā arī izvērtējot atšķirību būtiskumu starp parastās un Klinškalnu priedes visiem parametriem pie $\alpha = 0,05$.

Rezultāti un diskusija

Koksnes ķīmiskais sastāvs

Klinškalnu un parastās priedes koksne ir ar līdzīgu celulozes un minerālvielu saturu, taču statistiski būtiski atšķirīgu lignīna daudzumu (1. tab.).

Mūsu pētījumā starp abām koku sugām konstatētas atšķirības ekstraktvielu un lignīna daudzumā ir būtiskas ($p < 0,05$) – Klinškalnu priedes koksne satur mazāk lignīna (26,4 %) nekā parastā priede (27,0 %). Tas ļauj secināt, ka Klinškalnu priedes koksne ir vieglāk delignificējama un delignifikācijas procesa nodrošināšanai nepieciešams mazāks enerģijas un ķīmikāliju patēriņš. Papīrmasas iegūšanu no Klinškalnu priedes atvieglo arī samazinātais ekstraktvielu daudzums.

Koksnes šķiedru īpašības

Sulfātcelulozes iznākums no Klinškalnu priedes koksnes ir nedaudz un statistiski nebūtiski augstāks salīdzinājumā ar parastās priedes koksnes iznākumu, arī

1. tabula / Table 1

Parastās un Klinškalnu priedes koksnes ķīmiskais sastāvs
Chemical properties of Scots and lodgepole pine wood

Ķīmiskais komponents <i>Chemical component</i>	Suga <i>Species</i>				Būtiskums <i>Significance</i>
	<i>P. sylvestris</i>		<i>P. contorta</i>		
	Aritm. vid. <i>Average</i>	STD	Aritm. vid. <i>Average</i>	STD	
Celulozes saturs, % <i>Cellulose, %</i>	49,2	1,1	48,9	1,2	NS
Lignīna saturs, % <i>Lignin, %</i>	27,0	0,8	26,4	0,6	**
Minerālvielu saturs, % <i>Ash, %</i>	0,28	0,03	0,29	0,02	NS
Ekstraktvielu saturs, % <i>Extractives, %</i>	2,9	0,8	2,3	0,8	**

Apzīmējumi / Legend:

STD – standartnovirze / *standard deviation*.

Būtiskums aprēķināts atšķirībām starp sugām / *Significance calculates for differences among pine species*: NS – nebūtisks / *non-significant*; ** – būtisks $\alpha = 0,001$ līmenī / *significance level $\alpha = 0.001$* .

lignīna daudzums šķiedrās nav atšķirīgs (2. tab.). Iepriekšējie rezultāti, kas reprezentēja katras sugas vidējās dimensijas, liecināja, ka Klinškalnu priedes koksne salīdzinājumā ar parasto priedi ir piemērotāka sulfāta delignifikācijai (Sable *et al.*, 2012). Mūsu pētījumā sulfātcelulozes iznākums no Klinškalnu priedes koksnes (46,7 %) ir līdzīgs Hattona un Gee (1993) iegūtajiem rezultātiem, kur konstatēts, ka Klinškalnu priedes resgaļa juvenilās koksnes sulfātcelulozes iznākums ir 45,0 %, resgaļa brieduma koksnei 47,5 % un galotnes koksnei 46,9 %. Līdzīgi, salīdzinot nesen nokaltušu un dzīvu Klinškalnu priedžu koksnes īpašības, McGovern (1951) ieguvis sulfātcelulozes iznākumu robežās no 45,8 % līdz 47,4 %.

Apkopojot datus par nemaltas (12-14°SR) sulfātcelulozes šķiedru dimen-

sijām, kā arī šķiedru smalko frakciju saturu šķiedru masā (3. tab.), konstatēts, ka Klinškalnu priedes šķiedru garums (2,24 mm) būtiski neatšķiras no parastās priedes šķiedru garuma (2,25 mm), bet šķiedru platums ir atšķirīgs (attiecīgi 33,6 μm un 31,4 μm , $p = 0,001$). Hattona un Gee (1993) izmēritais vidējais šķiedru garums Klinškalnu priedei – 2,49 mm galotnes koksnei un 3,14 mm brieduma koksnei, taču juvenilās koksnes šķiedru garuma vērtības (2,41 mm) ir samērā tuvas mūsu pētījumā iegūtajām. Parastās priedes šķiedru raupjums ir par 10 % lielāks nekā Klinškalnu priedei. Tas nozīmē, ka parastajai priedei nepieciešams lielāks enerģijas patēriņš, lai iegūtu šķiedras līdz papīra ražošanai nepieciešamajai maluma pakāpei. Zināms arī, ka Klinškalnu priedes juvenilās un galotnes koksnes

Sulfātcelulozes iznākums un lignīna daudzums pēc koksnes sulfāta delignifikācijas
abu priežu sugu šķiedrās

Mean pulp yield and content of lignin in fibres for both pine species after Kraft pulping experiment

Parametrs Parameter	Suga Species				Būtiskums Significance
	<i>P. sylvestris</i>		<i>P. contorta</i>		
	Aritm. vid. Average	STD	Aritm. vid. Average	STD	
Celulozes iznākums, % <i>Kraft pulp yield, %</i>	46,3	2,1	46,7	1,4	NS
Lignīna daudzums, % <i>Lignin in pulp, %</i>	4,4	0,3	4,4	0,3	NS

Apzīmējumi / Legend:

STD – standartnovirze / standard deviation.

Būtiskums aprēķināts atšķirībām starp sugām / Significance calculates for differences among pine species: NS – nebūtisks / non-significant.

sulfātcelulozes šķiedru raupjums ir mazāks (Hattons, Gee, 1993) nekā brieduma koksnes šķiedrām.

Šķiedru produktu īpašību novērtējumam un prognozēšanai lieto vairākus no šķiedru dimensijām atvasinātus mērijumus – šķiedru garuma un platuma attiecību, šķiedru lokanības koeficientu un Runkeļa indeksu. Garuma un platuma attiecība un Runkeļa indekss Klinškalnu un parastās priedes šķiedrām ir būtiski ($p < 0,05$) atšķirīgi, bet šķiedru lokanības koeficients būtiski neatšķiras. Nemaltas sulfātcelulozes šķiedru atlējumu mehāniskās īpašības galvenokārt nosaka šķiedru garums un šķiedru sienīņu biezums, bet maltas sulfātcelulozes atlējumu stiprību – šķiedru lokanība un šķiedru garuma un platuma attiecība (Oluwadare, Ashimiyu, 2007). Analizējot iegūtos datus (3.tab.), var prognozēt Klinškalnu priedes atlējumu mehāniskās stiprības rezultātus. Aizstājot

parastās priedes koksni ar Klinškalnu priedes koksni, iespējama tādu īpašību kā papīra trūkšanas garuma, caurspiešanas, plīšanas un izstiepuma stiprības uzlabošana.

Starp Runkeļa indeksu un sulfātcelulozes iznākumu pastāv būtiska un pozitīva korelācija, bet starp Runkeļa indeksu un šķiedru pārstrādājamību – būtiska un negatīva korelācija (Ona, Sonoda, 1996). Pirmo sakarību apstiprina arī mūsu rezultāti: parastās priedes sulfātcelulozes iznākums ir 46,3 % un Runkeļa indekss 0,27, Klinškalnu priedei – attiecīgi 46,7 % un 0,30.

Arī citi autori (Hatton, Gee, 1993; McGovern, 1951) atzīmējuši, ka Klinškalnu priedes šķiedras ir piemērotas papīrmasas produktu ar labām mehāniskām īpašībām ražošanai.

Prognozējot iegūstamā papīra potenciālās īpašības, svarīgi ir zināt ne tikai vidējo šķiedru garumu, bet arī šķiedru garumu sadalījumu, kas ietekmē atlējuma

3. tabula / Table 3

Parastās un Klinškalnu priedes šķiedru dimensiju raksturojums
Characterisation of pulp fibre properties for Scots and lodgepole pine

Parametrs Parameter	Suga Species				Būtiskums Significance
	<i>P. sylvestris</i>		<i>P. contorta</i>		
	Aritm. vid. Average	STD	Aritm. vid. Average	STD	
Šķiedru garums, mm <i>Fiber length, mm</i>	2,25	0,23	2,24	0,18	NS
Šķiedru platums, μm <i>Fiber width, μm</i>	33,6	1,8	31,4	2,3	**
Formas faktors, % <i>Form factor, %</i>	93,1	1,1	93,1	0,8	NS
Smalkumi masā, % <i>Fines, %</i>	2,1	0,4	1,7	0,5	**
Raupjums, mg m^{-1} <i>Coarseness, mg m^{-1}</i>	178	40	161	27	*
Šķiedru dimensiju atvasinātie koeficienti <i>Fibre dimensional derivative coefficients</i>					
Šķiedru l/d attiecība <i>Slenderness</i>	66,9	7,1	71,4	6,0	**
Šķiedru lokanība <i>Flexibility</i>	79,9	5,6	78,4	5,1	NS
Runkeļa koeficients <i>Runkel ratio</i>	0,27	0,05	0,30	0,03	*

Apzīmējumi / Legend:

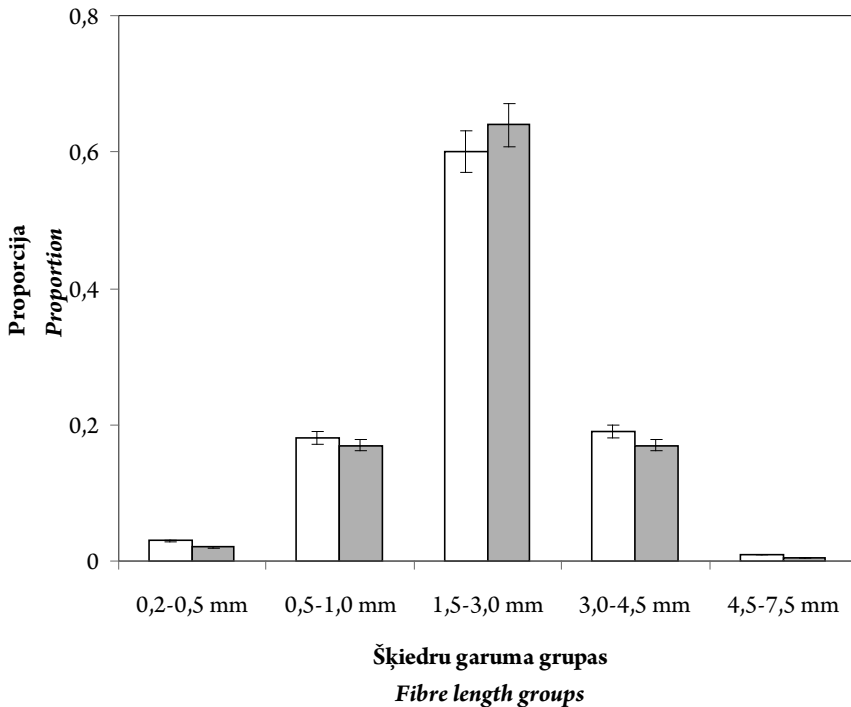
STD – standartnovirze / standard deviation.

Būtiskums aprēķināts atšķirībām starp sugām / Significance calculates for differences among pine species: NS – nebūtisks / non-significant; * – būtisks $\alpha = 0,05$ līmenī / significance level $\alpha = 0.05$;

** – būtisks $\alpha = 0,001$ līmenī / significance level $\alpha = 0.001$.

īpašības. Šķiedru garuma sadalījums pa grupām parādīts 2. attēlā, kur redzam, ka parastās priedes un Klinškalnu priedes šķiedru proporcionālais sadalījums 0,5-1,5 mm un 3,0-4,5 mm garuma grupās ir

atšķirīgs. Klinškalnu priedes šķiedru garums variē mazāk nekā parastajai priedei, tādēļ iegūtais šķiedru materiāls ir viendabīgāks, kas atvieglo papīrražošanas tehnoloģisko procesu izstrādi un īstenošanu.



2. attēls. Parastās priedes un Klinškalnu priedes šķiedru garuma sadalījums.

Figure 2. Scots pine and lodgepole pine fibre length distribution.

Paskaidrojums / Legend: □ – *Pinus sylvestris*; ■ – *Pinus contorta*.

Secinājumi

1. Klinškalnu priedes koksne satur statistiski būtiski mazāk lignīna un ekstraktvielu nekā parastās priedes koksne (attiecīgi 26,4 % pret 27,0 % un 2,3 % pret 2,9 %). Tas liecina, ka Klinškalnu priedes koksne ir vieglāk delignificējama un delignifikācijas procesa nodrošināšanai ir nepieciešams mazāks enerģijas un ķimikāliju patēriņš.
2. Starp abām priežu sugām nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības sulfātcelulozes iznākumā un lignīna daudzumā šķiedrās.
3. Vairāki šķiedru kvalitāti raksturojošie rādītāji (šķiedru raupjums, garuma un platuma attiecība, Runkeļa indekss) Klinškalnu priedei ir statistiski būtiski labāki nekā parastajai priedei.
4. Klinškalnu priedes koksne ir vairāk piemērota augstvērtīga un mehāniski stipra papīra ražošanai nekā parastās priedes koksne, kas, kontekstā ar lielāku stumbra biomasu un iespēju dažādot mežsaimniecības iespējas platībās ar nabadzīgām smiltis augsnēm, liecina, ka šīs sugas introdukcija ir saimnieciski lietderīga.

Pateicība: pētījums veikts ESF projekta Nr. 2009/0200/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/146 “Ģenētisko faktoru nozīme adaptētās spējīgu un pēc koksnes īpašībām kvalitatīvu mežaudžu izveidē” ietvaros. Autori pateicas Baibai Horstei un Māritei Škutei par ieguldīto darbu pētījuma materiālu sagatavošanā.

Literatūra

- Elfving, B., Ericsson, T., Rosvall, O. (2001). The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review. *Forest Ecology and Management*, 141, 15-29.
- Grekin, M. (2006). Nordic Scots pine vs. selected competing species and non-wood substitute materials in mechanical wood products. Literature survey. Working papers of the Finnish Forest Research Institute METLA, METLA, Helsinki, Finland, 66 p.
- Hatton, J. V., Gee, W. Y. (1993). Kraft pulping of second-growth lodgepole pine. Proceedings of TAPPI Pulping Conference, November 14-18, Atlanta, GA, USA, pp. 57-70.
- Hunt, J. F., Aziz, A., Friedrich, K. (2008). Effects of fiber processing on properties of fiber and fiberboard made from lodgepole pine treetops. *Forest Products Journal*, 58(6), 82-87.
- Jansons, Ā., Baumanis, I., Sisenis, L. (2009a). Results of *Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm. provenance test in Latvia. Book of abstracts of 5th international conference Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region, April 22-24, Daugavpils, Latvia, p. 58.
- Jansons, A., Sisenis, L., Jansone, L., Rieksts-Riekstins, R. (2009b). Introduced coniferous trees for short-rotation biomass production plantations: case study of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm.) in Latvia. Book of abstracts of 3rd international conference Environmental Science and Education in Latvia and Europe, October 23, LCESE, Riga, Latvia, pp. 39-40.
- Mcgovern, J. N. (1951). Pulping of lodgepole pine. Report No. 1792 of Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, USA, 17 p.
- Runkel, R. O. H. (1949). Über die Herstellung von Zellstoff aus Holz der Gattung Eucalyptus and Versuche mit zwei unterschiedlichen Eucalyptusarten. *Das Papier*, 3, 476-490.
- Sable, I., Grīnfelds, U., Jansons, A., Vīķele, L., Irbe, I., Verovkins, A., Treimanis, A. (2012). Comparison of the Properties of Wood and Pulp Fibers from Lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). *BioResources*, 7(2), 1771-1783.
- Saikia, S. N., Goswami, T., Ali, F. (1997). Evaluation of pulp and paper making characteristics of certain fast growing plants. *Wood Science and Technology*, 31, 467-475.
- Sisenis, L., Rieksts-Riekstins, J., Rieksts-Riekstins, R., Jansons, J., Jansons, A. (2012). Possible use of introduced species *Pinus contorta* for biomass production in Latvia. Proceedings of international scientific conference Biological Reaction of Forest to Climate Change and Air Pollution, IUFRO & ASU, May 18-27, Kaunas, Lithuania, p. 138.

- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P., Santas, R.** (2004). Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops and Products*, 19, 245-254.
- Zhu, J. Y., Vahey, D. W., Scott, C. T., Myers, G. C.** (2007). Effect of tree-growth rate on papermaking fiber properties. *Appita journal*, 61(2), 415-422.
- Ohshima, J., Yokota, S., Yoshizawa, N., Ona, T.** (2005). Examination of within-tree variations and the heights representing whole-tree values of derived wood properties for quasi-non-destructive breeding of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus globulus* as quality pulpwood. *Journal of Wood Science*, 51, 102-111.
- Oluwadare, O. A., Ashimiyu, S. O.** (2007). The Relationship Between Fibre Characteristics and Pulp-sheet Properties of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 2(2), 63-68.
- Ona, T., Sonoda, T.** (1996). Quality breeding of pulpwood. *Journal of Cell Communication and Signaling*, 2, 3-7.