



Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta zinātniskā darbība 2000.–2008. gadā

Latvian State Institute of Wood Chemistry: Research Activities in 2000-2008

Bruno Andersons

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts
Latvian State Institute of Wood Chemistry
e-mail: Bruno.Andersons@edi.lv

Abstract. The research activities embrace fundamental studies in the fields of wood science, as well as applied research for obtaining products from wood and other types of biomass and renewable raw material resources. The Laboratory of Xylogenes is engaged in studies of the predominant and perspective Latvia's tree species, as well as studies of the drying processes of ground energy wood. The target of the Laboratory of Biodegradation and Protection is widening of the application potentialities of wood as a construction material and ensuring of competitiveness by way of upgrading the material properties. The Laboratory of Eco-Effective Conversion of Biomass is engaged in the development of waste-free production systems and biorefinery, applying steam explosion autohydrolysis as the basic method. The research area of the Laboratory of Cellulose embraces small-sized timber (pulpwood), paper pulp and cellulose fibres, paper, its production processes, chemical composition and microstructure. In the Laboratory of Lignin Chemistry, various functionally active systems are synthesised, and the obtained multi-functional organic-inorganic hybrid materials are characterised. In the Laboratory of Polysaccharides, the avenue of research has been the theoretical and experimental studies for obtaining acetic acid from alder and birch wood. The field of research in the Laboratory of Polymers embrace the obtaining of rigid polyurethane foams from renewable raw material resources and the development of new generation polyurethane class cryogenic thermal insulation materials. In the Department of Technological Studies, the upgrading of the charcoal production technology, which is distinguished by the carbonisation of wood in external heating retorts, is continued.

Key words: wood science, wood chemistry, biomass processing, renewable resources, wood protection.

Ievads

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts (LV KĶI) savu darbību realizē atbilstoši valsts noteiktajai zinātnes un tehnoloģiju attīstības politikai, un tā darbības mērķis ir ar zinātniskām metodēm iegūt jaunas zināšanas un izstrādāt inovatīvas tehnoloģijas, lai sekmētu tautsaimniecības, īpaši meža nozares, ilgtspējīgu attīstību un konkurētspēju. Galvenie pētniecības virzieni ir fundamentālie pētījumi koksnes zinātnes, koksnes un polimēru ķīmijas nozarēs, lietišķie pētījumi produktu ieguvei no koksnes, citas biomasas, to komponentiem un citiem atjaunojamo izejvielu resursiem. Institūta 110 darbinieki ir iesaistīti fundamentālo un lietišķo pētījumu projektu, sadarbības projekta, valsts pētījumu programmas „Lapu koku audzēšanas un racionālas izmantošanas pamatojums, jauni produkti un tehnoloģijas” un Meža attīstības fonda finansētu projektu izpildē. Liela nozīme institūta darbībā ir aktivitātēm, kas vērstas uz ražotāju un sabiedrību, tādām kā līgumdarbi, konsultācijas, ekspertīzes, līdzdalība likumdošanas

dokumentu izstrādē u.c. Līdzās pētnieciskajam darbam zinātniskie darbinieki iesaistīti jauno speciālistu sagatavošanā – sadarbībā ar Latvijas augstskolām (LU, RTU, LLU) vadot bakalauru, maģistrantu un doktorantu darbus jomās, kas saistītas ar institūta tematiku. Veismīga ir dalība ES Ietvarprogrammu projektos – kopš 2000. gada realizēti 15 projekti (t.sk. integrācijas projekts “WoodPro”), piesaistot 1.9 milj. latu. Pašlaik notiekošās aktivitātes saistītas ar ekselenci atbalstošā projekta “Wood-Net” (2008-2011) realizēšanu, kurā piedalās visi vadošie institūta zinātnieki. Institūts organizējis trīs starptautiskas zinātniskās konferences (Eight ..., 2004; International ..., 2007; Proceedings ..., 2008), vairākus seminārus un lekcijas. Ir izdota monogrāfija – mācību līdzeklis latviešu valodā par koksnes ķīmijas pamatiem (Zaķis, 2008).

Institūta pētnieciskā darbība strukturēta laboratorijās un pētniecības grupās, kas aptver galvenos biomasas, tai skaitā koksnes un polimēru materiālzinātnes un ķīmijas, pētījumu virzienus.

Ksiloģenēzes laboratorija (vadītājs – no 2000. līdz 2008. g. Dr.habil. J. Hrols, no 2008. g. Dr. J. Dolacis) nodarbojas ar Latvijā dominējošo un perspektīvo koku sugu koksnes anatomisko, fizikālo, ķīmisko, optisko un mehānisko īpašību, kā arī ar smalcinātas energokoksnes siltumfizikālo un tehnoloģisko īpašību un žāvēšanas procesu pētījumiem (Balode et al., 2002; Pavlovičs u.c., 2007; Dolacis, 2008; Dolacis et al., 2007). Tiek noskaidrota koksnes struktūra un fizikālās īpašības atkarībā no koku augšanas apstākļiem, reģiona un šo parametru izmaiņas stumbra vertikālajā un horizontālajā plaknē. Sadarbībā ar Lietuvas Mežzinātnes institūtu, Zvolenas Tehnisko universitāti un Slovākijas Meža institūtu veikti pētījumi par radionuklīdu piesārņojumu mežos, noskaidrota radionuklīdu asimilācija koksne un to ietekme uz koksnes struktūru un īpašībām.

Veikti pētījumi par Latvijā augušas priedes (*Pinus sylvestris* L.), egles (*Picea abies*), bērzu (*Betula pubescens*), apses (*Populus tremula*), baltalkšņa (*Alnus incana*), melnalkšņa (*Alnus glutinosa*), oša (*Fraxinus excelsior*) un saldā ķirša (*Prunus avium* L.) koksni. Secināts, ka augšanas reģions būtiski neietekmē Latvijas mērogā pētīto sugu koku struktūras un fizikālās īpašības, bet būtisku ietekmi tas atstāj galvenokārt uz blīvumu un vēlnās koksnes īpatsvaru gadskārtā. Lai arī koksnes parauga atrašanās vieta koka stumbkā gan tā vertikālajā, gan arī horizontālajā plaknē ietekmē koksnes anatomiskās uzbūves parametrus un fizikālo īpašību vērtības, tomēr iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka vairumā gadījumu šie rādītāji būtiski atšķiras tieši dažādos stumbra augstumos, bet pētītajām sugām koksne stumbra šķēsgriezumā, izņemot juvenilo daļu, pēc savām īpašībām ir relatīvi viendabīga. Novērota būtiska korelācija starp blīvumu, mitrumu un ūdens uzsūcamību, uzbriešanu, rukumu un gadskārtu platumu un vēlnās koksnes saturu gadskārtā. Eglei sausieņu mežos, salīdzinot ar meliorētajiem mežiem, ir lielāks vidējais gadskārtu platums un vēlnās koksnes saturs gadskārtā. Līdzīga tendence vērojama arī attiecībā uz traheīdu dubultapvalka šķērsizmēru radiālajā virzienā agrīnai un vēlnai koksnei. Noteikta korelācija starp bērza koksnes hidrotermiskās apstrādes temperatūru un koksnes atstarošanu – atkarībā no temperatūras atstarošanas lieluma starpība var sasniegt 8–9%. Atstarošana pūkainajam bērzam ir 3.86% lielāka nekā kārpainajam bērzam, taču tas ir pietiekami, lai cilvēka acij pūkainā bērza koksne izskatītos „gaišāka”. Noteikti siltumfizikālie parametri (sadedzes siltums, berambļivums, pelnu saturs u.c.) dažādiem mežizstrādes un kokapstrādes atlieku veidiem un koka elementiem. Izstrādāts jauns energotaupošs birstošu materiālu pneimoinpulsu žāvēšanas paņēmieni pseidosasķidrinātajā slānī (Latvijas patents LV13828).

Koksnes bionoārdīšanās un aizsardzības laboratorijas (vadītājs – Dr. B. Andersons) pētījumu mērķis ir koksnes kā būvmateriāla pielietojamības iespēju paplašināšana un konkurētspējas nodrošināšana, uzlabojot materiāla īpašības (Andersons, 2006; Chirkova et al., 2000, 2004; Druz et al., 2001; Irbe et al., 2001a, 2001b, 2006a, 2006b; Karadelev et al., 2005; Meier et al., 2001; Ozols u.c., 2007).

Laikā no 2000. līdz 2008. gadam veikti būvniecībā visplašāk izmantotās skuju koku koksnes biodegradācijas pētījumi – sastāva, struktūras un īpašību izmaiņas dažādu mikroorganismu (krāsojošo un trupes sēņu, baktēriju) un koksngraužu iedarbības rezultātā. Noskaidrotas atšķirības starp koksnes noārdīšanās procesiem ar agresīvākajām būvkokni noārdošajām sēņu sugām; pēc koksnes struktūras un ķīmiskā sastāva izmaiņu gaitas klasificētas galvenās biodegradācijas stadijas. Iegūtie rezultāti apkopoti promocijas darbā (Irbe, 2008). Izmantotas biofizikas un fraktāļu ģeometrijas pieejas, lai tuvotos izpratnei par sēņu metabolīzes produktu difūziju un mijiedarbību ar koksnes komponentiem. Veikta plaša koksnes sēņu izplatības izpēte dabā un celtniecības koksne, identificētas retas un arī līdz šim neaprauktās sēņu sugas. Koksnes biodegradācijas pētījumos iegūtās zināšanas izmantotas videi draudzīgu aizsardzības līdzekļu meklējumos: pārbaudīti un kā efektīvi atzīti vairāku augu ekstrakti, uz tallu eļļas bāzes sintezēti savienojumi, koksnes pirolītisko eļļu frakcijas. Laboratorijas eksperimentālajā pilotiekārtā tiek izstrādāts termiskās modifikācijas paņēmieni, optimizējot apstrādes parametrus dažādu sugu koku koksne, tiek pētīta iegūto ilgizturības īpašību stabilitāte reālos kalpošanas apstākļos. Pozitīvi rezultāti iegūti, uzlabojot izturību pret trupes sēnēm koksnes ķīmiskās modifikācijas ceļā, izmantojot koksnes komponentiem radniecīgus savienojumus un atsakoties no biocīdu pielietojamības. Pētītas nokalpojušas impregnētas koksnes (elektrības un sakaru pārvades līniju balstu) utilizēšanas iespējas jaunu produktu, t.sk. tehnisku sorbentu, ieguvei. Noskaidrotas koksnes sastāva un struktūras izmaiņas ilgstošas vides iedarbības rezultātā, novērtēts piesārņojums ar aizsarglīdzekļu komponentiem, laboratorijas eksperimentālajā iekārtā iegūti un raksturoti produkti – karbonizāti un aktivētās ogles. Konstatēts, ka koksne esošie nelieli smago metālu daudzumi būtiski uzlabo kokogļu struktūru un ļauj iegūt produktu ar īpašībām, kas līdzīgas rūpnieciski ražotiem bērza koksnes sorbentiem.

Laboratorijas līdzstrādnieki veic Latvijas muzeju fondu un kultūrvēsturisko objektu koka konstrukciju apsekošanu un ekspertīzi, izvērtē koksnes bioloģiskos bojājumus un izstrādā rekomendācijas objektu sanācijai un saglabāšanai. Koksngraužu apkarošanai Liepājas evaņģēliski luteriskajā Sv. Trīsvienības baznīcā un Rundāles pils muzejā eksponētajiem

Lestenes baznīcas interjera priekšmetiem laboratorijas zinātnieki ieteikuši gāzēšanas metodi, un tajā paši arī piedalījušies. Ik gadu tiek veiktas vairāk nekā 30 ekspertīzes firmām un privātpersonām, identificējot bioloģiskos koksnes bojājumus un konsultējot par apkarošanas līdzekļiem un paņēmieniem. Izstrādāti metodiski norādījumi pareizai trapes sēņu bojājumu apkarošanai. Koksnes un koksnes materiālu biodegradācijas un aizsardzības jomā tiek uzturēta laboratorijas akreditācija atbilstoši LVS EN ISO/IEC 17025:2005.

Biomases eko-efektīvas konversijas laboratorija (vadītājs – Dr.habil. J. Grāvītis) kopā ar ANO Universitātes Prioritāro pētījumu institūtu (Tokija) piedalījās divos starptautiskos projektos: bezatkritumu ražošanas sistēmu izveidē („Zero Emissions”) un biorafinēšanā („Biorefinery”), kā arī pasaules kvarca industriālo sistēmu analizē, kuras paredzētas pusvadītājiem, saules paneļiem un optiskajām šķiedrām. Laboratorija turpina darboties bezatkritumu ražošanas sistēmu izveidošanā un biorafinēšanā Latvijas apstākļos (Gravitis, 2006, 2007; Gravitis, Della Senta, 2001; Gravitis et al., 2001, 2003). Galvenā vērība ir pievērsta meža industrijai un lauksaimniecības atkritumu izmantošanai. Kā centrālā metode tiek izmantota tvaika sprādziena autohidrolīze (TSA), kas aizsākta jau profesora P. Eriņa laikā. TSA īpaši perspektīva ir otrās paaudzes biodegvielas (no nepārtikas produktiem – salmiem, koksnes u.c. pārkoksnētiem materiāliem) ražošanā, jaunu, pašsaistošu biomasas kompozītu ieguvē un lignīna fenolu destruktācijas produktu izmantošanā līmes komponentu aizstāšanai saplākšņa ražošanā. Tiek domāts arī par nano materiālu iegūšanu no biomasas, jo šīs nano daļiņas identificētas laboratorijā eksperimentāli TSA apstrādē. Laboratorija lieto labākās vielas struktūras pētniecības metodes. Atzīmējamas ir kodolmagnētiskā rezonanse šķīdumā un cietvielā, rentgendifraktometrija un citas. Paši tiek izmantota datorsimulācija. Rezultātā izveidots vispārinātais augu šūnu cieto apvalku fraktālais modelis. Pētījumos secināts, ka lignīna masas sadalījums telpā neatbilst Eiklīda ģeometrijai, bet ir daļskaitlis. Pašlaik kopā ar ārzemju kolēģiem laboratorija tieši eksperimentāli nosaka fraktālās dimensijas cietvielā un šķīdumos, izmantojot Eiropas sinhrotronu iespējas. Šajos gados laboratorija ir piedalījusies un arī pašlaik turpina piedalīties trijos ES COST projektos un Eiropas un Latīņamerikas universitāšu apmaiņas projektā („Alfa Support”).

Celulozes laboratorijas (vadītājs – Dr.habil. A. Treimanis) pētniecības jomā ietilpst tievkoksne (papīrmalka), papīrmasas un celulozes šķiedras, papīrs, to iegūšanas procesi, ķīmiskais sastāvs un mikrostruktūra (Bikova et al., 2000, 2003, 2005; Bikova, Treimanis, 2002, 2004; Dauge et al., 2007; Treimanis, 2006; Treimanis et al., 2000, 2003, 2008).

Daļa pētījumu veltīta izdalītu koksnes polimēru – celulozes un hemiceluložu – īpašībām. Jaunākajos zinātniskajos projektos tiek izsekotas koksnes un tās šķiedru īpašības no meža līdz papīram. Noskaidrots, ka meža augšanas apstākļi zināmā mērā ietekmē priedes, egles, bērza, apses koku un no koksnes iegūto sulfātcelulozes šķiedru īpašības (šķiedru dimensijas, celulozes un lignīna saturu, celulozes polimerizācijas pakāpi), kā arī iegūto papīra paraugu izturības rādītājus. Atšķirīgi ir egles koki, kas auguši bijušajās lauksaimniecības zemēs – koksne ir augstāks lignīna saturs, nedaudz zemāks celulozes saturs, taču salīdzinoši augstāka polimerizācijas pakāpe. Tas savukārt pozitīvi ietekmē papīra mehāniskās īpašības. Kopumā projekta laikā iegūti jauni dati par Latvijā izplatītāko koku sugu koksnes sastāvu un šie dati tiek izmantoti studentu apmācībā.

2006.–2008. g. ERAF projekta ietvaros kopīgi ar LVMI „Silava” speciālistiem noskaidrotas vairāku desmitu hibrīdapses (*Populus tremula* × *Populus tremuloide*) koksnes un šķiedru paraugu fizikālās īpašības, ķīmiskais sastāvs un mikrostruktūra. Secināts, ka ar hibrīdu tehnoloģijas palīdzību var iegūt apses koksni ar plašu parametru amplitūdu, piem., blīvums ($\pm 25\%$), gadskārtu platums, celulozes un lignīna saturs ($\pm 15\%$). Izvēlēti perspektīvākie kloni, kas nodoti a/s „Latvijas valsts meži” komerciālai pavairošanai.

Pētījumos izmantota pašu izstrādātā, tagad ievērojami modernizētā šķiedru virsmas mikroslāņu atdalīšanas metode, kas ļauj tieši analizēt to ķīmisko sastāvu un prognozēt īpašības. Konstatēts, ka virsmas mikroslāņu sastāvs ievērojami atšķiras no vidējiem rādītājiem, kas ir jāņem vērā, veicot šķiedru apstrādi, piemēram, balināšanu. Šīs metodes izstrāde atzīta par vienu no 10 Latvijas zinātnes sasniegumiem 2007. gadā. Starptautiska sadarbība notiek COST projekta E54 ietvaros (19 ES valstu projekta koordinators – A. Treimanis), kā arī bilaterālo projektu ietvaros ar Austrijas, Somijas, Vācijas un Zviedrijas zinātniekiem.

Mikrokristāliskās celulozes (MKC) ieguvei (grupas vadītāja – Dr. M. Laka) izstrādāti termokatalītiskās apstrādes režīmi skuju un lapu koksnes balinātās sulfāta celulozes destrūģēšanai līdz robežpolimerizācijas pakāpei ar celulozes laboratorijā izstrādāto termokatalītisko paņēmieni (Latvijas patents LV11184) (Jakobsons et al., 2007; Laka, Chernyavskaya, 2007; Laka et al., 2000, 2003a, 2003b). Iegūto MKC pulveru paraugu fizikāli ķīmiskie un kvalitātes rādītāji atbilst Eiropas Farmakopejas prasībām. Arī no pulveru paraugiem iegūtās pārtikas tabletes bez un ar dabisko ārstniecisko vielu (zāvēto ziedputekšņu, glikozes, žeņšeņa ekstrakta u.c.) piedevām atbilst Farmakopejas prasībās nosauktajiem rādītājiem. Izstrādāta metode arī MKC gēlu ieguvei. Paraugi satur stienveida nanokristālu un to agregātu

daļiņas ar izmēriem garenvirzienā 100–300 nm un šķērsvirzienā 20–50 nm. Šiem gēliem piemīt šķidri kristāliskiem polimēriem raksturīgās reoloģiskās īpašības; to stiprība un viskozitāte atkarīga no dispersijas šķīdumā esošiem joniem, pH lieluma un ζ -potenciāla. Iegūti arī mikrokristāliskā hitozāna pulveru un gēlu paraugi un pētītas to īpašības. Izgatavotas mikrokristāliskā hitozāna un citu biopolimēru (Na-KMC, hidroksipropilcelulozes u.c.) kompozītu plēves. Mikrokristāliskais hitozāns pie noteikta tā satura uzlabo plēvju mehāniskās īpašības un ūdens izturību.

Celulozes laboratorijas mikroskopijas grupas (grupas vadītāja – Dr. I. Belkova) zinātnisko interešu loks ietver koksnes sarežģītās arhitektūras pētījumus saistībā ar dažādu koksnes pārstrādes veidu ķīmiskajiem un fizikāli ķīmiskajiem procesiem (Belkova, Hrol, 2000, 2001, 2003, 2004; Belkova, Kalnina, 2008; Belkova et al., 2008; Skele et al., 2001). Pētītās struktūras izmaiņas ietver 7–8 koksnes vielas struktūras organizācijas līmeņus, t.sk. šūnas sienīņu un fibrillu struktūras. Elektronu mikroskopijas metodes ļauj iegūt vizuālu priekšstatu par celulozes šķiedru izmaiņām un pakāpenisku noārdīšanos dažādos papīros, koksnes termoapstrādē, šķiedru reciklēšanas un novecošanās procesos. Tiek pētīts dabiskais papīru (inkunābulas, pirmo latviešu valodā drukāto grāmatu papīrs u.c.) novecošanās process, kam ir īpaša nozīme kultūrvēsturiskā mantojuma saglabāšanā. Mikroskopijas dati, papildināti ar citu mūsdienīgu pētniecības metožu rezultātiem, padziļina teorētiskos priekšstatus par koksnes lignoogļūdeņu polimēru kompleksa mikroorganizāciju un mikroīpašībām.

Lignīna laboratorijā (vadītāja – Dr.habil. G. Teliševa), attīstot koncepciju, kurā lignīns tiek apskatīts kā supramolekulārās ķīmijas objekts, uz lignīnu/lignocelulozes bāzes ir sintezētas dažādas funkcionāli aktīvas sistēmas, kuras apvieno sevī „saimnieka” („host”) fenilpropanoīda polimēra un „viesa” („guest”) Si-oligomēra un polimēra, heteropolianjonu un metālu/metaloīdu nanoklasteru/ nanodaļiņu īpašības (Bikovens et al., 2008; Dizhbite et al., 2004a, 2004b, 2007; Telysheva et al., 2000, 2001, 2002, 2006, 2007, 2009). Iegūtie jaunie, daudzfunkcionālie organiskie-neorganiskie hibrīdu materiāli raksturoti, izmantojot ķīmiskās un fizikāli ķīmiskās metodes (^{29}Si un ^{13}C cietas fāzes KMR spektroskopija, DTA/DTG/DSK, FTIS, SEM/EDS, XPS, HPLC ar UV-multistaru un refraktometrisko detektoru, EPR). Konstatēts, ka silīcija dioksīda polimērs veido nanoklasteru karkasu ar augstu kondensācijas pakāpi (apmēram 80%). Šie polisilīcija nanoklasteri sastāv no cikliskām struktūrām, kas saistītas ar skābekļa tiltniņiem, turklāt 60% silīcija polimēra ir iekļauti lignocelulozes matricā. Hibrīdu produktā saglabājas

vēl nozīmīgs Si-OH grupu daudzums, kas veido adsorbcijas un kompleksu veidošanās centrus. Neliels Si atomu daudzums piedalās kovalentu saišu veidošanā ar lignīnu, tajā pat laikā pamatā organiskie un neorganiskie hibrīda materiāla komponenti ir saistīti uz nekovalentu mijiedarbību (ūdeņraža saišu) rēķina. Atkarībā no hibrīda materiāla iegūšanas veida un organisko un neorganisko komponentu savstarpējās masu attiecības silīcija polimērs veido uz lignīna virsmas nanoklasterus (200–400 nm diametrā), kuri pie pietiekami liela neorganiskā komponenta daudzuma hibrīda materiāla sastāvā uz tā virsmas veido kserogēla plēvi. Izstrādātie sintēzes paņēmieni ļauj iegūt Si-lignīna materiālus ar nanoporainu struktūru un viendabīgu poru izmēru sadalījumu (galvenokārt mezoporas ar diametru ~2 nm) un atkarībā no matricas īpašībām un apstrādes režīmiem 3 līdz 10 reizes lielāku poraino virsmu nekā izejas lignīnam vai lignocelulozei. Silīciju saturošu klasteru ievadīšana lignocelulozes matricā devusi iespēju būtiski palielināt tās jonu apmaiņu īpašības un kompleksa veidošanas spēju ar Cu^{2+} , Mn^{2+} un Fe^{3+} katjoniem. Si-lignocelulozes ar attīstītu mikrovirsmu un lielāku adsorbcijas centru dažādību un hidrofobitāti spēj vienlaicīgi adsorbēt organiskos piesārņotājus un to noārdītājus – mikroorganismus. Si-saturošie bloki pastiprina lignīna ietekmi uz augsnes mikrofloru un palielina tā bioloģisko aktivitāti. Rezultātā piesārņotāja bionoārdīšanas process būtiski paātrinās. Tas ļauj rekomendēt sintezētus hibrīdu materiālus kā ekoloģiski drošus augsnes palīg līdzekļus efektīvai pesticīdu bionoārdīšanai/augšnes rekultivācijai. Silīciju nanoklasteru ieslēgšana lignīna matricā pozitīvi maina lignīna/lignocelulozes īpašības (sorbcijas aktivitāti, liofilitāti, antioksidējošo iedarbību, bioaktivitāti) un vienlaicīgi nodrošina augsnes bagātināšanu ar mobilu, augiem viegli pieejamu silīciju, kurš ir svarīgs augu ontogēnēzei un imunitātei, palielina ražu, uzlabo tās kvalitāti un par 50–90% palielina augu reprodukciju. Izmēģinājumi veikti ar dažādām lauksaimniecības augu kultūrām (graudaugiem, dārzeņiem, lopbarību) siltumnīcās un laukos, t.sk. sertificētos bioloģiskos laukos, kopā ar kolēģiem no LLU un LVMI „Silava”, kā arī no zemnieku saimniecībām un kokaudzētāvām.

Izmantojot Si-lignīnu kā matricu sintezētajos hibrīdos un biocīdu $\text{Cu}^{2+}/\text{Mn}^{2+}$ katjonu kā „viesa” komponentu, iegūti jauni funkcionālie sorbenti ar sorbcijas un mikrobu sanācības īpašībām. Izmantojot kvaternizētus vai ar Si-modificētus lignīnus kā organiskus priekšgājējus, pirmo reizi sintezēti Kegina molibdosilikāta polianjonu $[\text{SiMo}_{12}\text{O}_{40}]^{4-}$ saturoši hibrīda neorganiski-organiskie nanomateriāli, kam piemīt redoks-funkcionalitāte, tādējādi ļaujot izmantot jaunus produktus kā heterogēnus katalizatorus. Pētījumu rezultātā no koksnes mehāniskās, ķīmiskās un mikrobioloģiskās pārstrādes lignocelulozes

atkritumiem radīti jauni produkti, kas pielietojami lauksaimniecībā, rūpniecībā, mežsaimniecībā un vides aizsardzībā.

Ar mērķi iegūt augsti aktīvus oglekļa sorbentus no koksnes mehāniskās un ķīmiskās apstrādes atlikumiem izstrādāti koksnes termokīmiskās aktivācijas tehnoloģijas pamati, par aktivatoriem izmantojot nātrija sāļus un nātrija hidroksīdu (grupas vadītāja – Dr.habil. G. Dobeļe) (Dobeļe, 2002; Dobeļe, Urbanovich 2007; Dobeļe et al., 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007a, 2007b, 2008). Parādīta iespēja iegūt efektīvus mikroporu sorbentus ar dažādu mikroporu tilpumu ($370\text{--}950\text{ mm}^3\text{ g}^{-1}$) un augsti attīstītu kopējo poru virsmu ($1200\text{--}3000\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$, pēc BET teorijas). Pierādīts, ka izejvielas iepriekšēja karbonizācija ķīmiskās aktivācijas procesā ar nātrija sāļiem ir efektīvs faktors sorbcijas regulēšanai, kā arī aktīvās ogles iznākuma palielināšanai un aktivatora daudzuma samazināšanai.

Originālā divkameru ablatīvā reaktorā realizēts koksnes ātrās pirolīzes process ($500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$, ilgums $5\text{--}10\text{ sek}$). Parādīta iespēja iegūt pirolītisko eļļu (iznākums 60%) no lapu koksnes, izpētīts tās ķīmiskais sastāvs un siltumfizikālās īpašības. Noteiktas izejvielas žāvēšanas robežas, kas ļauj iegūt pirolītisko eļļu ar standartizētām īpašībām izmantošanai enerģētikā, kā šķidro kurināmo. Izstrādāta metodika pirolītisko eļļu sadalīšanai ūdenī šķīstošajā frakcijā (galvenokārt polisaharīdu destrukcijas produkti) un ūdenī nešķīstošajā frakcijā (pirolītiskais lignīns), kas satur vairāk nekā 70% fenola tipa produktus. Pierādīts, ka pirolītiskais lignīns ir perspektīvs dabas polimēru antioksidants, spējīgs konkurēt ar komerciāliem zem molekulāriem antioksidantiem.

Lignīna ķīmijas laboratorijā izstrādāts jauns lignīnu ķīmiskās modifikācijas zinātniskais virziens par polikompleksu (interpolielektrolītu un interpolimēru) veidošanos uz šķīstošo lignīnu (lignosulfonātu, kraftlignīna, sulfatlignīna) bāzes ar dažādiem amino-, karboksil- un hidroksil-funkcionālās grupas saturošiem polimēriem un oligomēriem, kā arī ar termoreakcijas sveķiem (grupas vadītāja – Dr.habil. G. Šulga) (Belous, 2006; Shulga et al., 2001b, 2001c, 2002a, 2002b, 2005, 2006, 2007, 2008a, 2008b). Kompleksu veidošanās reakcijas notiek ūdens un ūdens-sāļu vidē, istabas temperatūrā, bez organisku šķīdinātāju klātbūtnes un dārgu katalizatoru un promotoru pielietošanas. Lignīnu polikompleksi ir videi draudzīgi, uguns un sprādziena droši augstamolekulāri savienojumi. Pētījumu gaitā konstatētas lignīnu polimēru kompleksu mērķtiecīgas kontroles un regulēšanas iespējas, variējot lignīnu funkcionālo sastāvu, to lādiņa blīvumu un molekulāro masu, kā arī interpolimēru reakciju apstākļus (polimēra modifikatora saturu, pH, temperatūru, jonu spēku

utt.). Pielietojot modernās instrumentālās pētīšanas metodes, ir noteiktas interpolielektrolītu reakciju likumsakarības, kā arī izveidojušos lignīnu starppolimēru produktu makromolekulārā un supermolekulārā struktūra un uzbūve. Pamatojoties uz noskaidrotajiem modifikācijas mehānismiem, iegūtajām likumsakarībām un noteikto lignīna polikompleksu mijiedarbības raksturu ar dažādām starpfāžu virsmām, izstrādāti jauni lignīnu polikompleksu kompozīcijas sastāvi ar regulējamām koloīdkīmiskajām īpašībām, to iegūšanas tehnoloģija un pielietošanas paņēmieni. Lignīnu polikompleksu uzbūves īpatnības ļauj imobilizēt to sastāvā mikroelementus, piemēram, daudzvērtīgo metālu jonus, kas nodrošina tiem biostimulējošu funkciju. Veiktie laboratorijas, modeļu un lauku izmēģinājumi liecināja, ka lignīnu polikompleksi ir efektīgi un ekonomiski izdevīgi, lai tos izmantotu kā augsnes uzlabotājus un kondicionētājus ūdens fizikālo un ķīmisko īpašību uzlabošanai vieglām un māla augsnēm, augsnes virsmas stabilizēšanai pret vēja un ūdens eroziju, ūdens novadkanālu nogāžu nostiprināšanai ar vienlaicīgu apzaļumošanu, drenāžas uzbērums stabilizēšanai, koksnes mulču apstrādei, operatīvai atputekļošanai.

Lignīnu polikompleksu izteiktās adhezīvās īpašības ļauj tos pielietot kā saistvielu siltuma un skaņu izolējošu būvplātņu iegūšanai, kuros par pildvielu var izmantot koksnes pārstrādes blakusproduktus, tajā skaitā skaidas, mizas, hidrolīzes lignīnu utt. Hidrofilu un hidrofobu fragmentu klātbūtnē lignīnu polikompleksu struktūrā nosaka to virsmas aktīvās īpašības uz ūdens-gaiss un šķīdums-šķīdums starpfāžu robežas, kas ļauj tos izmantot kā stabilizatorus „eļļa-ūdens” emulsijās.

Balstoties uz prof., Dr.habil. Ģ. Zaķa vadībā agrāk veikto fundamentālo pētījumu rezultātiem lignīna ķīmijā, atrasti jauni lignīnu saturošu produktu pielietošanas veidi, kas orientēti uz nākotni, kad Latvijā varētu izveidoties ar meža nozari saistīta ķīmiskā rūpniecība un lielos daudzumos būtu pieejami dažādi rūpnieciski atlikumprodukti – lignīni, celolignīni, mizas (Neiberte u.c., 2001; Zakis et al., 2006; Закис, Нейберте, 2000; Закис и др., 2006; Shulga et al., 2001a; Šāble u.c., 2007; Verovkins u.c., 2007, 2008a; Verovkins et al., 2008b). Pētījumi vērsti galvenokārt divos virzienos: 1) persulfāti lignīna ķīmijā, 2) lignīnu saturošu materiālu aminoatvasinājumu iegūšana reakcijā ar epoksiamīniem. Aktuāls pētījumu virziens ir jaunu, efektīvu, videi un cilvēkam nekaitīgu, hloru un tā savienojumus nesaturošu balinātāju meklējumi celulozes balināšanai. Apstrādes mērķis ir pēc iespējas kvantitatīvāka lignīna palieku aizvākšana no izvārtītās papīrmasas. Pētījumos noskaidrots, ka amonija persulfāts visdestruktīvāk uz lignīnu darbojas sērskābā vidē, veidojoties Karo skābei,

kura pēc Baiera-Viligeras reakcijas mehānisma oksidē lignīnā demetoksilēšanās rezultātā izveidojušos karbonilsavienojumus. Noskaidrots, ka labākais reducētājs celulozes stabilizēšanai un papīra kvalitātes (baltuma un mehānisko īpašību) nodrošināšanai ir nātrijs borhidrīds. Metode piemērota ne tikai egles papīrmasai, bet arī apsei, un jo īpaši balttalksnim, dodot iespēju celulozes vārīšanā ar tiem aizvietot kvalitatīvāko bērza koksni. Izstrādāta jauna metode celulozes kvantitatīvai noteikšanai koksnē ar amonija persulfātu sērskābā vidē. Pētīta apses (*Populus tremula*) koksnes piemērotība sulfātcelulozes vārīšanai, raksturotas procesa atlikuma – kraftlignīna – īpašības. Noskaidrots Latvijas saldā ķirša (*Prunus avium*) ķīmiskais komponentsastāvs un funkcionālais raksturojums. Risināti jautājumi par Latvijas baltalkšņa (*Alnus incana*) kokapstrādes (koksnes skaidu, mizu) un potenciālās ķīmiskās pārstrādes atlikumu (lignīna, celolignīna, lignocelulozes) izmantošanu jaunu produktu radīšanai. Šo atlikumproduktu galvenā sastāvdaļa ir lignīns, tādēļ modificēšanai izmantotas lignīna modificēšanas reakcijas. Izmantojot fenolu reaģētspēju ar epoksisavienojumiem, tai skaitā epoksiamīniem, izstrādātas metodikas smago metālu sorbentu ieguvei, kas rekomendēti rūpniecisko vai komunālo ūdeņu attīrīšanai. Nolūkā rast pielietojumu jaunu produktu ieguvei pētīts priedes, egles, apses, baltalkšņa un melnalkšņa mizu ķīmiskais sastāvs. Mizas ir bagātas ar ekstraktvielām. Latvijas melnalkšņa (*Alnus glutinosa*) miza satur līdz 22.8% miecvielu, tādēļ rekomendēta to rūpnieciskā iegūšana. Analītiskiem mērķiem izstrādāta metodika lignīna noteikšanai mizās. Turklāt mizas var izmantot daudzveidīgām modifikācijas reakcijām ar slāpekļa ievadīšanas funkciju, rodot tām plašāku pielietojumu.

Polisaharīdu laboratorijas (vadītājs – Dr.habil. N. Vedernikovs) galvenais pētījumu virziens jau vairākus gadus ir teorētisku pamatu izstrādāšana etiķskābes iegūšanai no alkšņa koksnes un no bērza koksnes lēveriem (Gravitis et al., 2004; Vedernikov, 2003, 2007; Vedernikovs et al., 2004, 2008a, 2008 b). Etiķskābes patēriņš pasaulē palielinājies no 6.7 milj. t 2002. gadā līdz 8.2 milj. t 2008. gadā un turpina palielināties par apmēram 3.4% gadā. Pirms dažiem gadiem etiķskābi ražoja no etanola, bet tagad aptuveni 75% industriāli izmantojamās etiķskābes ražo ar metanola karbonilēšanas metodi. Sakarā ar naftas cenas palielināšanos var prognozēt, ka etiķskābi vajadzēs ražot no biomasas. Tāpēc šis pētījumu virziens ir ļoti aktuāls. Lai realizētu jaunās tehnoloģiskās idejas, kas aprakstītas Latvijas patentos LV11950 un LV12131, bija nepieciešams izpētīt etiķskābes veidošanās dinamiku, kinētiku un iznākuma izmaiņas atkarībā no hemiceluložu deacetilēšanās procesa galvenajiem parametriem.

Eksperimentālie pētījumi veikti, izmantojot oriģinālo pilotiekārtu ar galvenā reaktora tilpumu 2 litri un maksimāli atļauto tvaika spiedienu 1.2 MPa. Kā katalizatoru izmanto sērskābi. Izpētītas katalizatora daudzuma, temperatūras, procesa ilguma un tvaika ātruma reakcijas zonā ietekme uz hemiceluložu deacetilēšanas procesu.

Etiķskābes veidošanās procesa kinētikas pētījumi parādīja, ka hemiceluložu virsmolekulārā struktūra, heterogēnā vide un atšķirība acetilgrupu saitēs hemiceluložu makromolekulās ļoti spēcīgi ietekmē deacetilēšanās procesa ātrumu. Tāpēc etiķskābes veidošanās ātruma konstantes nepaliek nemainīgas procesa laikā, bet samazinās pie visiem procesa parametriem. Pētot tvaika ātruma ietekmi uz hemiceluložu deacetilēšanās procesu, parādīts, ka optimālais tvaika ātrums reakcijas zonā ir 0.12 m s⁻¹. Pie tāda tvaika ātruma un 60 min. ilga procesa etiķskābes iznākums ir 83.6% no teorētiski iespējamā. Hemiceluložu deacetilēšanās procesu rezultātu analīzei izmantojot pilno 3 faktoru eksperimentu 2³ tipa plānu, iegūts etiķskābes iegūšanas procesa lineārais regresijas vienādojums un izrēķināts maksimālais etiķskābes iznākums (98.27% no teorētiski iespējamā). Pie optimāliem hemiceluložu deacetilēšanās procesa parametriem etiķskābes iznākums ir 95.3% no teorētiski iespējamā. Iegūtie rezultāti ļauj izstrādāt optimālus tehnoloģiskus procesus ne tikai etiķskābes, bet arī furfurola, mikroporainu oglekļa sorbentu un citu produktu iegūšanai no mazvērtīgas lapkoku koksnes un no kokapstrādes atliekām.

Polimēru laboratorijas (vadītājs – Dr.habil. U. Stirna) fundamentālie un lietišķie pētījumi (Lazdina, Apsite, 2002; Lazdina et al., 2004, 2006; Stirna et al., 2001, 2002a, 2002b, 2003, 2006a, 2006b, 2008a, 2008b; Yakushin et al., 2002) vērsti divos virzienos.

Pirmais virziens – cieto putu poliuretānu (PPU) ieguve no atjaunojamiem izejvielu resursiem (talleļļa, dažādas augu eļļas, piemēram, Latvijā ražotā rapšu eļļa, zivju eļļas atlikumi). No iepriekš minētajām izejvielām sintezēti polioli, kas ir vieni no galvenajiem komponentiem PPU ieguvei. Veikti pētījumi par sintezēto polioli struktūru un iegūto putuplastu fizikālajām un mehāniskajām īpašībām. Izstrādātas komerciālas PPU kompozīcijas, kuras ir konkurētspējīgas ar konvenciāliem PPU un neatpaliek no to fizikālajām un mehāniskajām īpašībām. Iegūtajiem PPU ir ļoti zema ūdens uzsūktspēja, un šos putuplastus var rekomendēt kā siltumizolācijas materiālus objektiem zem klajas debess, piemēram, jumtu, cisternu un dažādu industriālo būvkonstrukciju siltināšanai. Pamatojoties uz pētījumu rezultātiem, izstrādātas un Krievijas uzņēmumam Huntsman-NMG 2007. gadā pārdotas tehnoloģijas: polioli sintēze no saulespuķu eļļas; uzglabāšanā

stabilau poliolu sistēmu ražošana (poliols, uzputošanas aģents, katalītiskā sistēma, antipirēns, virsmas aktīvā viela); PPU uzsmidzināšanas tehnoloģijas no iepriekš minētajām poliolu sistēmām. Lielā pētījumu cikls veikts par uretāna klases polimēru, tajā skaitā no atjaunojamām izejvielām iegūto, bioloģisko un hidrolītisko noārdīšanos. Laboratorija veic pētījumus ES 7. Ietvara programmas FORBIOPLAST ietvaros par PPU iegūvi no talleļļas (2008–2012) (projekta vadītājs – Dr. U. Cābulis).

Otrais virziens – poliuretānu klases jaunas paaudzes kriogēnās siltumizolācijas materiālu izstrādne raķetes „Ariane 5” jaunajiem modeļiem. Šie 2004. gadā uzsāktie darbi tiek veikti kontrakta ietvaros ar ASTRIUM GmbH (Vācija, Brēmene). Jaunie kriogēnās izolācijas materiāli paredzēti tvertnēm, kurās iepilda raķešu degvielu – sašķidrinātu ūdeņradi. Problēmas būtība šādu materiālu izstrādē slēpjas tajā apstākļā, ka, iepildot tvertnē sašķidrinātu ūdeņradi, kriogēnās izolācijas materiāls tiek pakļauts lieliem termiskiem spriegumiem, kuri var sagraut izolāciju. Pētījumi šajā jomā saistīti ar speciālu PPU kompozīciju izstrādni un iegūto materiālu mehānisko īpašību testēšanu gan telpas temperatūrā, gan -196 °C. Tiek novērtētas arī šādu materiālu „kriogēnās piesūkšanas” radītie efekti, spēja pretoties lielām siltuma plūsmām utt. Tiek izstrādāti tehnoloģiskie risinājumi šādu materiālu uzklāšanai uz degvielas tvertnēm ar PPU uzsmidzināšanas paņēmieni. Iegūta pieredze šajā jomā ir „liels intelektuāls kapitāls”, jo netālā nākotnes enerģētika lielā mērā būs saistīta ar ekoloģiski tīriem enerģijas avotiem, un viens no tādējiem ir sašķidrināts ūdeņradis.

Ieejot jaunajā gadsimtā, **Tehnoloģisko pētījumu daļā** (vadītājs – Dr. J. Zandersons) tika turpināts pilnveidot jau deviņdesmito gadu beigās izstrādāto kokogļu ražošanas tehnoloģiju, kura no iepriekšējās pozitīvi atšķiras ar to, ka koksni pārorgļo ārējās apsildes retortēs, izmantojot apsildei koksnes pirolīzes gaistošo produktu sadedzināšanas dūmgāzes (Rizhikovs et al., 2006; Zandersons u.c., 2008; Zandersons et al., 2004, 2006; Zhurinsk et al., 2005). Tehnoloģija ir enerģētiski autonoma, tai nav notekūdeņu un kaitīgu izmešu. Tās tālāka pilnveidošana bija saistīta ar izberamo vertikālo retoršu daļēju aizvietošanu ar izceļamām retortēm. Siltumnesēja ģenerēšanai tehnoloģiski racionālāk izrādījās šādas retortes apvienot 8 retoršu blokā ap kurtuvi, jo koksnes sagarumošana klucēnos vairs nebija nepieciešama, un retoršu apsilde pa to augstumu ir vienmērīga. Vienas tonnas preču gabalkokogļu ražošanai tagad patērē no 7 līdz 10 m³ bērza vai baltalkšņa koksnes. Procesa maksimālā temperatūra ir 500–530 °C, ogļu iznākums – 28–30% no absolūti sausas koksnes masas, un tās atbilst visām eksportogļu prasībām. Lielākā daļa no Latvijā saražotajiem 10–12 tūkstošiem tonnu eksporta ogļu izgatavotas pēc LV KĶI tehnoloģijas.

Ar koksnes un biomasas pirolīzi saistīti arī darbi par oglekļa materiālu un aktivēto ogļu iegūšanas tehnoloģiju izstrādi un arī videi kaitīgo koksnes atlieku utilizāciju. Tāds ir ES 5. Ietvarprogrammas uzdevumā veiktais darbs par antiseptizētas koksnes izmantošanu enerģētikā kopā ar fosilo kurināmo. Pētīta iespēja atbrīvoties no varu-hromu-arsēnu saturošiem antiseptiķiem un izstrādāts priekšlikums dzelzceļa gulšņu pārorgļošanai pirms to sadedzināšanas termoelektrostacijā. Sadarbībā ar ANO Universitātes Prioritāro pētījumu institūtu realizēts pētījums par oglekli saturošu materiālu iegūšanu no lauksaimniecības un mežsaimniecības blakusproduktiem. Šādi materiāli varētu rast pielietojumu celtniecībā un aparatūvē kā siltuma izolatori un elektromagnētiskos viļņus ekranējoši materiāli, un arī kā izejviela blīvu un mehāniski stipru granulētu aktivēto ogļu ražošanai.

Aktivēto ogļu kapacitāti raksturo ar to sorbcijas laukumu tilpuma vienībā vai adsorbēto vielu masu. Tādēļ vēlamas blīvas, mehāniski stipras granulētas ogles, jo zināmā tilpumā iepildīta sorbenta masa ir proporcionāla to sorbcijai. Koksne un arī cita biomasas ar savuporaino struktūru ir ideāla izejviela aktivēto ogļu ražošanai, bet ogļu mehāniskās īpašības un blīvums nav piemērots modernajām ražošanas prasībām. Sadarbībā ar Polisaharīdu ķīmijas laboratoriju konstatēts, ka mehāniski stipras sīkporainas aktivētās ogles var pagatavot no lignocelulozes pārpalikuma pēc furfuroļa un etiķskābes iegūšanas un aptuveni 50% lignocelulozes sadedzināšanas ražošanas tvaika patēriņa segšanai. Granulēto aktivēto ogļu iznākums no lignocelulozes ir 25–30%, bet pēc BET teorijas aprēķināta poru virsma pārsniedz 1000 m² g⁻¹.

Atsaucoties uz problēmām, kuras rada kancerogēno aromātisko policiklisko ogļūdeņražu, piemēram, benz(a)pirēna, klātbūtne kūpināšanas dūmos, ERAF līgumdarba ietvaros pētīta iespēja šo kaitīgo ietekmi novērst, izstrādājot kūpināšanas šķidrumu tehnoloģiju bez kaitīgo vielu piemaisījuma. Radīti šādas tehnoloģijas pamati un pilotiekārtā iegūti kūpināšanas šķidrumu pirmie paraugi.

Atjaunojamo resursu pilnvērtīgas izmantošanas būtisks nosacījums ir koksnes ķīmiskās izmantošanas paplašināšana. Blakus celulozes un papīra rūpniecības virzienam jāpievēršas koksnei kā ķīmiskās rūpniecības izejvielai. Tādēļ uzsākti pētījumi par celulozes un lignīna destrukciju ātrās pirolīzes procesā, izmantojot dažādus siltumnesējus. Mūsu mērķis tuvākajā nākotnē ir izstrādāt tehnoloģiju kukuru anhidrīdu un to atvasinājumu iegūšanai no lignocelulozes un celulozes (levoglukoziāns, levoglukonons), jo šajā virzienā LV KĶI laboratorijas apstākļos jau gūti labi rezultāti. Savukārt kā tālāks mērķis, paralēli šīm organiskās ķīmijas izejvielām, ir iegūt reakcijas spējīgu pirolītisko lignīnu vai fenolus apvienotā procesā.

Literatūra

1. Andersons, B. (2006) Novel agents for improvement of wood durability. *Latvian Journal of Chemistry*, 2, 103-114.
2. Balode, V., Alksne, A., Dolacis, J., Hrols, J. (2002) Anatomical structure of wood of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in forests of Western Latvia. *Proceedings of the 4th IUFRO Symposium "Wood structure and properties '02", 1-3 September 2003*. Bystrá, Technical University in Zvolen, 29-32.
3. Belkova, L., Grinfeld, U., Treimanis, A. (2008) Structural changes in wood pulp fibres during the destruction process. *10th European Workshop on Lignocellulosic and Pulp (EWLP 2008), 25-28 August 2008*. Proceedings. Stockholm, Sweden, 258-261.
4. Belkova, L., Hrol, J. (2000) Cellulose production by explosion nitric acid delignification. *Proceedings of European Workshop on Lignocellulosics and Pulps*. Bordo, 197-200.
5. Belkova, L., Hrol, J. (2001) Persistence of wood cell wall structure following oxydative treatments. *Proceedings of 15 Symposium Adhesives in Woodworking Industry*. Zvolen, 245-247.
6. Belkova, L., Hrols, J. (2003) Defectiveness of multilevel structures of natural polysaccharides–lignin composition in aging process. *Proceedings of Baltic Polymer Symposium, September 17-19*. Jurmala, Latvia, 208-211.
7. Belkova, L., Hrols, J. (2004) Comparative analysis of the properties of printing papers, produced in the first half of the 20th century. *Eight European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2004), August 22-25, 2004*. Proceedings. Riga, Latvia, 489-492.
8. Belkova, L., Kalnina, R. (2008) Investigation of conditions for papers of the first books printed in the Latvian language. 8. *Baltijas valstu Trienāle „Preservation and Conservation in 21st century”*, p. 160.
9. Belous, O., Ambrazaitene, D., Žukauskaite, A., Shulga, G. (2006) Utilization of lignin waste for preventing soil erosion. *Environmental Research, Engineering and Management*, 1(35), 43-51.
10. Bikova, T., Belkova, L., Treimanis, A. (2005) Alkali-resistant chromophores in kraft pulp xylan. *Journal of Pulp and Paper Science*, 31, 193-196.
11. Bikova, T., Klevinska, V., Treimanis, A. (2000) Monitoring of lignin and hemicelluloses in spent cooking liquor during kraft delignification. *Holzforschung*, 54, 66-70.
12. Bikova, T., Treimanis, A. (2002) Solubility and molecular weight of hemicelluloses from *Alnus incana* and *Alnus glutinosa*. Effect of tree age. *Plant Physiology Biochemistry*, 40, 347-353.
13. Bikova, T., Treimanis, A. (2004) UV-absorbance of oxidized xylan and monocarboxyl cellulose in alkaline solutions. *Carbohydrate Polymers*, 55, 315-322.
14. Bikova, T., Treimanis, A., Eisimonte, M., Klevinska, V. (2003) Relationship between the alkali solubility of hemicelluloses and lignin from unbleached hardwood kraft pulp and pulp bleachability. *Journal of Pulp and Paper Science*, 29, 208-212.
15. Bikovens, O., Muter, O., Dizhbite, T., Telysheva, G. (2008) Antimicrobial and antioxidant activity of extracts and lignins of sub-boreal forest trees. *Polyphenols Communications*, Vol. 1, 365-367.
16. Chirkova, J., Andersons, B., Andersone, I. (2000) On the specific mass of the cellulose–water system. *Cellulosic Pulps, Fibres and Materials*. Kennedy, J.F. (ed.) Woodhead Publishing, Cambridge, 45-51.
17. Chirkova, J., Andersons, B., Andersone, I. (2004) Determination of standard isotherms of some vapours sorption by cellulose. *Journal of Colloid Interface Science*, 276, 284-289.
18. Dauge, K., Treimanis, A., Budreiko, A. (2007) Management of wood residues and recovered wood in Latvia. *Management of recovered wood*. Klagenfurt, Austria, 229-236.
19. Dizhbite, T., Mironova-Ulmane, N., Volperts, A., Andersone, A., Jashina, L., Kärner, T., Telysheva, G. (2007) Elaboration and characterization of organic/inorganic hybridnanoporous material incorporating Keggin-type Mo-Si polyanions. *Journal of Physics, Conference Series*, 93, article 012011, 1-6.
20. Dizhbite, T., Telysheva, G., Jurkane, V., Viesturs, U. (2004a) Characterization of the radical scavenging activity of lignins – natural antioxidants. *Bioresource Tehnology*, 95, 309-317.
21. Dizhbite, T., Telysheva, G., Skujina, A., Danil de Namor, A.F. (2004b) Lignocellulosic-based products for enhancing mineralization of pesticide 2,4-D by soil-indigenous microflora. *Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*. Hall, D.O., Grassi, G., Scheer, H. (eds.) Ponte Press, Brussell-Luxemburg, 2033-2036.
22. Dobeles, G. (2002) Production, properties and use of wood pyrolysis oil – a brief review of the work carried out at research and production centres of the former USSR from 1960 to 1990. *Fast Pyrolysis of Biomass*:

- A Handbook*. Bridgewater, A.V. (ed.) CPL Press, 147-204.
23. Dobeles, G., Dizhbite, T., Rossinskaya, G., Telysheva, G., Meier, D., Radtke, S., Faix, O. (2003) Fast pyrolysis: a promising method for obtaining 1,6-anhydrosaccharides. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 68-69, 197-211.
 24. Dobeles, G., Dizhbite, T., Urbanovich, I., Ponomarenko, J., Telysheva, G., Kampars, V. (2008) Products of fast pyrolysis of wood and their properties. *Eighth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2004)*, August 22-25, 2004. Proceedings. Riga, Latvia, 364-368.
 25. Dobeles, G., Meier, D., Faix, O., Radtke, S., Rossinskaya, G., Telysheva, G. (2001) Volatile products of catalytic fast pyrolysis of cellulose. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 58-59, 453-463.
 26. Dobeles, G., Rossinskaya, G., Dizhbite, T., Telysheva, G., Meier, D., Faix, O. (2005) Application of catalysts for obtaining 1,6-anhydrosaccharides from cellulose and wood by fast pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 74, 401-405.
 27. Dobeles, G., Rossinskaya, G., Telysheva, G., Meier, D., Faix, O. (2004) Potentials of fast pyrolysis for producing 1,6-anhydrosaccharides. *Eighth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2004)*, August 22-25, 2004. Proceedings. Riga, Latvia, 537-540.
 28. Dobeles, G., Telysheva, G., Bogdanovich, N. (2006) Thermochemical activation of lignins for obtaining effective sorbents. *Combined and Hybrid Adsorbents. Fundamentals and Application*. Loureiro, J. (ed.) Springer, Netherlands, 339-344.
 29. Dobeles, G., Urbanovich, I. (2007) Ātrā pirolīze. *Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana*. Vides projekti, 159-163.
 30. Dobeles, G., Urbanovich, I., Volpert, A., Kampars, V., Samulis, E. (2007a) Fast Pyrolysis – effect of wood drying on the yield and properties of bio-oil. *BioResources*, 2, 699-706.
 31. Dobeles, G., Urbanovich, I., Zhurins, A., Kampars, V., Meier, D. (2007b) Application of analytical pyrolysis for wood fire protection control. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79, 47-51.
 32. Dolacis, J. (2008) Koksnes fizika, koksnes morfoloģija, koksnes aizsardzība, koksnes vainas, kokapstrāde, mēbeļrūpniecība, mežrūpniecība. *Zinātnes un tehnoloģijas vārdnīca*. 2. izd. Norden AB, Rīga, 754 lpp.
 33. Dolacis, J., Telysheva, G., Engelbrecht, A., Arshanica, A., Dizhbite, T., Hrol, J., Antons, A., Gerdt, O. (2007) Energy-saving methods for drying of dispersed biomass in a pulsing gas stream. *Proceedings of the 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May 2007*. Berlin, Germany, 332-336.
 34. Druz, N., Andersone, I., Andersons, B. (2001) Interaction of copper-containing preservatives with wood. 1. Mechanism of the interaction of copper with cellulose. *Holzforchung*, 55, 13-15.
 35. *Eighth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2004)*. Proceedings. Utilization of Lignocellulosics and By-products of Pulp. August 22-25, 2004, Riga, Latvia. (2004) Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, 562 pp.
 36. Gravitis, J. (2006) Nano level structures in wood cell wall composites. *Cellulose Chemistry and Technology Review*, 40, 291-298.
 37. Gravitis, J. (2007) Zero techniques and systems – ZETS strength and weakness. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1190-1197.
 38. Gravitis, J., Della Senta, T. (2001) Global prospects of substituting oil by biomass. *World Forests, Markets and Policies*, 2. Matti Palo et al. (ed.) Kluwer Academic Publishers, 43-59.
 39. Gravitis, J., Vedernikov, N., Zandersons, J., Kokorevics, A. (2001) Furfural and levoglucosan production from deciduous wood and agricultural wastes. *ACS volume*, 9, 110-122.
 40. Gravitis, J., Zandersons, J., Ozols-Kalnins, V., Kokorevics, A. (2003) How can Baltic countries resources be oriented towards sustainability? *Integrative Approaches towards Sustainability. Baltic Sea Region Taking the Lead*. Jūrmala, Latvia, 48-59.
 41. Gravitis, J., Zandersons, J., Vedernikov, N., Kruma, I., Ozols-Kalnins, V. (2004) Clustering of bio-products technologies for Zero emissions and eco-efficiency. *Industrial Crops and Products*, 20, 169-180.
 42. *International Conference "Biodeterioration of Wood and Wood Products" BWWP 2007*. August 26-29, 2007, Riga, Latvia. Abstract Book. (2007) Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, 52 pp.
 43. Irbe, I. (2008) *Koksnes brūnā trupe: Bazīdijsēnes un to destruktīvā iedarbība uz lignocellulozi*. Promocijas darbs. Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Latvijas Universitāte, Rīga, 119 lpp.
 44. Irbe, I., Andersone, I., Andersons, B. (2001a) Distribution of the true dry rot fungus *Serpula lacrymans* in Latvia. *Folia Cryptographia Estonica*, 38, 9-12.
 45. Irbe, I., Andersone, I., Andersons, B., Chirkova, J. (2001b) Use of ¹³C NMR, sorption and chemical analyses for characteristics of brown-rotted

- Scots pine. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 47, 37-45.
46. Irbe, I., Andersons, B., Chirkova, J., Kallavus, U., Faix, O. (2006a) On the changes of pinewood (*Pinus sylvestris*) chemical composition and ultrastructure during the attack by brown-rot fungi *Postia placenta* and *Coniophora puteana*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57, pp. 99-106.
 47. Irbe, I., Noldt, G., Koch, G., Andersone, I., Andersons, B. (2006b) Application of scanning UV microspectrophotometry for the topochemical detection of lignin in individual cell wall layers of brown rotted Scots pine sapwood. *Holzforschung*, 60, 601-607.
 48. Jakobsons, E., Laka, M., Chernyavskaya, S. (2007) Rheological properties of microcrystalline chitosan gels. *Mechanics of Composite Materials*, 43, 259-268.
 49. Karadelev, M., Irbe, I., Andersons, B. (2005) Biological damage of cultural monuments in the Republic of Macedonia. *Mycologia Montenegrina*, 7, 65-76.
 50. Laka, M., Chernyavskaya, S. (2007) Obtaining of microcrystalline cellulose from softwood and hardwood pulp. *BioResources*, 2, 583-589.
 51. Laka, M., Chernyavskaya, S., Faitelson, L., Jakobsons, E. (2003a) Effect of electrolytes on therheological properties of microcrystalline cellulose gels. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 8, 265-269.
 52. Laka, M., Chernyavskaya, S., Maskavs, M. (2003b) Cellulose-containing fillers for polymer composites. *Mechanics of Composite Materials*, 2, 183-188.
 53. Laka, M., Chernyavskaya, S., Treimanis, A., Faitelson, L. (2000) Preparation and properties of microcrystalline cellulose gels. *Cellulose Chemistry and Technology*, 34, 217-227.
 54. Lazdina, B., Apsite, B. (2002) Degradable polyurethane hydrogels for controlled drug release. *Latvian Journal of Chemistry*, 2-3, 205-211.
 55. Lazdina, B., Stirna, U., Tupureina, V., Dzene, A., Sevastyanova, I. (2006) Synthesis and properties of poly(ester urethanes) based on cellulose triacetate. *Polymer Science, Ser. A*, 48, 347-352.
 56. Lazdina, B. O., Stirna, U. K., Tupureina, V. V., Sevastyanova, I. V., Dzene, A. V. (2004) Synthesis and biodegradation of poly(ester urethanes) based on levoglukosan monoacetate. *Polymer Science, Ser. A*, 46, 411-416.
 57. Meier, D., Andersons, B., Irbe, I., Tshirkova, J., Faix, O. (2001) Preliminary study on fungicide and sorption effects of fast pyrolysis liquids used as wood preservative. *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. Bridgwater, A.V. (ed.) Blackwell Science, 1550-1563.
 58. Neiberte, B., Zaķis, Ģ., Čipnīte, V., Grigiškis, S. (2001) Aminolignīni kā aktīvi smagi metālu jonu sorbenti. *Latvijas Ķīmijas Žurnāls*, 1, 68-70.
 59. Ozols, A., Treimanis, A., Andersons, B. (2007) Mežzinātne: ilgtspēja, jauni produkti un tehnoloģijas. *Zinātne, pētniecība un inovācija Latvijas izaugsmei. Zinātniski pētnieciski raksti*, 3(14), 99-108.
 60. Pavlovičs, G., Dolacis, J., Alksne, A., Cīrule, D., Hrols, J., Daugaviete, M., Blaho, J. (2007) Saldā ķirša (*Prunus avium* L.) koksnes anatomisko un fizikāli-mehānisko īpašību pētījumi. *LLU Raksti*, 18(313), 77-80.
 61. *Proceedings of the 4th meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Materials Science & Engineering (WSE). November 13-14, 2008, Riga, Latvia.* (2008) Andersons, B., Tuherm, H. (eds.) Riga, Latvian State Institute of Wood Chemistry, 132 pp.
 62. Rizhikovs, J., Zandersons, J., Puke, M., Vedernikovs, N., Dobeļe, G., Tardenaka, A., Spince, B. (2006) Granular activated carbon from deciduous wood lignocellulose. *Combined and Hybrid Adsorbents*. Loureiro, J.M., Kartel, M.T. (eds.) Springer Verlag, 187-193.
 63. Shulga, G., Betkers, T., Brovkina, J., Aniskevicha, O., Ozolins, J. (2008a) Relationship between composition of the lignin-based interpolymer complex and its structuring ability. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7, 397-400.
 64. Shulga, G., Betkers, T., Brovkina, J., Neiberte, B., Verovkins, A., Belous, O., Ambrazaitene, D., Žukauskaite, A. (2008b) New lignin-based polymers for ecological rehabilitation. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 486, 1333-1347.
 65. Shulga, G., Betkers, T., Klyavinsh, J. (2002a) Application of a triple interpolymer complex based on a wood polymer in manufacture of lignocellulosic composites. *Materials Science*, 9, 83-87.
 66. Shulga, G., Betkers, T., Shakels, V., Neiberte, B., Verovkins, A., Brovkina, J., Belous, O., Ambrazaitene, D., Žukauskaite, A. (2007) Effect of the modification of lignocellulosic materials with a lignin-polymer complex on their mulching properties. *BioResources*, 2, 572-582.
 67. Shulga, G., Kalyuzhnaya, R., Zezin, A., Kabanov, V. (2002b) Effect of the molecular mass of lignosulphonate on the interaction with polymeric cation in dilute aqueous solutions and the properties of products formed. *Cellulose Chemistry and Technology*, 36, 225-241.

68. Shulga, G., Reknens, F., Varslavans J. (2001b) Lignin-based interpolymer complexes as a novel adhesive for protection against erosion of sand soil. *Journal of Agricultural Research Engineering*, 78, 3, 309-316.
69. Shulga, G., Shakels, V., Aniskevicha, O., Bikova, T., Treimanis, A. (2006) Effect of alkaline modification on viscometric and surface-active properties of soluble lignin. *Cellulose Chemistry and Technology*, 40, 383-392.
70. Shulga, G., Solodovniks, P., Shakels, V. (2005) Some features of the flow behaviour of lignin-containing aqueous blends. *Cellulose Chemistry and Technology*, 39, 563-572.
71. Shulga, G., Strautina, V., Shulga, M. (2001c) Correlation between the adsorption ability of lignin-based interpolymer complexes and water stability of the formed soil aggregates. *Physical Methods in Agriculture: Approach to Precision and Quality*. Blahovec, J. & Libra, M. (eds) Czech University of Agriculture, Prague, 292-296.
72. Shulga, G., Zakis, G., Neiberte, B., Gravitis, J. (2001a) Synthesis and properties of novel polyelectrolyte on the basis of wood polymers. *Recent Advances in Environmentally Compatible Polymers*. Kennedy, J., Phillips, G., Williams P. (eds) Woodhead Publishing, Cambridge, 123-128.
73. Skele, K., Belkova, L., Alksne, A., Cirule, D., Hrol, J. (2001) Correlation between the structure and physical properties of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood in Latvia. *Proc. Interaction Between Cell Wall Components*. Uppsala, p. 47.
74. Stirna, U., Cabulis, U., Beverte, I. (2008a) Water-blown polyisocyanurate foams from vegetable oil polyols. *Journal of Cellular Plastics*, 44(2), 139-161.
75. Stirna, U., Misāne, M., Zeltiņš, V. (2008b) Latvijas patents LV13692. Kompozīcijas un paņēmieni poliuretāna vai poliizocianurāta putuplastu ieguvei no augu eļļu polioliem. *Patenti un preču zīmes*, No. 4, 396. lpp.
76. Stirna, U., Sevastyanova, I., Misane, M., Cabulis, U., Beverte, I. (2006a) Structure and properties of polyurethane foams obtained from rapeseed oil polyols. *Proceedings of Estonia Academy of Sciences*, 55/2, 101-110.
77. Stirna, U.K., Tupureina, V.V., Misane, M.M., Dzene, A.V., Sevastyanova, I.V. (2002a) The effect of location of side chains in segmented poly(ester urethanes) on their hydrolytic and enzymatic degradation. *Polymer Science, Ser. A*, 44, 510-517.
78. Stirna, U.K., Tupureina, V.V., Sevastyanova, I.V., Dzene, A.V., Misane, M.M. (2002b) Synthesis and characterization of biodegradable segmented poly(ester urethanes) derived from poly(caprolactone diols) and poly(DL-lactide diols). *Polymer Science, Ser. A*, 44, 2069-2078.
79. Stirna, U.K., Tupureina, V.V., Sevastyanova, I.V., Dzene, A.V., Misane, M.M. (2006b) Synthesis and properties of hydrophilic segmented polyurethanes based on poly(ethylene glycols) and glyceromonostearate. *Polymer Science, Ser. A*, 48, 390-396.
80. Stirna, U.K., Tupureina, V.V., Sevastyanova, I.V., Dzene, A.V., Misane, M.M., Vilsone, D.M. (2003) Synthesis, structure and properties of poly(ester urethanes) based on glycerol monostearate. *Polymer Science, Ser. A*, 45, 765-772.
81. Stirna, U.K., Tupureina, V.V., Yakushin, V.A., Dzene, A.V., Shits, I.V. (2001) Role of side chains on structure and properties of segmented poly(ester urethanes). *Polymer Science, Ser. A*, 43, 26-32.
82. Šāble, I., Zaķis, Ģ., Neiberte, B., Verovkins, A. (2007) Ekstraktvielas Latvijas melnalkšņa (*Alnus glutinosa*) mizā. *Latvijas Ķīmijas Žurnāls*, 3, 274-278.
83. Telysheva, G., Dizhbite, T., Evtuguin, D., Mironova-Ulmane, N., Lebedeva, G., Andersone, A., Bikovens, O., Belkova, L. (2009) Design of siliceous lignins – novel organic/inorganic hybrid sorbent materials. *Scripta materialia*, 60, 687-690.
84. Telysheva, G., Dizhbite, T., Lebedeva, G., Rossinskaya, G., Jurkjane, V., Treikale, O., Viesturs, U., Daugavietis, M. (2002) Lignin-based soil amendment stimulating phytoremediation. *Acta Biotechnologica*, 22, 167-173.
85. Telysheva, G., Dizhbite, T., Lebedeva, G., Zaimenko, N., Popovs, S. (2006) Regulation of lignocellulose materials sorption properties by modification for environmental application. *Combined and Hybrid Adsorbents. Fundamentals and Applications*. Loureiro, J.M. (ed.) Springer, Netherlands, 271-276.
86. Telysheva, G., Dizhbite, T., Paegle, E., Volpert, A., Shapatin, A., Demidov, I. (2001) Surface active properties of hydrophobized derivatives of lignosulphonates. Effect of structure of organo-silicon modifier. *Journal of Applied Polymer Science*, 82, 1013-1020.
87. Telysheva, G., Dobeļe, G., Meier, G., Dizhbite, T., Rossinska, G., Jurkjane, V. (2007) Characterization of transformations of lignocellulosic structures upon degradation in planted soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79, 52-60.
88. Telysheva, G., Lebedeva, G., Dizhbite, T., Zaimenko, N., Ammosova, J., Viesturs, U. (2000) The use of silicon-containing products for in-situ soil bioremediation.

- Remediation of Hazardous Waste Contaminated Soils, Section II-3 – Soil Specific Bioremediation Techniques*. Marcel Dekker (ed.), New York-Basel, 699-727.
89. Treimanis, A. (2006) Advanced traditional methods of analysis of fibre surface layers – a powerful tool in research of lignocellulosics. *La Chimica e l'Industria*, 88, 72-75.
 90. Treimanis, A., Grinfelds, U., Skute, M. (2003) The impact of different forest growth conditions on the composition and properties of the pinewood for pulping. *Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper*. Slovak University of Technology, Bratislava, 282-286.
 91. Treimanis, A., Maloney, A. T., Klevinska, V., Eismonte, M., Paulapuro, H. (2000) The swelling behaviour of spruce wood cell walls during kraft pulping. *Lenzinger Berichte*, 79, 137-142.
 92. Treimanis, A., Potthast, A., Henniges, U., Rosenau, T., Grinfelds, U., Bikova, T., Skute, M. (2008) Analysis of surface layers of mechanically peeled eucalyptuskraft pulp fibres. *Papiripar*, 6, p. 4.
 93. Vedernikov, N. (2003) Depolymerization of hardwood pentosans and furfural formation. *Business Meeting of the International Academy of Wood Science, August 4-9*. Report. Cesis, Latvia, 17 pp.
 94. Vedernikov, N. (2007) Koksnes hidrolīze. *Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana*. Vides projekti, Rīga, 121-125.
 95. Vedernikovs, N., Kruma, I., Puke, M. (2008a) Acetic acid production from wheat straw. *Renewable Energy Resources, Production and Technologies. 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop, May 28-31*. Riga, Latvia, 179-185.
 96. Vedernikovs, N., Puke, M., Kruma, I. (2008b) Furfural and bioethanol production from hardwood and agricultural waste. *Renewable Energy Resources, Production and Technologies. 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop, May 28-31*. Riga, Latvia, 186-191.
 97. Vedernikovs, N., Zandersons, J., Kruma, I., Puke, M., Ryzhikovs, J. (2004) Principal organic chemicals and activated carbon from hardwood residues. *Environmental Education, Communication and Sustainability, Integrative Approaches towards Sustainability in the Baltic Sea region*. Filho, W.L., Ubelis, A. (eds) Peter Lang Publisher House, Frankfurt am Main, 451-457.
 98. Verovkins, A., Neiberte, B., Šāble, I., Zaķis, Ģ., Shulga, G. (2008a) Latvijas raksturīgāko koku sugu mizas ķīmiskais komponentsastāvs. *Latvijas Ķīmijas Žurnāls*, 2, 195-201.
 99. Verovkins, A., Neiberte, B., Zaķis, Ģ. (2007) Latvijas apses (*Populus tremula*) koksnes kā celulozes ieguves izejvielas un tās delignifikācijas blakusprodukta – lignīna ķīmiskais raksturojums. *Latvijas Ķīmijas Žurnāls*, 2, 189-193.
 100. Verovkins, A., Šāble, I., Neiberte, B., Zaķis, G. (2008b) Concerning determination of lignin in bark. *Latvian Journal of Chemistry*, 3, 303-306.
 101. Yakushin, V.A., Zhmud, N. P., Stirna, U.K. (2002) Physicomechanical characteristics of spray-on rigid polyurethane foams at normal and low temperatures. *Mechanics of Composite Materials*, 38, 3, 417-426.
 102. Zaķis, G., Neiberte, B., Verovkins, A., Smogol, V. (2006) Amino derivatives of lignin. 4. Amination of lignin in composition of lignocellulose complex – obtaining of bile acid sorbent. *Latvian Journal of Chemistry*, 3, 287-291.
 103. Zaķis, Ģ. (2008) *Koksnes ķīmijas pamati*. Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, 200 lpp.
 104. Zandersons, J., Dobeļe, G., Tardenaka, A., Spince, B., Rižikovs, J. (2008) Alkšņa koksnes glabāšanas ilguma un ekstraktvielu satura ieraksts uz termolīzes gaistošo produktu sastāvu. *Latvijas Ķīmijas žurnāls*, 3, 291-302.
 105. Zandersons, J., Gravītis, J., Zhurinsh, A., Kokorevics, A., Kallavus, U., Suzuki, C.K. (2004) Carbon materials obtained from self-binding sugar cane bagasse and deciduous wood residues plastics. *Biomass and Bioenergy*, 26, 345-360.
 106. Zandersons, J., Zhurinsh, A., Dobeļe, G., Spince, B., Tardenaka, A., Ryzhikovs, J. (2006) Release of arsenic during the carbonization of CCA-treated wood on a laboratory and pilot scale. *Thermal Science*, 10, 3, 27-38.
 107. Zhurinsh, A., Zandersons, J., Dobeļe, G. (2005) Slow pyrolysis of impregnated waste timber materials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 74, 439-444.
 108. Закис, Г.Ф., Нейберте, Б.Я. (2000) Аминопроизводные лигнинов. 3. Реакция лигнинов с диэтилэпоксипропиламино. *Латвийский Химический Журнал*, 4, 89-96.
 109. Закис, Г., Нейберте, Б., Веровкин, А. (2006) О методике аминирования лигнина диэтилэпоксипропиламино (ДЭЭПА). *Латвийский Химический Журнал*, 4, 395-396.

Pateicība

Izsaku pateicību visiem institūta kolēģiem, kuru iesūtītie materiāli veicināja šī raksta tapšanu.