



RESPROD

Valsts pētījumu programma
2014 – 2018

MEŽA UN ZEMES DZĪĻU RESURSU IZPĒTE, ILGTSPĒJĪGA IZMANTOŠANA –

jauni produkti un
tehnoloģijas

RAKSTU KRĀJUMS

**MEŽA UN ZEMES DZĪĻU RESURSU
IZPĒTE, ILGTSPĒJĪGA IZMANTOŠANA –
JAUNI PRODUKTI UN TEHNOĻIJAS
(ResProd)**

**FOREST AND EARTH ENTRAILS RESOURCES:
RESEARCH AND SUSTAINABLE UTILIZATION –
NEW PRODUCTS AND TECHNOLOGIES
(ResProd)**

Valsts pētījumu programma, 2014 – 2018

Rakstu krājums

National Research Programme, 2014-2018, Proceedings

Rīga
2018

UDK 55+630(474.3)(082)

Forest and earth entrails resources: research and sustainable utilization –
new products and technologies (ResProd),
National Research Programme, 2014-2018, Proceedings

Compiled by Dr.chem. Bruno Andersons, Dr.silv. Jurgis Jansons, Dr.silv. Dagnis Dubrovskis,
Dr.sc.ing. Uldis Spulle, Dr.sc.ing. Aivars Žūriņš, Dr.geol. Valdis Segliņš, Dr.biol. Olga Mutere,
Dr.geol. Agnese Kukela.

Issued by the Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, 2018,
194 p., in Latvian, abstracts in English.

Sastādīja: Dr.chem. Bruno Andersons, Dr.silv. Jurgis Jansons, Dr.silv. Dagnis Dubrovskis,
Dr.sc.ing. Uldis Spulle, Dr.sc.ing. Aivars Žūriņš, Dr.geol. Valdis Segliņš,
Dr.biol. Olga Mutere, Dr.geol. Agnese Kukela.

Izdevējs: Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Dzērbenes iela 27, Rīga.

Iespiests: SIA "Aģentūra Radars", Krīvu iela 11, Rīga, LV-1006.

© Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, 2018
ISBN 978-9934-8769-0-5 Drukātais izdevums
ISBN 978-9934-8769-1-2 Elektroniskā versija

SATURS

CONTENTS

Meža un zemes dzīļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (ResProd) Forest and earth entrails resources: research and sustainable utilization – new products and technologies (ResProd) <i>Bruno Andersons</i>	7
--	---

VIENVECUMA EĢĻU MEŽU AUDZĒŠANAS POTENCIĀLS AUGLĪGAJĀS MEŽA EKOSISTĒMĀS

EVEN-AGE SPRUCE STANDS CULTIVATION POTENTIAL IN FERTILE FOREST ECOSYSTEMS

Vienvecuma eģļu mežu audzēšanas potenciāls auglīgajās meža ekosistēmās Even-age spruce stands cultivation potential in fertile forest ecosystems <i>Jurģis Jansons</i>	11
Parastās egles (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) tīraudžu augšanas potenciāla izmaiņas Latvijā Growth potential changes of Norway spruce (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) pure stands in Latvia <i>Zane Lībiete, Jānis Donis, Jurģis Jansons, Pēteris Zālītis</i>	15
Krājas Kopšanas ciršu ietekme uz Pārbiezinātu Parastās egles audžu struktūru un to ekonomisks izvērtējums Economic assessment of the impact of commercial thinning on overstocked Norway spruce stand structure <i>Jānis Donis, Guntars Šņepsts, Leonīds Zdors, Jurģis Jansons</i>	20
Biezuma un ģenētikas ietekme uz eģļu stādījuma parametriem un ekonomisko atdevi Impact of density and genetics on growth and profitability of Norway spruce plantation <i>Juris Katrevičs, Iveta Desaine, Baiba Džeriņa, Guntars Šņepsts, Oskars Krišāns, Āris Jansons</i>	25
Ģenētiskie faktori vienvecuma eģļu audzēs Genetic diversity and differentiation of even aged spruce stands in Latvia <i>Ilze Veinberga, Anīta Gaile, Dainis Edgars Ruņģis</i>	30
Ekspimentālais stādījums kūdreņa izcirtumā pēc iepriekš nokaltuša vienvecuma eģļu mežu masīva nociršanas Experimental forest regeneration after selected initially highly productive, but later withered spruce stand on peat land (<i>Oxalidosia turf.mel.</i>) <i>Dagnija Lazdiņa, Toms Štāls, Santa Celma, Modris Okmanis, Kārlis Dūmiņš, Kristaps Makovskis, Santa Neimane, Jurģis Jansons</i>	37
Sakņu piepes <i>Heterobasidion</i> spp. izplatība vienvecuma eģļu audzēs kūdras augsnēs Distribution of <i>Heterobasidion</i> spp. in even-aged spruce stands on peat soil <i>Lauma Brūna, Astra Zaļuma, Dārta Kļaviņa, Natālija Burņeviča, Liene Dārta Lukstiņa, Agrita Kenigvalde, Tālis Gaitnieks</i>	44

PĒTĪJUMI KOKSNES APSTRĀDES, MEŽA PRODUKTU LOĢISTIKAS UN PLĀNOŠANAS JOMĀ

RESEARCH IN SPHERE OF WOOD PROCESSING, LOGISTICS AND PLANNING OF FOREST PRODUCTS

Pētījumi koksnes apstrādes, meža produktu loģistikas un plānošanas jomā Research in sphere of wood processing, logistics and planning of forest products <i>D.Dubrovskis</i>	53
---	----

Koksnes pirmapstrādes uzņēmumu monitorings un nodrošinājums ar koksnes resursiem Monitoring of primary wood processing companies and availability of wood resources <i>Jānis Krūmiņš, Dagnis Dubrovskis, Lita Vanaga, Ingus Šmits, Salvis Daģis</i>	57
Skujkoku zāģbaļķu un bērza finierkluču kvalitātes izmaiņas uzglabājot Conifer sawlog and birch veneerlog quality change during storage <i>Mareks Millers, Jānis Magaznieks, Zelma Magazniece, Agris Gabrāns</i>	63
Koksnes garenzāģēšanas zāģripu griežņu nodiluma prognozēšana Wood longitudinal sawing, rip saw blade carbide tip bluntness and its prediction <i>Andis Ābele</i>	68
Koksnes materiālu uguns aizsardzības efektivitāte ārā ekspluatācijas apstākļos Fire protection efficiency of wooden materials in exterior conditions <i>Edgars Bukšāns, Andris Morozovs, Nauris Grandāns, Vilnis Jakovļevs</i>	73
Minerālo piemaisījumu noteikšanas ekspresmetode un pelnu saturs prognozēšanas metodikā koksnes biomasai (kurināmajam) Express method for determination of mineral impurities and methodology of ash content forecasting in wood biofuel <i>Andris Dekšnis, Kārlis Būmanis, Jānis Mickevičs un Uldis Spulle</i>	78
Koksnes un tās materiālu ekspluatācijas īpašības Performance properties of wood and wood based materials <i>Jānis Lejavs, Rihards Roziņš, Uldis Spulle, Vilnis Jakovļevs, Oskars Ruļuks</i>	83
Dabīgās un modificētās koksnes cikliska mijiedarbība ar ūdeni Natural and modified wood cyclic interaction with water <i>Andris Morozovs, Lita Fišere, Anete Ķeķe, Edgars Bukšāns, Uldis Spulle</i>	88
 BIOMATERIĀLI UN BIOPRODUKTI NO MEŽA RESURSIEMAR DAUDZPUSĪGU PIELIETOJUMU BIOMATERIALS AND PRODUCTS FROM FOREST RESOURCES WITH VERSATILE APPLICABILITY 	
Biomateriāli un bioprodukti no meža resursiem ar daudzpusīgu pielietojumu Biomaterials and products from forest resources with versatile applicability <i>Aivars Žūriņš</i>	95
Hidrotermiski modificētas koksnes ilgtspējas risinājumi Performance solutions of thermo-hydro modified wood <i>Ingeborga Andersone, Dace Cīrule, Ilze Irbe, Anete Meija-Feldmane, Erry Sansonetti, Bruno Andersons, Juris Grīniņš, Ņina Kurnosova, Edgars Kuka, Andis Antons</i>	97
Koksnes polimēru kompozīti ar termiski modificētu koksni Wood polymer composites with thermally modified wood <i>Edgars Kuka, Ingeborga Andersone, Bruno Andersons, Ilze Irbe, Dace Cīrule, Ņina Kurnosova, Anna Janberga, Juris Grīniņš, Andis Antons</i>	102
Poliuretāna pārklājumi ar samazinātu degamību uz fosforu saturošu poliolu bāzes Polyurethane coatings with reduced flammability based on phosphorus-containing polyols <i>Vladimirs Jakušins, Arnis Āboliņš, Marija Misāne, Dzintra Vilsons, Irīna Sevastjanova, Andris Avots</i>	107
Lapu koka blakusproduktu mehāniski-ķīmiskās funkcionalizēšanas paņēmiena izstrāde koksnes polimēra kompozīta uz reciklēta polimēra bāzes ieguvei Mechanochemical functionalization method of hardwood processing wastes for obtaining wood polymer composite based on recycled polymer <i>Galija Šulga, Brigita Neiberte, Anrijs Verovkins, Jevgenijs Jaunslavietis, Sanita Vītoļiņa, Tālrīts Betkers, Sandra Livča, Jūlija Brovkina, Vadīms Šakels, Olga Aniskeviča</i>	112

Multifunkcionālie oglekļa materiāli uz koksnes bāzes superkondensatora elektrodiem Multifunctional wood-based carbon materials for supercapacitor electrodes <i>Gaļina Dobeļe, Aleksandrs Volperts, Lilija Jašina, Dmitrijs Djačkovs, Aivars Žūriņš</i>	117
Koksnes hidrotermiskās apstrādes ietekme uz koksnes komponentiem un to tālāka izmantošana vērtīgu produktu ieguvei Wood hydrothermal treatment impact on wood components and their further utilization for high-valued products <i>Aivars Žūriņš, Kristīne Meile, Gaļina Dobeļe, Vilhelmine Jurkjāne, Ance Pļavniece, Linda Briede, Daniela Godiņa, Nadežda Iljina</i>	122
Bērza koksnes torifikācijas pētījumi rotējošā pirolīzes retortē Investigation of birch wood torrefaction process in a rotating pyrolysis retort <i>Jānis Rižikovs, Prans Brazdausks, Aigars Pāže, Māris Puķe</i>	127
Biorafinētas koksnes izmantošana siltumizolācijas paraugu iegūšanai un elektrovērtu materiālu ražošanā Use of biorefined wood for obtaining heat insulation and electrospun materials <i>Mārtiņš Andžs, Sanita Reinerte, Ramūnas Tupčiauskas, Andris Vēveris, Jānis Āboliņš, Jānis Grāvītis</i>	132
Latvijas lapkoku mizu biorafinēšanas potenciāls Potentialities of biorefinery for Latvian deciduous tree bark <i>Gaļina Teliševa, Tatjana Dižbite, Līga Lauberte, Aleksandrs Aršaņica, Māris Lauberts, Sarmīte Janceva, Jevgēnija Ponomarenko, Jeļena Krasilņikova, Lilija Jašina, Anna Andersone, Oskars Bikovens, Laima Vēvere, Jegors Akišins</i>	137
Celulozes un koksnes atlikumu nanodaļiņu izmantošana biokompozītmateriālu īpašību uzlabošanai The use of nanoparticles of cellulose and wood residues for the improvement of biocomposite properties <i>Linda Vecbiškēna, Laura Andže, Marianna Laka, Linda Rozenberga, Inese Fiļipova, Mārīte Škute, Velta Fridrihsone, Juris Zoldners, Uldis Grīnfelds, Arnis Treimanis</i>	142

ZEMES DZĪĻU RESURSU IZPĒTE DABISKO IZEJVIELU DAŽĀDOŠANAI UN JAUNU TEHNOĻIJU IZSTRĀDEI

INVESTIGATION OF THE ENTRAILS OF THE EARTH TO OBTAIN VARIOUS NATURAL RAW MATERIALS AND DEVELOP NEW TECHNOLOGIES

Zemes dzīļu resursu izpēte - jauni produkti un tehnoloģijas Studies of mineral resources - the new products and technologies <i>Valdis Segliņš, Gaida Sedmale, Ruta Švinka, Visvaldis Švinka, Līga Bērziņa-Cimdiņa, Māris Kļaviņš, Olga Mutere</i>	151
Zemes dzīļu resursu izpēte dabisko izejvielu dažādošanai un jaunu tehnoloģiju izstrādei Investigation of the entrails of the earth to obtain various natural raw materials and develop new technologies <i>Valdis Segliņš, Agnese Kukela, Ilze Vircava, Jānis Karušs, Aigars Kokins, Līga Zariņa, Kristīpas Lamsters, Māris Krievāns, Austra Stinkule, Ģirts Stinkulis, Valērijs Ņikuļins</i>	155
Mālu īpašību izpēte izmantošanai kosmētikā, biodegradabla atkritumu ikdienas pārklājuma un keramisku sorbentu iegūšanai Investigation of clay properties for application in cosmetics and to obtain biodegradable daily cover material and ceramic sorbents <i>Inga Jurgelāne, Olīta Medne, Agnese Stunda-Zujeva, Andrejs Šiškins, Līga Bērziņa-Cimdiņa</i>	160
Zemtemperatūras keramikas materiālu izstrāde, pielietojot latvijas minerālās izejvielas Development of low temperature ceramic materials using mineral raw materials of Latvia <i>Gaida Sedmale, Māris Rundāns, Mārtiņš Randers, Līga Grase, Andris Cimmers, Aija Krūmiņa</i>	165
Augsti poraina mālu un oksīdu keramika Highly porous clay and oxide ceramic <i>Ruta Švinka, Visvaldis Švinka, Lauma Lindiņa</i>	172

Kūdras, sapropeļa, mālu īpašību un modifikācijas iespēju pētījumi

Properties and modification possibilities of peat, sapropel and clay

Māris Kļaviņš, Rūta Ozola, Vaira Obuka, Linards Kļaviņš, Marta Jemeljanova, Viesturs Ozols

177

Mālus saturošu un citu materiālu ieviešana agro- un vides biotehnoloģijās mikroorganismu aktivitātes palielināšanai

Application of clay-derived and other materials in agro- and environmental biotechnologies for stimulation of microbial activity

Olga Mutere, Vizma Nikolajeva

184

PIELIKUMI

Par prioritārajiem virzieniem zinātnē 2014.-2017.gadā

191

Valsts pētījumu programmas 2014. – 2017.gadam, īstenotāji

192

Valsts pētījumu programma

MEŽA UN ZEMES DZIĻU RESURSU IZPĒTE, ILGTSPĒJĪGA IZMANTOŠANA – JAUNI PRODUKTI UN TEHNOĻIJAS (ResProd)

Valsts pētījumu programma (VPP) ir valsts pasūtījums zinātnisku pētījumu veikšanai Latvijai prioritārās tradicionālajās nozarēs, mežsaimniecībā, meža un zemes dziļu resursu izpētē. Pētījumi atbilst Viedo specializāciju stratēģijai (VSS) un ietilpst viedās specializācijas jomā – “Zināšanu ietilpīga bioekonomika”. Šīs ir nozares, kas nodrošina tautsaimniecības transformāciju. VPP definētā meža un zemes dziļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana un jauni produkti un tehnoloģijas tieši sasaucas ar VSS virzieniem, kas vērsti uz ražošanas un eksporta struktūras maiņu. Inovatīvi zinātņu ietilpīgi produkti un materiāli, balstoties uz biorafinērijas un bezatkritumu ražošanas koncepcijām, ir viens no bioekonomikas attīstības pamatnosacījumiem. Meža un zemes dziļu resursu izpēte paplašina zināšanu bāzi, t.sk. modernas izglītības kontekstā, bet pārnese ražotājiem sekmē reģionu attīstību.

Programmas mērķis ir nodrošināt mežsaimniecības un zemes dziļu resursu izmantošanas ilgtspējību, racionāli izmantot Latvijas vietējos resursus globālajā tirgū konkurētspējīgu produktu ražošanai, vienlaicīgi saglabājot ilgtspējību, bioloģisko daudzveidību un mežu sociālo lomu tuvākā nākotnē un nākošām paaudzēm.

Pētniecības uzdevumu izpildei programmas izpildei izveidotas **starpdisciplināras zinātnieku grupas** no *Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta, Valsts mežzinātnes institūta „Silava”, Latvijas Lauksaimniecības universitātes, Latvijas Universitātes un Rīgas tehniskās Universitātes.*

Programmas mērķu sasniegšanai tika izveidoti sekojoši projekti:

Projekts Nr.1 „Vienvecuma egļu mežu audzēšanas potenciāls auglīgajās meža ekosistēmās”.

Projekts Nr.2 „Pētījumi koksnes apstrādes, meža produktu loģistikas un plānošanas jomā”.

Projekts Nr.3 „Biomateriāli un bioprodukti no meža resursiem ar daudzpusīgu pielietojumu”.

Projekts Nr.4 „Zemes dziļu resursu izpēte - jauni produkti un tehnoloģijas”.

Valsts pētījumu programma bija neatsverams instruments studentu un jauno pētnieku piesaistei praktiski orientētiem zinātniskiem pētījumiem.

Rakstu krājumā apkopoti programmas gaitā iegūtie rezultāti, uz to pamata izdarītie secinājumi un ieteikumi. Krājums veidots ar mērķi sniegt ieskatu veikto pētījumu klāstā ar atsaucēm uz galvenajām publikācijām zinātniskos izdevumos.

Valsts pētījumu programmas vadītājs

LZA īst.loc., Dr. B.Andersons

National Research Programme

FOREST AND EARTH ENTRAILS RESOURCES: RESEARCH AND SUSTAINABLE UTILIZATION – NEW PRODUCTS AND TECHNOLOGIES (ResProd)

The National Research Programme (NRP) is the state order for carrying out scientific research in Latvia's priority traditional sectors – forestry, and forest and earth entrails resources exploration. Research is relevant to the Smart Specialisation Strategy (SSS), and is included in the smart specialization – “Knowledge-based bio-economy”. Those are the fields that ensure the transformation of the national economy. Research into forest and earth entrails resources, their sustainable utilization, and new products and technologies, defined in NRP, directly correlate with the SSS areas, which focus on the change of the production and export structure. Innovative science intensive products and materials, based on biorefinery and clean production concepts, represent one of the basic conditions of the development of bioeconomy. Research into forest and earth entrails resources expands the knowledge base, including in the modern educational context, but the transfer to producers contributes to the development of the regions.

The aim of the Programme is to ensure the sustainability of the utilization of forestry and earth entrails resources, to rationally use Latvia's local resources for the production of products competitive in the global market, simultaneously maintaining sustainability, biodiversity, and the social role of forests in the near future and for the next generations.

For the execution of the research tasks, **interdisciplinary teams of scientists** from the *Latvian State Institute of Wood Chemistry, State Forestry Research Institute “Silava”, Latvia University of Life Sciences and Technologies, University of Latvia and Riga Technical University* are established for the implementation of the Programme.

To reach the Programme objectives, the following projects were developed:

Project No. 1 „EVEN-AGE SPRUCE STANDS CULTIVATION POTENTIAL IN FERTILE FOREST ECOSYSTEMS”.

Project No. 2 „RESEARCH IN THE SPHERE OF WOOD PROCESSING, LOGISTICS AND PLANNING OF FOREST PRODUCTS”.

Project No. 3 „BIOMATERIALS AND PRODUCTS FROM FOREST RESOURCES WITH VERSATILE APPLICABILITY”.

Project No. 4 „INVESTIGATION OF THE ENTRAILS OF THE EARTH TO OBTAIN VARIOUS NATURAL RAW MATERIALS AND DEVELOP NEW TECHNOLOGIES”.

The National Research Programme was an invaluable instrument for the involvement of students and young researchers into these practically oriented scientific studies.

The collected papers summarize the results gained in the course of the Programme, and the conclusions and recommendations made on this basis. The collection is formed with the aim to gain insight into the choice of the carried out studies, with references to the main publications in scientific editions.

National Research Programme Leader

Full Member of the Latvian Academy of Sciences, Dr. B.Andersons

**VIENVECUMA EGLŪ MEŽU
AUDZĒŠANAS POTENCIĀLS
AUGLĪGAJĀS MEŽA EKOSISTĒMĀS**

**EVEN-AGE SPRUCE STANDS
CULTIVATION POTENTIAL IN
FERTILE FOREST ECOSYSTEMS**

VIENVECUMA EGĻU MEŽU AUDZĒŠANAS POTENCIĀLS AUGLĪGAJĀS MEŽA EKOSISTĒMĀS

EVEN-AGE SPRUCE STANDS CULTIVATION POTENTIAL IN FERTILE FOREST ECOSYSTEMS

Jurgis Jansons^{1*}

¹Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

¹Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

*jurgis.jansons@silava.lv

Veidojot pieteikumu 2014.-2017. gada valsts pētījumu programmu konkursam, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava" izvēlējās attīstīt zināšanas par mežsaimniecībā aktuālu tēmu – vienvecuma egļu mežu audzēšanas problemātiku un iespējām. Iepriekš zinātniskās izpētes lokā vairākkārt nonāca jautājumi, kas saistīti ar sākotnēji augstražīgu, bet vēlāk recesīvu jeb brūkošu egļu kokaudžu racionālāko apsaimniekošanas veidu. Mūsdienu Latvijā galvenā cirte jeb egļu mežu audzēšanas ražas novākšana atļauta, kad valdošās sugas koki sasnieguši 80 gadu vecumu vai 31 cm valdaudzes vidējo caurmēru. Pastāvot būtiskiem kokaudžu bojājumiem, egļu audžu nociršana pēc noteiktas procedūras un kritēriju ievērošanas iespējama sanitārajā kailcirtē. Šī gadsimta sākumā Latvijā tika izveidota egļu kokaudžu augšanas potenciāla noteikšanas metodika, lai palīdzētu identificēt problemātiskās egļu kokaudzes un tās drīkstētu galvenajā cirtē nocirst paātrināti, pirms formālās atbilstības sanitāro ciršu kritērijiem, tādējādi racionāli izmantojot koksnes resursus.

Egļu ir otra izplatītākā skuju koku suga Latvijā. Egļu koksnes tautsaimnieciskā nozīme ir bijusi liela visos laikos pārskatāmā pagātnē. To apzinoties, pagājušā gadsimta septiņdesmitajos un astoņdesmitajos gados Latvijā tika intensificēta egļu stādījumu (tolaik sauktu par "kultūrām") ierīkošana mezotrofajos un eitrofajos mežos. Cilvēku veidoti egļu stādījumi būtiski atšķīrās no egļu audzēm, kuras Latvijā (boreālo mežu dienvidu zonā) iepriekš bija izveidojušās bez cilvēku ietekmes juvenīlajā fāzē. Cilvēku neskartā mežā jaunībā strauji augošās vienvecuma egļu kokaudzes nekad neveidojas - egļu ilgstoši aug kā paugas, vēlāk – kā II stāva koki, pēc lapu koku pioniersugu kokaudžu novecošanās un sabrukšanas pakāpeniski ieņemot valdošās sugas lomu.

Vēsturiski vienvecuma egļu mežu veidošanas tehnoloģijas un audzēšanas prognozes jeb ieceres balstījās uz vairākiem pieņēmumiem. Viens no pieņēmumiem bija saistīts ar iespēju iegūt papildus koksnes resursus, daļu koku audzē nocērtot starpcirtēs jeb krājas kopšanas cirtēs. Bija iecerēts, ka koku ciršana uzlabos paliekošo koku augšanas gaitu. Šī iemesla dēļ tika izvēlēts liels sākotnējais kokus skaits – uz viena hektāra tika normatīvi prasīti un stādīti pat 5-6 tūkstoši koku. Daļā meža platību, pārsvarā meliorētajos mežos, tika veidotas egļu papirmalkas plantācijas ar sevišķi lielu sākotnējo koku skaitu un mērķi kokus audzēt pēc saīsinātās aprites principa, nodrošinot izejvielu tolaik Latvijā strādājošajai celulozes industrijai. Mainoties valsts iekārtai un meža nozarei, pazīme par audzes atbilstību papirmalkas plantācijas statusam no meža informācijas sistēmām pazuda, un audzes nonāca tradicionālo galvenās cirtes parametru aprītē.

Vienvecuma egļu mežu stādīšanu vēsturiski veicināja arī pārmērīgais pārnadžu, galvenokārt – aļņu, populāciju lielums. Pārnadžu postījumi egļu mežos ir mazāki, kādēļ egļu audzes bieži tika veidotas mezotrofajos mežos, kuros būtu jāveido priežu tīraudzes vai vismaz mistrotas priežu/egļu audzes. Pēc pagājušā gadsimta sešdesmito gadu beigu vējgāzēm ievērojami pieauga meža stādīšanas apjomi, un pastāv iespēja, ka, trūkstot vietējam stādmateriālam, daļā vējgāžu platību varēja tikt izmantots no bijušās PSRS dienvidu reģioniem ievests egļu stādmateriāls.

Mūsdienās, mežsaimniecības plānošanas procesā arvien biežāk izmantojot ekonomikas likumsakarības, egļu atjaunošana uzskatāma par atzīstamu un rentablu meža atjaunošanas izvēli. Īpašu nozīmi zināšanas par egļu jaunaudzju veidošanu iegūst saistībā ar Latvijas meža likumdošanā iekļauto mērķa caurmēra konceptu, kas motivē meža īpašnieku censties izaudzēt egļu kokaudzes ātrāk. Līdz ar to meža īpašniekam ir iespēja izaudzēt egļu balķus un gūt labumu no galvenās cirtes savas dzīves laikā, kas savukārt nav iespējams, egļu audzējot 80 gadus. Tā kā egļu jaunībā ir ātraudzīga koku suga, arī šodien mezotrofajos mežos (auglīgajos lānos (*Myrtillosa*), damažņos (*Hylocomiosa*), šaurlapju āreņos (*Myrtillosa mel.*) un kūdreņos (*Myrtillosa turf. mel.*)) ekonomikas likumsakarības atbalsta egļu stādīšanas izvēli, salīdzinājumā ar priedi. Egļu kā atjaunojamo koku sugu arvien biežāk Latvijā izvēlas privātie meža īpašnieki, tai skaitā, ārvalstu kapitāla mežsaimniecības uzņēmumi.

Neraugoties uz priekšrocībām, ko mežsaimniecībā iezīmē vienvecuma egļu mežu audzēšana, arī šobrīd pastāv egļu mežu audzēšanas riski. Valsts zinātniskās izpētes mežos atrodami vēsturiski egļu mežu audzēšanas parauglaukumi, kuri savas

pastāvēšanas laikā ir pildījuši divējādas funkcijas. Iepriekš tie izmantoti kā demonstrējumu objekti izcilai stādīto egļu augšanas gaitai un produktivitātei, tai skaitā, dažādu kopšanas režīmu eksperimentu rezultātiem. Mūsdienās šajos objektos darbojas meža fitopatoloģijas virziena zinātnieki, meklējot izskaidrojumu vienvecuma egļu mežu vitalitātes zudumam un pat bojāejai. Meža nozares praksē nereti saskaramies ar jautājumu, kādu atjaunojamo sugu izvēlēties pēc tam, kad bojā aizgājušī egļu vienvecuma audze nocirsta sanitārajā cirtē.

LVMI Silava zinātnieku piedāvājumu 2013. gadā atbalstīja meža nozare, un 2014. gadā tika uzsākts valsts pētījumu programmas pētījums par vienvecuma egļu mežiem. Pētījuma gaitā esam centušies noskaidrot, kā pēdējo 12 gadu laikā mainījies egļu augšanas potenciāls pēc pirmā šāda vērtējuma gadsimta sākumā. Uz mērījumu pamata esam centušies skaidrot, vai 30-60 gadu vecos, sākotnēji pārbiezinātos egļu stādījumos pēc starpcirtes ir notiksi paliekošo audzes koku augšanas uzlabošanās. Ar ģenētiskās analīzes metodēm esam skaidrojuši, vai egļu audžu zema augšanas potenciāla iemesls varētu būt vēsturiskais stādāmā materiāla "imports" no bijušās PSRS dienvidu reģioniem. LVMI Silava zinātnieki turpinājuši uzkrāt zināšanas par sakņu trapes izplatību vienvecuma egļu mežos uz kūdras augsnēm. Pētījumu programmas laikā ierīkots eksperimentāls stādījums pēc iepriekš nokaltušas vienvecuma egļu kokaudzes nociršanas, izmantojot dažādas koku sugas un to kombinācijas, lai nākotnē meklētu atbildi meža atjaunošanas izaicinājumiem. Veikts sākotnējs eksperimentālā stādījuma vērtējums un koku uzmērījumi. Lai intensīvas mežsaimniecības apstākļos ar zināšanām atbalstītu meža īpašniekus izvēlēties egli par atjaunojamo koku sugu, veikts pētījums par sākotnēji retu stādījumu augšanas gaitu un rezultātu mijiedarbībā ar koku iedzimtību un meža selekcijas efektu.

Valsts pētījumu programmas pētījuma "Vienvecuma egļu mežu audzēšanas potenciāls auglīgajās meža ekosistēmās" koordinators un ir personīgi pateicīgs pētījumu tēmu vadītājiem Zanei Libietei, Dagnijai Lazdiņai, Tālim Gaitniekam, Ārim Jansonam, Dainim E. Ruņģim, Jānim Donim un ikvienam viņu vadīto zinātnisko grupu kolēģim par darbu un rezultātu iepriekšējo četru gadu garumā. Īpašu pateicību mēs veltām programmas vadītājam Bruno Andersonam par iecietību, kā arī Studiju un zinātnes administrācijai, kura atļāva mums nenogurstoši un produktīvi strādāt, nenomokot ne zinātniekus, ne pētījuma administratorus ar liekām un nevajadzīgām birokrātijas procedūrām bez jebkādas pievienotās vērtības. Šāda attieksme pret zinātniekiem ir patīkams izņēmums mūsdienu Latvijā. Pētījuma grupas vārdā mēs vēlam administrācijai arī turpmāk šādi darboties un veicināt zinātniskās domas attīstību Latvijā.

EVEN-AGE SPRUCE STANDS CULTIVATION POTENTIAL IN FERTILE FOREST ECOSYSTEMS

Jurģis Jansons^{1*}

¹Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

*jurgis.jansons@silava.lv

When preparing the application for the tender for 2014-2017 state research programme supported by government the State Forestry Research Institute "Silava" decided to work on one of the most topical problems of forestry, i. e. even-age spruce stand cultivation potential. In earlier research efforts, the focus has been on the rational management of initially thriving yet later declining and downfalling spruce stands. In Latvia, at present the final harvest of spruce stands is possible provided the trees of the dominant species have reached the age of 80 or the mean diameter of the dominant stand is at least 31 cm. In the beginning of this century we worked out a method to help identify problem-stricken spruce stands so that they could be final-felled before the stand has reached the formal criteria eligible for sanitation cutting in order to rationally utilize the wood resources.

Spruce is the second most common tree species in Latvia. Its timber has been essential for the national economy in every historic period. That is why in the 1970s–80s it was decided to establish spruce plantations (called forest cultures at that time) in mesotrophic and eutrophic woodlands. However, there is an essential difference between man-made spruce stands and those of the southern regions of the boreal forest zone typical for Latvia, which have developed without human interference in their juvenile stage of growth. In natural forests we never find fast-growing even-age spruce stands. Normally, spruce is in the undergrowth for quite a long time, gradually becoming an understory species and later the dominant species after the decline and die-back of the pioneer broadleaf species.

During the Soviet times the prospects and methods of cultivating even-age spruce stands were based on a number of assumptions. One of them was getting additional wood resources from thinnings and intermediate cuttings. It was assumed that the tree removal from the initial stand would improve the performance of the remaining trees. For this aim the density of stocking was high – 5,000 to 6,000 trees per ha according to the regulations of that time. In some areas, mainly in drained woodlands, it was envisaged to cultivate spruce in short rotation plantations for pulpwood with extremely high density of initial stocking to meet the needs for the raw material of the pulp and paper industry of that time. The situation changed in the 1990s when Latvia regained sovereignty. In the forest information systems the above plantations were no more classed as the producers of pulpwood and, as to the regulations for final felling, were included in the category of conventional commercial forests.

Historically, a high population density of artiodactyls, and moose in particular, has also been among the reasons for favouring spruce, which is less vulnerable to wildlife damage, in forest regeneration and establishment. That is why in mesotrophic woodlands spruce was planted in sites where pure stands of pine or mixed spruce/pine stands should be established. The volume of work in forest regeneration was especially high after salvaging the hurricane-thrown woodlands in the late 1960s. There is a high probability that because of the shortage of local resources a considerable part of the spruce planting stock needed was imported from the southern regions of the former Soviet Union.

Nowadays, when forest management planning is predominantly based on economic considerations, forest regeneration by planting spruce is treated as an economically viable option. The knowledge how to establish and tend the young spruce stands assumes special importance for the forest owners due to the fact that the currently existing forest law introduces the concept of end-use diameter for forest crops, which motivates the foresters to intensify tree growth. In this way the forest owners may benefit from cultivating forest and harvest sawlogs in his/her lifetime without waiting 80 years till the legal felling age. As in the young age spruce grows quite fast, its planting in fertile mesotrophic forest sites instead of pine (*Myrtillosa*, *Hylocomiosa*, *Myrtillosa*, *Myrtillosa turf. mel.*) is considered a viable option even today. This option is preferred by the Latvian private forest owners, including the forest management companies operating with foreign capital.

Regardless of the advantages of cultivating even-age spruce stands it still involves considerable risks. In state-owned research forests we find spruce sample plots of long history, which have played a dual role. Initially they served as demonstration sites illustrating the excellent growth and productivity of spruce plantations, including the effect of different tending regimes. Today the experts in forest phytopathology use these sites for investigating the reasons for the vitality loss and even die-back of even-age spruce stands. In practical forestry the question arises as to what species should be used to regenerate forest after salvaging the declining even-age spruce stand.

The forest sector supported the 2013 proposal of the Silava institute and in 2014 within the framework of the state-supported research programme a project was launched on even-aged spruce forests. We have attempted to elucidate how the growth potential of spruce stands has changed in the last 12 years since the first evaluation of this kind in the beginning of this century. By analysing the measurement results we have tried to find out whether the remaining stand has seen improvement as a result of intermediate felling in 30 to 60 year initially overstocked spruce plantations. The methods of genetic analysis were used to clarify the potential impact on stand performance of the planting stock imported from the southern regions of the former Soviet Union. New knowledge on the occurrence of root rot in even-aged spruce stands on peaty soils has been accumulated too. After salvaging a die-back even-age spruce stand a trial plot is established, planting there different tree species in a variety of combinations with the aim of finding answers to the future challenges of cultivating even-age tree plantations. Tree measurement and initial evaluation of the trial plots has also been done. With a view to intensive forest cultivation and considering the need to motivate the forest owners in favour of establishing spruce plantations, research is done on the course of growth of initially sparse plantations, evaluating the research data in terms of the tree heredity and the effect of tree breeding.

The coordinator of the state-supported research programme on the even-age spruce stand cultivation potential owes a debt of gratitude to the leaders of the research programme Zane Lībiete, Dagnija Lazdiņa, Tālis Gaitnieks, Āris Jansons, Dainis E. Ruņģis, Jānis Donis and all other colleagues for the work done and the results achieved during the past four years. Special thanks to the programme leader Bruno Andersons for tolerance as well as the scientific supervisors of the given study, allowing us to tirelessly and productively carry on the work and not interfering with unnecessary bureaucratic procedures. This is a pleasant exception in the present-day Latvia. On behalf of the research team we wish the programme administration to continue in this way in the interests of the development of scientific thought in Latvia.

PARASTĀS EGLES (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) TĪRAUDŽU AUGŠANAS POTENCIĀLA IZMAIŅAS LATVIJĀ

GROWTH POTENTIAL CHANGES OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) PURE STANDS IN LATVIA

Zane Lībiete^{1*}, Jānis Donis¹, Jurgis Jansons¹, Pēteris Zālītis¹

¹ Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

¹ Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

* zane.libiete@silava.lv

Parastā egle (*Picea abies* (L.) Karst.) ir viena no trim saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām Latvijā, un egļu vienvecuma tīraudzēs pēc 30-40 gadu vecuma sasniegšanas iezīmējas trīs turpmākas attīstības scenāriji: perspektīvas audzes, paaugstināta riska audzes un bezperspektīvas audzes. Metodika egļu augšanas potenciāla novērtēšanai izstrādāta 2002. gadā, un pirmais izvērtējums veikts 2005.-2007. gadā. Valsts pētījuma programmas ietvaros tika veikts atkārtots egļu vienvecuma tīraudžu augšanas potenciāla izvērtējums pēc identiskas metodikas šajās pašās mežaudzēs. Tika noskaidrots, ka desmit gadu laikā ir būtiski mainījies analizēto mežaudžu sadalījums augšanas potenciāla grupās, radikāli samazinoties perspektīvo audžu īpatsvaram un palielinoties bezperspektīvo audžu īpatsvaram. Nozīmīgākais bezperspektīvo audžu īpatsvara palielinājums bija vērojams sausieņu un āreņu edafiskajās rindās. Austrumlatvijā gan pirmās, gan otrās uzskaites laikā konstatēts zemāks egļu tīraudžu augšanas potenciāls. Sākotnēji pārbiezinātās un savlaicīgi neizkoptās egļu vienvecuma tīraudzēs, pie kādām patlaban pieder liela daļa vidēja vecuma audžu, pašlaik spēkā esošais apsaimniekošanas modelis ar 81 gada cirtmetu uzskatāms par neveiksmīgu un būtu pārskatāms.

Ievads

Parastā egle (*Picea abies* (L.) Karst.) ir viena no trim saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām Latvijā. Atbilstoši Meža statistiskās inventarizācijas datiem, egļu meži aizņem 604 tūkstošus ha jeb 18% no kopējās meža platības. Egļu mežu platība būtiski pieauga pēc 1960. gada, un līdz pat 21. gadsimta sākumam egļu meži tika atjaunoti ar ļoti lielu biežumu – vairāk nekā 4000 kokiem uz ha [3], bet nereti koku skaits jaunaudzē sasniedza pat 7-8 tūkstošus.

Līdz aptuveni divu metru augstumam egļu jaunaudzju augšanas gaita ir salīdzinoši lēna, taču pēc tam labvēlīgos augšanas apstākļos novērojama būtiska produktivitātes palielināšanās, kad vidējais krājas pieaugums gadā var sasniegt pat 20 m³ ha⁻¹. Turpmākā šo augstražīgo audžu attīstībā identificēti trīs atšķirīgi scenāriji: 1) turpinās intensīva krājas uzkrāšanās, un krāja cirtmetu sasniegušās audzēs sasniedz 500 m³ ha⁻¹; 2) intensīvā krājas uzkrāšanās būtiski samazinās, audzei sasniedzot 30-40 gadu vecumu; 3) vērojama ražības samazināšanās tādā līmenī, ka krājas diference kļūst negatīva, un atmirušās koksnes apjoms audzē pārsniedz dzīvās koksnes pieaugumu.

Lai labāk izprastu ar egļu tīraudžu audzēšanu saistītos riskus un izstrādātu metodiku bezperspektīvo audžu identifikācijai, 2002. gadā tika uzsākts pētījums, izmantojot detalizētu informāciju no vairāk nekā 400 parauglaukumiem egļu vienvecuma tīraudzēs. Augšanas potenciāla izvērtējuma metode tika balstīta uz sakarībām starp koku caurmēru un pēdējo piecu gadskārtu platumu, piedāvājot egļu vienvecuma tīraudzes sadalīt trijās grupās: 1) perspektīvas; 2) paaugstināta riska; un 3) bezperspektīvas. Pētījuma rezultātā izstrādātā metodika tika iestrādāta likumdošanā neproduktīvu mežaudžu identifikācijai.

2015.-2017. gadā tika veikts atkārtots iepriekš analizēto nogabalu izvērtējums, lai noskaidrotu egļu tīraudžu augšanas potenciāla izmaiņas laikā, izmantojot tieši tādu pašu metodiku un parametru vērtības kā pirmajā apsekojumā.

Materiāli un metodes

Metode parastās egles augšanas potenciāla vērtējumam tika izstrādāta, balstoties uz datiem no 22 regulāri (6-8 reizes) pārmērītiem pastāvīgajiem parauglaukumiem egļu vienvecuma tīraudzēs. Šis audzes tika sadalītas trijās kvalitātes grupās atkarībā no krājas tekošā pieauguma: 1) perspektīvas – krājas tekošais pieaugums pēdējos gados sasniedz vai pārsniedz $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā; 2) paaugstināta riska – krājas tekošais pieaugums pozitīvs, taču nepārsniedz $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā; 3) bezperspektīvas – krājas tekošais pieaugums negatīvs vai tuvs nullei.

Viegli aprēķināmi skaitliskie indikatori šo grupu identifikācijai tika iegūti, analizējot gadskārtu platuma un koku caurmēra sakarības katrā no trijām paraugkopām. Indikatoru izvēles pamatā bija loģisks pieņēmums, ka veselīgā kokaudzē pastāv cieša pozitīva korelācija starp koku caurmēru un gadskārtu platumu, proti, resnāko koku caurmēra pieaugums ir lielāks. Tika izmantota lineāra sakarība starp koku caurmēru krūšaugsstumā (1.3 m no sakņu kakla) un pēdējo piecu gadskārtu platumu. Šo sakarību apraksta regresijas vienādojums $i5 = ad + b$, kur $i5$ – kopējais pēdējo piecu gadskārtu platums; a un b – regresijas koeficienti; d – koka krūšaugsstuma caurmērs. Katrai audzei tika aprēķināti sekojoši parametri: vidējais koku caurmērs D kā aritmētiskais vidējais no visiem uzmērītajiem kokiem, vidējais gadskārtas platums pēdējos piecos gados i , regresijas koeficients a kā audzes struktūras raksturotājs un lineārās regresijas koeficients r starp pēdējo piecu gadskārtu kopplatumu un koku caurmēru konkrētajā audzē. Parametru vērtības audzes ieskaitīšanai kādā no trijām grupām parādītas 1.tabulā. Metodika detalizēti atspoguļota vairākās publikācijās [1, 2, 4, 5].

Tabula 1. Parametru vērtības egļu vienvecuma tīraudžu ieskaitīšanai kādā no trijām augšanas potenciāla grupām.

Audzū grupa/Parametrs	$i5$	a	r
1 - perspektīva	>10 mm	>0.60	>0.60
2 – paaugstināta riska	Visas pārējās audzes, kas neatbilst 1.un 3.grupai definētajām vērtībām		
3 - bezperspektīva	<10 mm	≤0.30	≤0.30

Pirmā vienvecuma egļu tīraudžu apsekošana tika veikta 2003.-2007. gadā 355 valsts mežu nogabalos, kas atlasīti no Meža valsts reģistra, un 50 valstij un 25 privātpersonām piederošos nogabalos, kas atlasīti no Meža statistiskās inventarizācijas datu bāzes. Katrā nogabalā tika ierīkots pagaidu parauglaukums (reprezentatīva egļu biogrūpa), kurā tika uzmērīts 20 koku caurmērs un pēdējo piecu gadskārtu kopējais platums uz urbumu serdeņiem, kā arī biogrūpas koku vidējais augstums un šķērslaukums. Pirmā apsekojuma laikā tika iegūta informācija par 8600 kokiem.

2015.-2017. gadā Valsts pētījumu programmas “Meža un zemes dziļū resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” (ResProd) ietvaros tika veikta atkārtota egļu tīraudžu apsekošana valsts mežos, izmantojot identisku metodiku. Administratīvu pārmaiņu dēļ no visiem pirmajā reizē uzmērītajiem nogabaliem izdevās identificēt 283 audzes, un atkārtotā apsekojuma laikā tika iegūta informācija par 5460 kokiem. Daļā no šīm audzēm laika posmā no 2003. līdz 2016. gadam atbilstoši vizuālam vērtējumam bija veikta kopšana, taču, tā kā šāda informācija nebija pieejama par visām otrās uzskaites laikā apsekotajām egļu tīraudzēm, iespējamā kopšanas ietekme kā faktors netika iekļauta datu analizē.

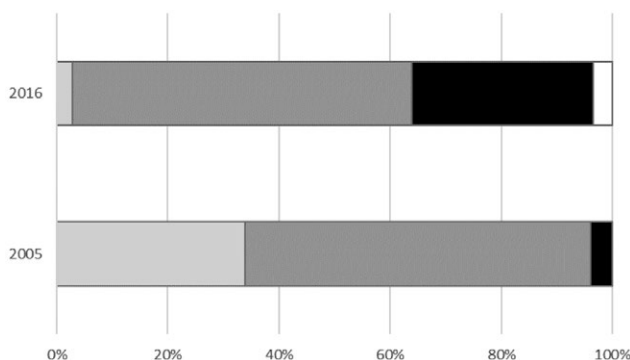
Rezultāti

Gandrīz puse no visiem atkārtoti apsekotajiem nogabaliem atradās sausieņu mežos. 34% no nogabaliem atradās āreņos, 14% kūdreņos, bet tikai 3% - slapjajņos (Tabula 2). Visās augšanas apstākļu grupās bija ļoti līdzīga nogabala vidējā platība un audzes vecums. Vidējais koku caurmērs, augstums un šķērslaukums bija zemāks slapjajņu mežos, bet visai līdzīgs pārējos augšanas apstākļu tipos. Visaugstākā audzes vidējā krāja bija sausieņu mežos, nedaudz zemāka, bet visai līdzīga – abās nosusināto augšanas apstākļu tipu grupās, bet viszemākā – slapjajņu mežos.

Tabula 2. Apsektos nogabalus raksturojošie rādītāji.

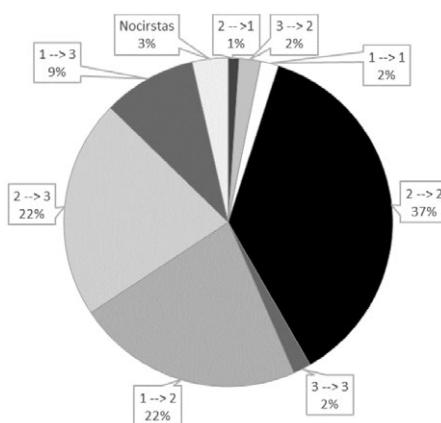
Augšanas apstākļu tips	Nogabalu skaits	Nogabala vid. platība, ha	Vid. audzes vecums, gadi	Vid. audzes caurmērs, cm	Vid. audzes augstums, m	Vid. audzes šķērslaukums, $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$	Vid. krāja, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
Sausieņi	138	2.3±0.20	47	19.8±0.48	19.3±0.40	27.7±0.75	278.7±10.04
Slapjajņi	8	2.3±0.55	46	18.1±0.26	17.6±0.20	24.9±0.63	231.6±6.67
Āreņi	96	2.2±0.17	47	20.1±0.42	19.0±0.38	26.1±0.74	260.4±8.70
Kūdreņi	41	2.4±0.29	48	19.6±0.32	18.9±0.28	26.4±0.65	259.9±7.91

Otrās grupas (paaugstināta riska) mežaudžu īpatsvars analizētajā paraugkopā pirmās un otrās uzskaites laikā bija visai līdzīgs (attiecīgi 62% un 61%), bet būtiski bija samazinājies perspektīvo audžu īpatsvars (no 34% līdz 3%) un pieaudzis bezperspektīvo audžu īpatsvars (no 4% līdz 35%). Praktiski var uzskatīt, ka bezperspektīvo audžu īpatsvars ir pieaudzis vēl vairāk, jo šajā grupā visticamāk ieskaitāmas arī visas nocirstās audzes (Zīm.1).



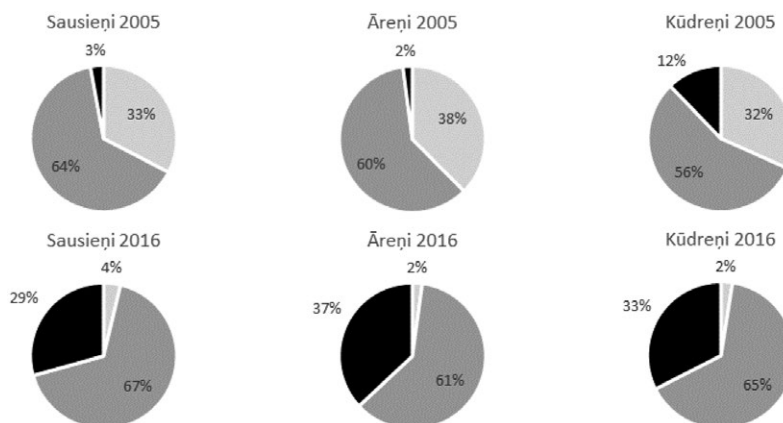
Zīmējums 1. Analizēto egļu vienvecuma tīraudžu sadalījums augšanas potenciāla grupās pirmās un otrās apsekošanas laikā.
 Leģenda: - perspektīvas; - paaugstināta riska; - bezperspektīvas; - nocirstas.

Lielākā daļa no visām apsekotajām mežaudzēm (37%) gan pirmās, gan otrās apsekošanas laikā ietilpa paaugstināta riska audžu grupā. Tajā pašā laikā vairāk nekā pusē no apsekotajām audzēm augšanas potenciāls kopš 2005. gada bija pasliktinājies, un audzes mainījušas savu piederību grupai, vai nu kļūstot no perspektīvām par paaugstināta riska (22%) vai bezperspektīvām (9%) audzēm, vai arī no paaugstināta riska audzēm par bezperspektīvām (22%) audzēm. Dažos apsekotajos nogabalos egļu augšanas potenciāls bija uzlabojies no otrās un pirmo vai no trešās uz otro grupu, taču šādi bija tikai atsevišķi gadījumi (Zīm 2).



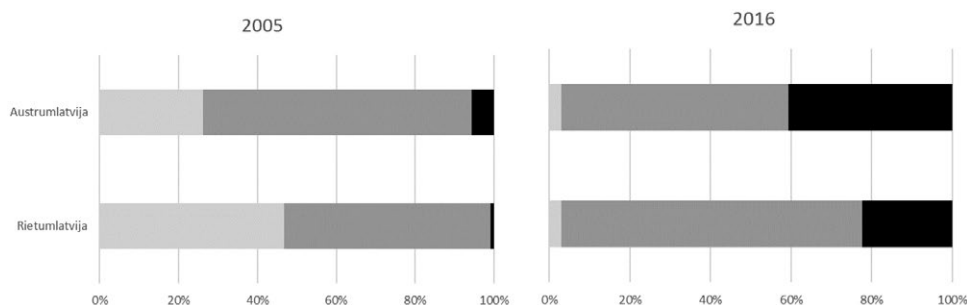
Zīmējums 2. Analizēto egļu vienvecuma tīraudžu augšanas potenciāla grupas izmaiņas no 2005. līdz 2016. gadam (no kuras grupas uz kuru notikušas izmaiņas, audžu īpatsvars).

Visās augšanas apstākļu grupās (izņemot slapjainus, kuros analizēto audžu skaits bija ļoti neliels un grafikā nav attēlots) perspektīvo audžu īpatsvars laika gaitā bija būtiski ($p < 0.0001$) samazinājies (no 23-38% līdz 2-4%), tajā pašā laikā palielinoties bezperspektīvo audžu īpatsvaram (no 2-12% līdz 29-37%), sevišķi izteikti sausieņu mežos (Zīm.3).



Zīmējums 3. Analizēto egļu vienvecuma tīraudžu augšanas potenciāla grupu sadalījums pa meža augšanas apstākļu tipiem pirmās un otrās uzskaites laikā. Leģenda: - perspektīvas; - paaugstināta riska; - bezperspektīvas.

Informācija par egļu jaunaudžu augšanas potenciālu tika salīdzināta arī reģionālā griezumā: starp Rietumlatviju (Ziemeļkurzemes, Dienvidkurzemes un Vidusdaugavas mežsaimniecība) un Austrumlatviju (Rietumvidzemes, Austrumvidzemes, Vidusdaugavas, Ziemeļlatgales un Dienvidlatgales mežsaimniecība). Gan pirmās, gan otrās uzskaites laikā tika konstatēts, ka egļu tīraudžu augšanas potenciāls Austrumlatvijā ir sliktāks nekā Rietumlatvijā.



Zīmējums 4. Analizēto egļu vienvecuma tīraudžu augšanas potenciāla grupu sadalījums pa reģioniem pirmās un otrās uzskaites laikā.
 Leģenda: - perspektīvas; - paaugstināta riska; - bezperspektīvas.

Secinājumi

Atkārtoti veikta novērtējuma rezultāti liecina par turpmāku augšanas potenciāla pasliktināšanos jaunaudžu vecuma un vidēja vecuma egļu vienvecuma tīraudzēs. Visizteiktāk augšanas potenciāls ir pasliktinājies sausieņu mežos. Austrumlatvijā konstatēts ievērojami augstāks bezperspektīvo audžu īpatsvars nekā Rietumlatvijā. Pētījumā analizētās audzes pārsvarā veidojušās no pārbiezinātām un savlaicīgi neizkoptām jaunaudzēm, kurās koki ir savstarpējās konkurences rezultātā novājināti. Audzēs ar šādu apsaimniekošanas vēsturi patlaban spēkā esošā cirtmeta (81 gads) piemērošana visticamāk būs neveiksmīga, un apsaimniekošanas modelis būtu jāmaina, ņemot vērā egles kā ēncietīgas koku sugas ekoloģiskās prasības.

Literatūra

1. Lībiete Z. Parastās egles (*Picea abies* (L.) Karst.) tīraudžu ražība un augšanas potenciāls augligajos meža tipos. Promocijas darbs, 2008, Jelgava, 93 lpp.
2. Lībiete Z., Zālītis P. Determining the growth potential for even-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Baltic Forestry*, 2007, 13 (1), pp. 2-9
3. Mangalis I., Cinītis O. Meža kvalitatīvas atjaunošanas agrotehnika un tehnoloģija: Apsakats. – Rīga.: LATZTIZPI, 1987 – 76 lpp.
4. Zālītis P., Lībiete Z. Egļu jaunaudžu augšanas gaitas savdabības āreņos un kūdreņos. *Mežzinātne*, 2003, 13(46), 21.-36. lpp.
5. Zālītis P., Lībiete Z. Egļu jaunaudžu augšanas potenciāls. *LLU Raksti*, 2005, 14 (309), 83.-93. lpp.

GROWTH POTENTIAL CHANGES OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) PURE STANDS IN LATVIA

Zane Lībiete^{1*}, Jānis Donis¹, Jurgis Jansons¹, Pēteris Zālītis¹

¹ Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

* zane.libiete@silava.lv

Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) is the third most widespread tree species in Latvia. According to the forest statistics, spruce forests take up 604 thousand ha or 18% of the total forest area. After 1960 the area of spruce stands increased rapidly, and regeneration of spruce stands was carried out with large number of trees, often even 7-8 thousand spruces per ha.

The growth of young spruce stands is initially slow, but in favourable growth conditions, this stage is followed by a rapid increase in all stand parameters, often reaching the annual volume growth of 20 m³ha⁻¹year⁻¹ in 30-50 years old stands (Zālītis, Lībiete 2003, 2005). However, in the beginning of 21st century three different development scenarios for pure even-aged Norway spruce stands were identified. In the most favourable case, the intensive volume growth continues, and volume yield at the end of the rotation period (81 year for Norway spruce in Latvia) reaches approximately 500 m³ha⁻¹. In the second case, the rapid growth of the stand slows down at approximately 30-40 years, and further volume accumulation is slow. In the most radical case, the growth reduction is even more pronounced and the stand volume difference becomes negative, e.g., the volume of accumulated deadwood exceeds the live biomass increment.

With these differences established, the need for methodology to identify unpromising and increased risk spruce stands became apparent. In 2002, such methodology was developed and field measurements in more than 400 pure spruce stands were carried out from 2003 to 2007 (Zālītis&Lībiete, 2003; Zālītis&Lībiete, 2005; Lībiete&Zālītis, 2007; Lībiete, 2008). The method was based on the linear relationship between the tree diameter at breast height (d. b. h.) and the width of the last five annual rings, described by regression equation $i_5 = ad + b$, where i_5 is the total width of last five annual rings, mm; a and b are the regression coefficients; d - tree d. b. h., cm. In 2015, repeated assessment of the growth potential of pure spruce stands was included in the State research programme, and this paper summarizes the results of the assessment.

The number of stands in the 2nd (increased risk) group in the first and second survey was similar but the number of stands in the 1st and the 3rd group has changed dramatically. The number of perspective stands has decreased 12 times, while the number of unpromising stands has increased 8 times. In 10 compartments, clearfelling has been carried out.

The largest share of all surveyed stands (37%) are those that have retained their position within Group 2 (increased risk stands). At the same time, in more than half of all surveyed stands the growth potential has declined since 2005, and the stands have moved either from Group 1 to Group 2 (22%), from Group 2 to Group 3 (22%) or from Group 1 to Group 3 (9%). In some stands the growth potential has improved from Group 2 to Group 1 or from Group 3 to Group 2 but these are few and exceptional cases.

In all site type groups, except forests on wet mineral soils where the number of surveyed stands was small, the share of perspective stands has considerably decreased (from 32-38% to 2-4%), while that of unpromising stands - increased (from 2-12% to 29-37%), most markedly in the group of forests on drained mineral soils. Growth potential of even-aged spruce stands was lower in the Eastern Latvia than in the Western Latvia.

Results of repeated assessment reveal further decline of growth potential in young/middle aged Norway spruce stands. This decline is most pronounced in forests on dry mineral soils and forests on drained mineral soils. In the Eastern Latvia the share of non-perspective Norway spruce stands is generally higher both in the first and in the second assessment. The analysed stands have mainly originated from overstocked plantations subject to overdue thinnings, where the trees suffer the consequences of increased competition. In the stands with such management history, the application of current silvicultural system (clearfelling at the age of 81) most likely will be a failure, and the silvicultural system should be changed in the near future, considering the ecological requirements of Norway spruce as shade tolerant tree species.

KRĀJAS KOPŠANAS CIRŠU IETEKME UZ PĀRBIEZINĀTU PARASTĀS EGLĒS AUDŽU STRUKTŪRU UN TO EKONOMISKS IZVĒRTĒJUMS

ECONOMIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COMMERCIAL THINNING ON OVERSTOCKED NORWAY SPRUCE STAND STRUCTURE

Jānis Donis^{1*}, Guntars Šņepsts¹, Leonīds Zdors¹, Jurgis Jansons¹

¹ Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

¹ Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

* janis.donis@silava.lv

Iepriekšējās saimnieciskās darbības rezultātā Latvijā vairāk nekā 223,9 tūkst. ha lielā platībā ir izveidotas 30 – 60 gadus vecas vienvecuma egļu audzes, kuras sākotnēji bijušas relatīvi biezas. Šī pētījuma uzdevumi ir: i. noskaidrot 30–60 gadus vecu vienvecuma egļu mežu kokaudžu struktūru un tās izmaiņas mežsaimniecības pasākumu ietekmē, uz mērījumu pamata veikt starpcirtes ietekmes izvērtējumu uz kokaudžu attīstību; ii. definēt vienvecuma egļu mežu apsaimniekošanas alternatīvas un sagatavot to ekonomisko izvērtējumu. Projekta gaitā ierīkoti objekti 30 - 60 gadus vecās vienvecuma egļu tīraudzēs, kurās no 2005.-2007. gadam veikta kopšana (60 objekti) un 30 - 60 gadus vecās vienvecuma egļu tīraudzēs, kurās vismaz pēdējos 15-20 gadus nav veikta saimnieciskā darbība (30 objekti). Pētījumā kopā ierīkoti 221 parauglaukums, kuros uzņēmēti 14905 koki.

Pētījumā noskaidrots, ka koptās audzēs, salīdzinot ar nekoptām līdzīgā vecumā, vidējais caurmērs ir būtiski lielāks; tajās ir lielāks valdaudzes koku īpatsvars. Tajā pašā laikā augošu koku krāja koptajās audzēs 8-10 gadus pēc kopšanas cirtes ir mazāka nekā nekoptajās audzēs. Pēc kopšanas cirtes saglabāto koku caurmēra un krājas papildus pieaugums salīdzinājumā ar kontroles audžu augšanas gaitu ir ievērojami lielāks. Kumulatīvais caurmēra pieaugums ir atkarīgs no audzes vecuma kopšanas brīdī un kopšanas intensitātes, un tas ir no ap 5 mm 5 gadu laikā, ja kopšanas cirtes intensitāte ir 25-45% no krājas, līdz pat 8-17 mm, ja kopšanas ciršu intensitāte ir lielāka par 45% no krājas.

Bezriska apstākļos, atkarībā no meža apsaimniekošanas mērķa, esošās sākotnēji pārbiezinātās egļu audzes, būtu apsaimniekojamas, veicot to kopšanu, jo šādā veidā tiek palielināts gan iegūstamo resno zāģbaļķu īpatsvars, gan arī uzlaboti finanšu rādītāji. Tomēr jāreķinās, ka dažādu abiotisko un biotisko riska faktoru ietekmē gan koptās, gan nekoptās audzes var nākties nocirst sanitārajās cirtēs.

Ievads

Atbilstoši Meža statistiskās inventarizācijas datiem parastās egles audzes Latvijā aizņem vairāk nekā 604 tūkst. ha jeb 17,9% no kopējās mežu platības. Gandrīz puse no egles audzēm ir damaksnī un vērī (48,5 %). Savukārt šaurlapju ārenī un šaurlapju kūdrēnī vēl 25,7 % no visām egļu audzēm. Lai arī dabiskās attīstības gaitā egles audzes visbiežāk veidotu dažādvecuma struktūru [1], tomēr 20. gs. laikā, intensificējoties mežsaimniecībai, tās mērķu sasniegšanai sāka veidot vienvecuma tīraudzes. Atdarīnot dabā redzamo, kā arī, lai sasniegtu ātrāku kokaudžu vainagu saslēgšanos, meža atjaunošana tika veikta stādot 4000 un pat vairāk koku uz ha [2, 3]. Turklāt tika uzskatīts, ka skujkokus jaunaudžu kopšanas laikā nav nepieciešams izcirst. Savukārt krājas kopšanas cirtēs atbilstoši kopšanas ciršu noteikumiem [4] tika paredzēts izcirst divās reizēs 90 - 130 m³ha⁻¹, galvenās cirtes vecumā iegūstot 360 - 400 m³ha⁻¹). Iepriekšējās saimnieciskās darbības rezultātā Latvijā vairāk nekā 223,9 tūkst. ha lielā platībā ir izveidotas 30 – 60 gadus vecas relatīvi biezas vienvecuma egļu audzes. Uz šāda apsaimniekošanas modeļa trūkumiem norādīts jau agrākajos pētījumos [5], atbilstoši iesakot egļu skaitu 2-5 m augstumā samazināt 1500 līdz 2000 koku uz ha. Taču neatbildēts ir jautājums, kā racionāli apsaimniekot pārbiezinātās nu jau vidēja vecuma audzes. Šī pētījuma uzdevumi ir:

- i. noskaidrot 30–60 gadus vecu vienvecuma egļu mežu kokaudžu struktūru un tās izmaiņas mežsaimniecības pasākumu ietekmē, uz mērījumu pamata veikt starpcirtes ietekmes izvērtējumu uz kokaudžu attīstību;
- ii. definēt vienvecuma egļu mežu apsaimniekošanas alternatīvas un sagatavot to ekonomisko izvērtējumu.

Materiāli un metodes

Lai noskaidrotu 30 – 60 gadus vecu vienvecuma egļu mežu kokaudžu struktūru un tās izmaiņas mežsaimniecības pasākumu ietekmē un veiktu starpcirtes ietekmes uz kokaudžu attīstību izvērtējumu, ierīkoti objekti 30 - 60 gadus vecās vienvecuma egļu audzēs, kurās 2005.-2007. gadam veikta kopšana (60 objekti) un 30 - 60 gadus vecās vienvecuma egļu audzēs, kurās vismaz pēdējos 15 - 20 gadus nav veikta saimnieciskā darbība (30 objekti). Parauglaukumos, katrā objektā uzmērīti vismaz 80 I stāva koki. Pētījumā kopā ierīkoti 221 parauglaukums, kuros uzmērīti 14905 koki. Katrā objektā vismaz 15 valdošās sugas kokiem uzmērīti augstumi. Ar Preslera svārpstu katrā objektā iegūti vismaz 50 I stāva valdošās koku sugas (egles) koksnes paraugi koku radiālā pieaugumu noteikšanai. Lai novērtētu kopšanas cirtes intensitāti, katrā parauglaukumā, kurā veikta kopšana, divos 50 m² lielos aplveida uzskaites laukumos uzmērīti arī celmi.

Gadskārtu platuma noteikšanai izmantota iekārta LINTAB IV un datorprogramma TSAPWin Scientific. Katra objekta raksturošanai aprēķināti vispārējie taksācijas rādītāji – caurmērs **D**; augstums **H**, skaits - **N**, šķērslaukums - **G**, krāja - **V**, kā arī koku skaita un šķērslaukumu sadalījums pa caurmēra grupām. Sadalījums aproksimēts atbilstoši *Beta*, *Johnson SB*, normālajam, *Weibull 2*-parametru un *Weibull 3*-parametru sadalījumam.

Kopšanas ciršu ietekmes novērtējumam izmantota modificēta I. Liepas [6] izstrādāta metodika – aprēķinot koku stumbru caurmēra un tilpuma un pēc tam attiecīgi arī meža elementa krājas ikgadējo un kumulatīvo papildus pieaugumu.

Audzū augšanas gaitas (**D**, **H**, **G**, **V**, **N**) modelēšanai izmantoti citos projektos [7] izstrādātie vienādojumi. Sortimentu iznākuma aprēķinam izmantota R. Ozoliņa izstrādātie vienādojumi [8]. Mežsaimniecisko darbu, mežizstrādes izmaksas, kā arī sortimentu cenas ņemtas atbilstoši Centrālās Statistikas pārvaldes un AS LVM datiem.

Alternatīvu salīdzināšanai izmantoti sekojoši finanšu rādītāji – tirā tagadnes vērtība - **NPV**, iekšējā atmaksāšanās likme - **IRR**, sagaidāmā zemes vērtība - **LEV**, ekvivalentie ikgadējie ieņēmumi - **EAA**, kā arī iegūtās krājas apjoms un resnās lietkoksnes (vismaz 26 cm tievgalī) īpatsvars. Aprēķins veikts I bonitātes egļu tīraudzēm 2 pamatvariantos – bezriskā un ņemot vērā kombinēto risku (trupējušo koku īpatsvara un trupes skartā nogriežņa garumu (trupes augstuma); kā arī varbūtību, ka palielinoties dimensijām pēc kopšanas cirtes pieaug arī vējgāžu risks. Modelēts, ka atstājams bez kopšanas, vai veicamas 1 vai 2 kopšanas cirtes.

Rezultāti

Audzū 1. stāva egles D vidējās vērtības koptajās audzēs salīdzinājumā ar kontroles audzēm visās tipu grupās bija statistiski būtiski lielākas. Skat. tabula 1. Vidēji D koptajās audzēs ir par 3 cm lielāks nekā nekoptās audzēs.

Tabula 1. Vidējās taksācijas rādītāju vērtības starp koptajām un nekoptajām audzēm sadalījumā par meža tipu grupām un vecuma grupām

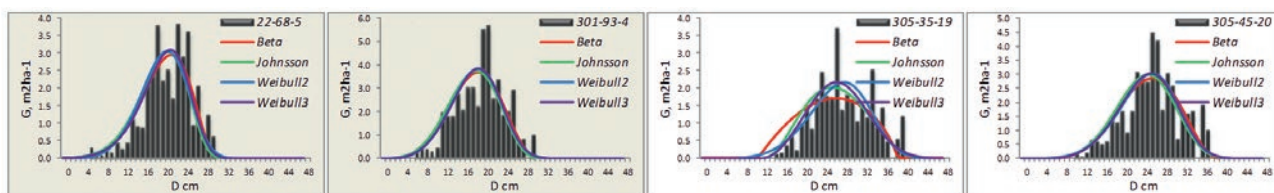
Meža tips	Vecuma grupa	Rādītājs	Nekoptas audzes				Koptas audzes			
			Bonitāte	D, cm	H, m	Objektu skaits	Bonitāte	D, cm	H, m	Objektu skaits
Dm; Vr	31-40	Aritm.vid.	0.72	14.4	16.5	2	-0.51	21.8	20.1	3
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	1.00	1.8	2.5		0.48	0.8	0.9	
	41-50	Aritm.vid.	0.01	19.2	21.4	4	0.49	20.3	20.1	12
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.84	0.8	1.4		0.46	1.1	1.5	
	51-60	Aritm.vid.	1.10	19.4	20.9	9	0.51	23.3	22.3	17
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.29	1.2	1.1		0.39	1.2	1.1	
Kopā	Aritm.vid.	0.76	18.7	20.4	15	0.41	22.0	21.3	32	
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.37	1.2	1.1		0.29	0.9	0.9	
Dms; Vrs	31-40	Aritm.vid.								
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)								
	41-50	Aritm.vid.					1.54	17.4	17.7	5
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)					0.95	2.8	3.2	
	51-60	Aritm.vid.	2.41	14.5	16.9	4	2.02	17.7	16.9	3
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.58	1.7	2.1		0.79	1.8	2.3	
Kopā	Aritm.vid.	2.41	14.5	16.9	4	1.72	17.5	17.4	8	
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.58	1.7	2.1		0.65	1.8	2.0	
As; Ap; Ks; Kp	31-40	Aritm.vid.					1.68	14.9	13.7	1
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)					0.00	0.0	0.0	
	41-50	Aritm.vid.	1.08	17.5	18.7	6	0.46	20.3	20.3	5
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.41	2.1	1.1		0.76	3.2	2.3	
	51-60	Aritm.vid.	0.75	19.6	21.5	5	1.11	21.5	20.8	14
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.58	1.6	2.0		0.45	1.7	1.2	
Kopā	Aritm.vid.	0.93	18.5	19.9	11	0.98	20.9	20.3	20	
		<i>Ticamības</i> ($\alpha=0.05$)	0.34	1.5	1.4		0.39	1.5	1.2	

Struktūra – sadalījums valdaudze, starpaudze (Pie valdaudzes pieskaitīti I, II, III Krafta klases koki).

Koptajās audzēs 1. stāvā vidēji bija 910 koki ha⁻¹ (min 500, max 1660), savukārt kontroles audzēs 1550 (min 870 max 2540 ha⁻¹). Tā rezultātā krāja nekoptās audzēs vidēji 446 m³ha⁻¹, bet koptajās audzēs tikai 334 m³ha⁻¹. Tiesa gan, nekoptajās audzēs no tā valdaudzē ir 375 m³ha⁻¹ (84%), bet koptajās audzēs 310 m³ha⁻¹ (93%).

Struktūra – sadalījums pa caurmēra pakāpēm

Salīdzinot koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm, starp dažādiem objektiem, tika konstatēts, ka koptajās audzēs koku sadalījums ir plašākā caurmēru diapazonā nekā nekoptās audzēs (tajā pašā laikā, nekoptajās audzēs arī šķērslaukumam ir vērojama kreisā asimetrija, t.i., lielāks šķērslaukuma īpatsvars ir mazākajiem kokaudzes kokiem, salīdzinājumā ar koptām audzēm, kurās sadalījums ir simetriskās. Skat. Zīmējums 1.

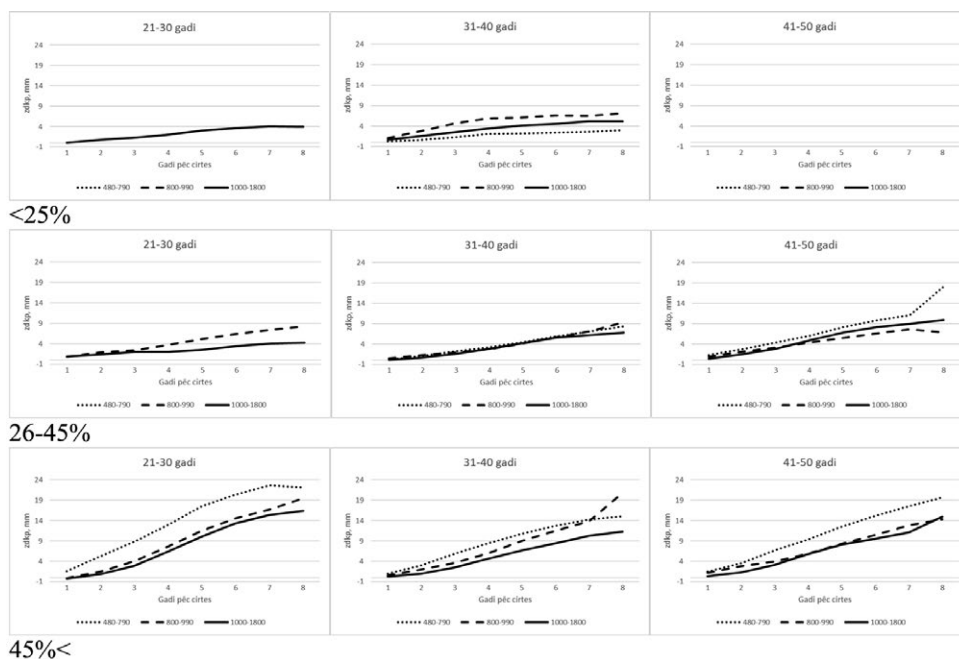


Zīmējums 1. Egļu šķērslaukuma sadalījums caurmēra grupās (1 cm) un aptušie sadalījumi. baltie – objekti, kuros veikta kopšanas cirte; ieēnoti – objekti, kuros nav veikta kopšanas cirte (kontroles objekti).

Vairumā gadījumu gan Weibul, gan Johnson sadalījumi labāk aptuļmēja reālo koku sadalījumu pa caurmēra pakāpēm, taču pietiekami laba aptuļmācija veidojās arī izmantojot normālo sadalījumu.

Papildus pieaugums

Salīdzinot saglabātas kokaudzes koku papildus pieaugumus ar kontroles koku pieaugumiem, konstatēts, ka, ja kopšanas cirtes intensitāte ir mazāka par 25%, kumulatīvais papildus caurmēra pieaugums ir tikai 2,2 - 6,1 mm (vidēji 3,9 mm) 5 gadu laikā. Savukārt, ja intensitāte 25 - 45% - kumulatīvais papildus caurmēra pieaugums ir 2,1-8,1 mm (vidēji 5,1 mm) 5 gadu laikā, bet lielākas intensitātes gadījumā – 6,7 - 17,1 mm (vidēji 10,5 mm) 5 gadu laikā. Atbilstoši līdzīga situācija ir veidojusies arī ar tilpuma papildus pieaugumiem.



Zīmējums 2. Egļu caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums atkarībā no kopšanas cirtes intensitātes, vecumgrupas kopšanas cirtes laikā un saglabāto koku skaita pēc kopšanas cirtes.

Augšanas gaita un ekonomika

Atbilstoši augšanas gaitas modeļiem un finanšu parametriem pie pašreizējiem normatīvi noteiktajiem meža apsaimniekošanas nosacījumiem (pieļaujamai kopšanas cirtes intensitātei un galvenās cirtes vecumam), “bezriskā” apstākļos ekonomiski izdevīgi ir veikt pārbiezinātu audžu kopšanu (tabula 2). NPV koptās audzēs ir lielāks, nekā nekoptās, arī IRR ir lielāks. Kopjot paredzams, ka kopumā tiek iegūts arī lielāks resno zāgbaļķu apjoms.

Tabula 2. Vidējās modelētie finanšu rādītāji koptajām un nekoptajām I bonitātes egļu audzēm

Alternatīva	NPV, Euro	EEA, Euro (3%)	IRR, %	LEV, Euro (3%)	Kopējā iegūstamā krāja (GC+KC) m ³ ha ⁻¹	t.sk. resnie zāgbaļķi (26<cm), m ³ ha ⁻¹
STĀDĪTS NEKOPTS	-361	-11.8	2.73%	-393	570	278
STĀDĪTS+PAPILD+NEKOPTS	-635	-20.7	2.53%	-691	570	247
STĀDĪTS KOPTS	1265	41.3	3.92%	1377	853	394
STĀDĪTS+PAPILD+KOPTS1	943	30.8	3.66%	1027	853	349
STĀDĪTS KOPTS2	1047	34.2	3.69%	1139	936	407
STĀDĪTS+PAPILD+KOPTS2	855	27.9	3.55%	931	956	359
STĀDĪTSKOPTS3	1035	33.8	3.69%	1126	930	406
STĀDĪTS+PAPILD+KOPTS3	798	26.1	3.53%	868	920	347

Secinājumi

1. Veicot augstas intensitātes (vairāk nekā 45% no krājas) kopšanas cirti 10 gadu laikā pēc kopšanas cirtes, novēloti koptas kokaudzes vēl nav atguvušas iepriekšējo augošās krājas līmeni, taču to vidējais caurmērs ir lielāks, tādēļ krāja veidojas uz saimnieciski vērtīgākiem kokiem.
2. Pārbiezinātās audzēs, relatīvi lielāks šķērslaukuma īpatsvars ir caurmēra pakāpēm, kuras ir mazākas par vidējo, kamēr kopto audžu koku sadalījuma pa caurmēra pakāpēm raksturošanai pietiekami labi var izmantot arī normālā sadalījuma aproksimāciju.
3. Caurmēra papildus pieaugums praktiski neveidojas, ja kopšanas cirtes intensitāte ir zemāka par 25%.
4. Kopjot sākotnēji pārbiezinātās egļu audzes, iespējams izveidot produktīvas mežaudzes. “Bezriskā apstākļos” kā iegūstamā resno sortimentu krāja, tā arī finanšu rādītāji ir lielāki nekā alternatīvā “nekopt”. Arī ņemot vērā alternatīvu, ka kokaudzi ir skārusi trupe un pēc kopšanas cirtes nepieciešams veikt sanitāro cirti, kopšana ir labāka alternatīva par alternatīvu “nekopt”.

Publikācijas

1. Zviedris A. 1960. Egļu un egļu mežs Latvijas PSR. Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas izdevniecība. Rīga. 240 lpp.
2. Bušs M., Mangalis I. (red.) 1971. Meža kultūras. Izdevniecība “Zvaigzne”, Rīga. 586 lpp.
3. Mangalis I., Cinišis O. 1987. Meža kvalitatīvas atjaunošanas agrotehnika un tehnoloģija: Apskats. – Rīga.: LATZTIZPI, 76.lpp.
4. Anon. 1985. Papildinātie norādījumi par kopšanas cirtēm Latvijas PSR mežos. Rīga. Latvijas PSR Mežsaimniecības un mežrūpniecības ministrija. 45 lpp.
5. Zālītis P., Jansons J. 2009. Mērķtiecīgi izveidoto kokaudžu struktūra. Salaspils. LVMI Silava. 80 lpp.
6. Liepa I. 1996. Pieauguma mācība. Jelgava. LLU. 123 lpp.
7. Donis J., Šņepts G., Zdors L. 2016. AUGŠANAS GAITAS MODEĻU PILNVEIDOŠANA. Pārskats. Silava. LVM.
8. Ozolins, R. 2002: Forest stand assortment structure analysis using mathematical modelling — Metsanduslikud Uurimused/Forestry Studies XXXVII: 33–42

ECONOMIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COMMERCIAL THINNING ON OVERSTOCKED NORWAY SPRUCE STAND STRUCTURE

Jānis Donis^{1*}, Guntars Šņepsts¹, Leonīds Zdors¹, Jurgis Jansons¹

¹ *Latvian State Forest Research Institute Silva, Salaspils, Latvia*

* *janis.donis@silava.lv*

As a result of the previous economic activity, in Latvia nowadays more than 223.9 thousand hectares 30-60-year-old even-aged initially overstocked Norway spruce stands of have been created. The tasks of this study are:

- i. to clarify the stand structure of the 30-60-year-old Norway spruce stands and its changes due to forestry measures, on the basis of measurements for the assessment of the impact of thinning on the development of stands;
- ii. to define alternatives for the management of even-aged 30-60-year-old initially overstocked spruce stands and prepare their economic assessment.

In the course of the project, sample plots were established in 30 - 60-year-old even-aged spruce (60 objects) which were thinned in 2005-2007 and 30 objects in stands in which no economic activity have been carried out for at least the last 15-20 years. The study set up 221 plots of 14905 trees.

In the study, it has been revealed that the average DBH is significantly higher in thinned stands, compared to un-thinned at a similar age. Thinned stands had a higher proportion of dominant trees. At the same time, the growing stock of growing trees in thinned stands 8-10 years after cutting is smaller than in the un-thinned stands. Cumulative DBH increment of trees retained after treatment felling is significantly higher compared to the growth rate of the control trees. The cumulative additional DBH increase depends on the stand age at the time of thinning and the thinning intensity and it varies between 5 mm in 5 years, if the thinning intensity is 25-45% of the stock, up to 8-17 mm, if the thinning intensity is greater than 45% of the stock.

In a risk-free environment, depending on the target of forest management, existing overstocked spruce stands would be manageable, as it increases both the proportion and volume of large sawlogs to be acquired and the improved financial performance. However, it should be considered that the various abiotic and biotic risk factors can affect both thinned and un-thinned stands, and therefore has to be felled in sanitary fellings.

BIEZUMA UN ĢENĒTIKAS IETEKME UZ EĢĻU STĀDĪJUMA PARAMETRIEM UN EKONOMISKO ATDEVI

IMPACT OF DENSITY AND GENETICS ON GROWTH AND PROFITABILITY OF NORWAY SPRUCE PLANTATION

Juris Katrevičs¹, Iveta Desaine¹, Baiba Džeriņa¹, Guntars Šņepsts¹,
Oskars Krišāns¹, Āris Jansons^{1*}

¹Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

¹Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

* aris.jansons@silava.lv

Parasto egli atjauno galvenokārt stādot selekcionētu reproduktīvo materiālu – no sēklu plantāciju sēklām izaudzētus stādus vai sēņus. Tiek attīstītas tehnoloģijas šīs koku sugas veģetatīvai pavairošanai rūpnieciskos apjomos, nodrošinot iespējami efektīvu selekcijas rezultātu pārnesi uz meža audzēšanu. Pētījuma ietvaros analizēta zema biežuma (stādīšanas attālums 5x5m) egles konu stādījumu augšana un tīrā tagadnes vērtība. Zema biežuma stādījumā koki sasniedz mērķa caurmēru (31 cm) 42±0.9 gados. Stādījuma taksācijas dati saskan ar kopējo augšanas tendenci zema biežuma egļu audzēs, kas iegūstama no Meža statistiskās inventarizācijas datiem, un tos var prognozēt, izmantojot LVMI Silava izstrādātos augšanas gaitas modeļus. Genotipam (klonam) ir statistiski būtiska ietekme uz koku pieaugumu (vidējo gadskārtu platumu), kā arī resnākā zara līdz divu m augstumam resnumu un vainaga sākuma augstumu. Koksnes blīvums atbilst tās izmantošanai būvmateriālu ražošanā. Tīrā tagadnes vērtība stādījumam, kas ierīkots ar tik zemu biežumu, līdzīga, kā stādījumam ar sākotnējo biežumu 1x3m, pārsniedz vidēji mežaudzēs konstatēto.

Ievads

Lielāko daļu egļu audžu atjauno stādot, turklāt šo koku sugu samērā plaši izmanto arī meža ieaudzēšanā. Ņemot vērā vēsturiski pieaugošo pieprasījumu pēc egles sēklu materiāla, tās selekcija uzsākta pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados, veicot ražīgu un kvalitatīvu audžu izvēli un augstvērtīgāko koku – t.s. pluskoku – atlasīti un šobrīd ražojošu sēklu plantāciju ierīkošanai izmantoti ap 400 pluskoki. Papildinot selekcijas darba izejas materiālu, pēdējās desmitgadēs izvēlēti vēl ap 1700 pluskoki un kvalitatīvi mežaudžu koki, kam ierīkotas pēcnācēju pārbaudes. Ņemot vērā eglei raksturīgos neregulāros sēklu ražas gadus ar būtiski atšķirīgo ražas apjomu, sēklu plantāciju sēklu īpatsvars stādu ražošanā ir tikai aptuveni puse no kopējā sēklu materiāla. Jauno sēklu plantāciju sēklu ražošana sākas relatīvi vēlu. Tādēļ, lai nodrošinātu iespējami augstu selekcijas efekta pārnesi uz meža audzēšanu, tiek veikti zinātniski un praktiski eksperimenti egles veģetatīvajā pavairošanā.

Meža īpašnieku interesi par investīcijām egles stādīšanā ietekmē ne tikai sagaidāmais pieaugums, bet arī šīs koku sugas audzēšanas riski. Latvijas teritorijai raksturīga klimata pārmaiņu iezīme ir dienu ar ļoti zemām (zem -20°C) temperatūrām skaita samazināšanās ziemas periodā, kas būs labvēlīga dažādā, t.sk. dendrofāgām kukaiņu sugām – gan jau esošām, gan tām, kas varētu savu areālu paplašināt. Tāpat monitoringa rezultāti Latvijā un informācija no Centrāleiropas valstīm liecina ka, palielinoties veģētācijas perioda garumam, atsevišķām dendrofāgo kukaiņu sugām būs iespējams attīstīt ne vairs vienu, bet divas paaudzes vienā gadā, tādējādi vēl vairāk apdraudot mežaudzes. Šis apdraudējums kombinēties ar paaugstinātu vēja bojājumu risku. Latvijā būtiskākās ir ārpustropisko ciklonu noteiktās vētru, kuru biežums nākotnē varētu palielināties, ietekmējot lielākas mežu platības, īpaši ņemot vērā, ka veģētācijas perioda garuma izmaiņu dēļ šīs vētras mūsu valsts teritoriju skars situācijā, kad augsne nav sasalusi un ir piesātināta ar ūdeni. Tādēļ būtiski vienlaikus veicināt kokaudžu ražību un palielināt to noturību pret minētajiem riska faktoriem.

Citās valstīs veiktos pētījumos konstatēts, ka koku radiālais pieaugums ir lielāks un to noturība augstāka audzēs, kuru biežums jaunaudzēs vecumā bijis zemāks [1-3]. Ņemot vērā šo sakarību, kā arī samazinātu koku savstarpējo konkurenci, zemāka biežuma stādījumos parasti ir augsta koku saglabāšanās [4], izņemot teritorijas ar augstu pārnadžu blīvumu – tāpat to radīto bojājumu varbūtību. Zema sākotnējā biežuma izvēles trūkumi ir mazāka audzes krāja un lēnāka dabiskā atzarošanās [5]. No ekonomiskā viedokļa šos trūkumus var kompensēt zemākas stādījumu ierīkošanas un agrotehniskās kopšanas izmaksas, kā arī saīsināts rotācijas perioda garums, izvēloties galveno cirti veikt pēc mērķa caurmēra [6-8]. Dažādu iemeslu, t.sk. meža stādīšanas mehanizācijas risinājumu, dēļ Eiropas valstīs dominējošā tendence ir samazināt

stādījumu sākotnējo biežumu un, kombinējot šādu atjaunošanu ar citiem pasākumiem (kā augšanas apstākļu uzlabošanu, selekcionēta materiāla izmantošanu), paaugstināt finansiālo ieguvumu [9]. Tomēr ir maz informācijas par egļu audžu ar zemu sākotnējo biežumu parametriem cirtmeta vecumā [3, 10, 11]. Šāda informācija nodrošinātu iespējas pārbaudīt augšanas gaitas modeļu spēju prognozēt tādu audžu parametrus, un līdz ar to izstrādāt rekomendācijas optimālam audzes sākotnējam biežumam dažādos meža tipos.

Materiāli un metodes

Aprakstītā stādījuma dati ievākti egļu sēkļu plantācijā, kurā tās augšanas laikā nav notikusi koku vainaga veidošana. Līdzīgi dati pētījuma ietvaros ievākti vairākās (5) plantācijās, kā arī 6 stādījumos ar zemu biežumu, kas šeit nav analizēti atsevišķi. Tāpat salīdzināšanai izmantoti dati no Meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumiem ar zemu biežumu, bet nezināmu audzes vēsturi (t.i. nav zināms, cik ilgi audzes biežums jau ir tik mazs).

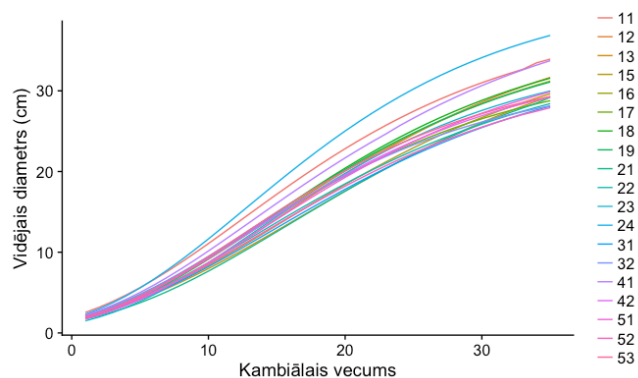
Iegūtie dati aizmantoti koku un audzes parametru aprēķināšanā. Papildus 2 sēkļu plantācijās no 200 kokiem ievākti pieaugumu urbumi, veikta to gadskārtu platuma un koksnes blīvuma uzmērīšana. Izmantojot šos datus, katram kokam aprēķināts diametrs katrā konkrētajā kambiālajā vecumā, kā arī Gompertz augšanas modeļa parametri. Izmantojot šos datus, novērtēta ģenētikas (klona) ietekme uz pieaugumu un koksnes blīvumu.

Tīrās tagadnes vērtības aprēķinam, ar J. Doņa modificētu R. Ozoliņa modeli noteikti koku sadalījumi sortimentos pēc to tievgaļa caurmēra (5 grupas, minimālais caurmērs 28, 18, 14, 10, 6 cm) un lietoti Centrālā statistikas biroja dati par pakalpojumu, kā arī sortimentu cenām.

Rezultāti

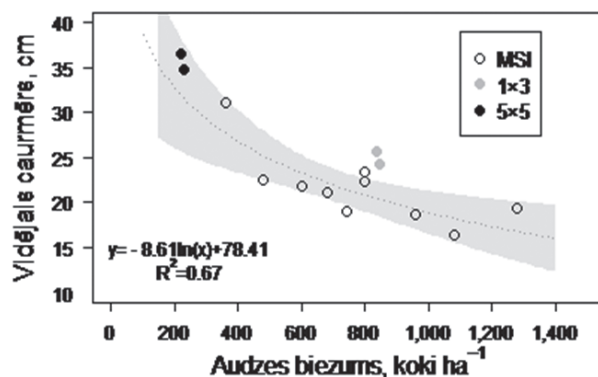
Stādījumos konstatētas statistiski būtiskas koku saglabāšanās atšķirības: 50 gadu vecumu zemāka biežuma stādījumā sasnieguši 70% koku, augstāka – 30%. Konstatētas būtiskas atšķirības briežu dzimtas dzīvnieku izraisīto mizas bojājumu sastopamībā – tādu ir mazāk zemāka biežuma stādījumā. Šādiem bojājumiem var būt paliekoša negatīva ietekme uz koksnes kvalitāti, caur tiem iekļūstošo sēņu dēļ [12], lai gan nav konstatēta būtiska negatīva ietekme uz koku augstumu vai caurmēru. Šīs atšķirības nav ņemtas vērā tīrās tagadnes vērtības aprēķinā. Iespējams, ka šobrīd konstatējamie bojājumi augstāka biežuma stādījumos ir vairāk, jo tajos ilgstošāks periods, kurā koki piemēroti barības ieguvei, kā arī tie mazāk zaraini. Salīdzinot koku zarojumu, konstatētas nelielas, bet statistiski būtiskas atšķirības resnākā zara līdz 2 m augstumam diametrā, tomēr lielākai daļai klonu tas nebūtu par pamatu augstākās šķiras egles zāģbaļķu ieguvei. Pirmais sausais zars abu biežumu stādījumos konstatēts līdzīgā augstumā (ap 0,5 m), vainaga sākums – nozīmīgi atšķirīgā (zema biežuma stādījumā 6.3 m, augstāka – 10.2m), līdz sauso zaru zona īsāka zemāka biežuma stādījumā.

Stādījumā ar sākotnējo biežumu 5x5m konstatēts statistiski būtiski augstāks koku caurmērs, 50 gadu vecumā sasniedzot 36,5cm, kamēr biežākajā 24,3cm. Tendence līdzīga kā pētījumos citās valstīs, kur ietverti stādījumi ar biežumu 2x2 m līdz 4x5 m un kas analizēti 24-33 gadu vecumā, konstatētā [13,14]. Izmantojot pieaugumu urbumu datus, konstatēts, ka zema biežuma stādījumā koki sasnieguši mērķa caurmēru 31 cm vidēji 42±0.9 gados. Caurmēra pieaugumā konstatējamas nozīmīgas atšķirības starp kloniem (Zīm. 1).



Zīmējums 1. Modelētie caurmēri egļu kloniem (katra līnija apzīmē vidējo vērtību konkrētā klona visiem rametiem).

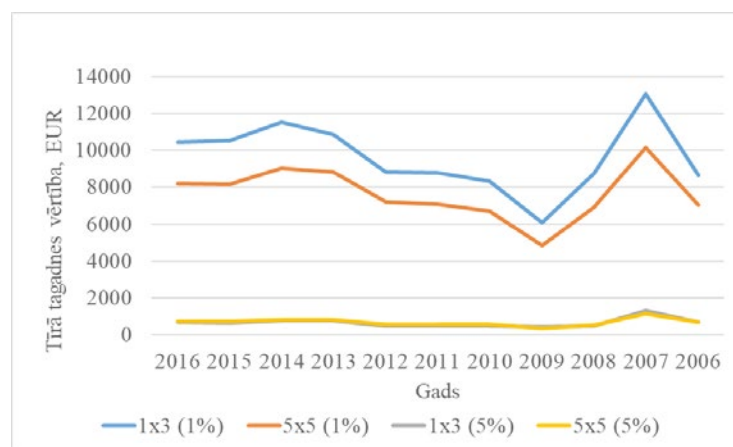
Citās zema biežuma audzēs, kā arī meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumos konstatētā saikne ($r=-0.74$) starp audzes biežumu un koku caurmēru ir atbilstoša (sakrīt ar) konkrētajā zema biežuma stādījumā konstatētā ticamības intervāla robežās (Zīm. 2). Izmantojot šo informāciju, kā arī veicot pārbaudes secināms, ka LVMI Silava izstrādātos augšanas gaitas modeļus var izmantot, prognozēt arī audžu ar ļoti zemu biežumu augšanas gaitu.



Zīmējums 2. Egles caurmērs 50 gadu vecumā atkarībā no audzes biežuma (MSI – meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu dati un citu zema biežuma audžu mērījumi).

Audzis šķērslaukums zema biežuma stādījumā nozīmīgi mazāk, nekā augstāka biežuma (attiecīgi 27 un 42 m²ha⁻¹), kas nosaka būtiskās krājas atšķirības. Tomēr kopumā parauglaukumos audzēs ar zemu biežumu (360 līdz 1280 koki ha⁻¹) nav konstatēta izteikta saikne starp to un krāju uz ha.

Abu biežumu stādījumu (Zīm. 3), kā arī mežaudžu tīrās tagadnes vērtības nozīmīgi (atšķirības starp augstāko un zemāko vērtību sasniedz pat 2 reizes) ietekmēja sortimentu cenu izmaiņas. Tā uzskatāma par papildus zema biežuma stādījuma priekšrocību – īpašnieks atkarībā no tirgus situācijas var nogaidīt ar galvenās cirtes veikšanu 5-10 gadus, neriskējot, ka koku savstarpējās konkurences izraisītais saglabāšanās samazināšanās dēļ būtiski kritīsies audzē iegūstamo sortimentu vērtība. Paaugstinot procentu likmi, kas piemērota ieguldījumiem meža atjaunošanā un agrotehniskajā kopšanā, tīrās tagadnes vērtības starpība starp dažāda biežuma stādījumiem (un mežaudzēm) mazinās, pie 5% likmes sasniedzot vienādas vērtības abu biežumu stādījumiem.



Zīmējums 3. Tīrā tagadnes vērtība dažāda sākotnējā biežuma (1x3m un 5x5m) egļu stādījumos, aprēķinos izmantojot atšķirīgu (1% un 5%) procentu likmi un konkrēta gada vidējās sortimentu cenas.

Tātad ieguldījumiem ar augstāku procentu likmi meža īpašnieki ieinteresēti izvēlēties noteiktu stādījuma biežumu būs atkarīga no citiem faktoriem. Viens no tādiem ir samazināts audzes bojājumu risks vētru ietekmē. Cits īsāks rotācijas periods – t.i. iespējas iestādīto audzi nocirst pašam, izmantojot, piemēram, kā pensijas fondu. Tomēr jāņem vērā, ka ieguvumi no zema biežuma stādījuma ierīkošanas sasniedzami tika tad, ja tiek nodrošināta augsta koku saglabāšanās [7, 8].

Secinājumi

Ļoti zema sākotnējā biežuma (400 koki ha⁻¹) egļu stādījumā koku caurmērs un līdz ar to arī augstvērtīgāko sortimentu īpatsvars bija nozīmīgi lielāks nekā zemāka biežuma (3300 koki ha⁻¹) stādījumā un mežaudzēs vidēji. To bija iespējams prognozēt ar vienādojumu, kas izveidots, izmantojot Meža statistiskās inventarizācijas datus. Lai gan kopējā krāja tik zema biežuma stādījumā bija ievērojami (par 34%) zemāka nekā biežākā, tomēr tā tīrā tagadnes vērtība bija līdzīga kā augstāka biežuma, ieguldījumiem meža atjaunošanā un agrotehniskajā kopšanā pielietojot līdz 5% likmi. Ģenētiskai (klonam) bija statistiski būtiska ietekme uz radiālo pieaugumu. Rekomendējams samazināt šobrīd noteikto stādīšanas biežumu, optimālo tā vērtību aprēķinot, izmantojot izstrādātos augšanas gaitas modeļus un ņemot vērā meža audzēšanas riskus.

Rezultatīvie indikatori

- I. Katrevičs, J., Džeriņa, B., Neimane U., Desaine I., Bigača Z., Jansons Ā. (2018) Production and profitability of low density Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) plantation at 50 years of age: case study from eastern Latvia. *Agronomy Research* 16, <https://doi.org/10.15159/AR.18.014>
- II. Zeltniņš P., Katrevičs J., Gailis A., Maaten T., Jansons J., Jansons Ā. (2016) Stem cracks of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances in Western Latvia. *Forestry Studies*, 65, 57–63.
- III. Desaine I., Bādērs E., Katrevičs J., Smilga J., Jansons J. (2018) Characteristic of browsing damages in Norway spruce stands (submitted)
- IV. Ruņģis D., Korica A., Jansons Ā., Libiete Z., Veinberga I. (2018) Genetic diversity and differentiation of even-aged Norway spruce stands in Latvia (submitted)
- V. VPP ietvaros zinātniskajā grupā izstrādāti 2 bakalaura un 2 maģistra darbi.
- VI. VPP ietvaros zinātniskajā grupā izstrādātie un vadītie promocijas darbi: Endijs Bādērs „Sasalstoša lietus un vēja kā dabisko traucējumu ietekme skujkoku audzēs hemiboreālajos mežos Latvijā”, aizstāvēts 2016., vadītājs Ā. Jansons, konsultants J. Donis. Tiek izstrādāts promocijas darbs: Juris Katrevičs “Parastās egles (*Picea abies* (L.) Karst.) augšanas raksturojums zema biežuma stādījumos”, vadītājs Ā. Jansons

Publikācijas

1. Gardiner B.A., Quine C.P. Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – a review with particular reference to the effect of strong winds. *Forest Ecology and Management*, 2000, 135, 261–277.
2. McClain K.M., Morris D.M., Hills S.C., Buss L.J. The effect of initial spacing on growth and crown development for planted northern conifers. *Forestry Chronicle* 1994, 70, 174–182.
3. Hébert F., Krause C., Plourde P.Y., Achim A., Prigent G. & Ménétrier J. Effect of trees spacing on tree level volume growth, morphology, and wood properties in a 25–years–old *Pinus banksiana* plantation in the boreal forest of Quebec. *Forests* 7, 2016, id 276, doi:10.3390/f7110276.
4. Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Granander M. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree–pulling experiment in Finland. *Forest Ecology and Management*, 2000, 135, 143–153.
5. Mäkinen H., Hein S. Effect of wide spacing on increment and branch properties of young Norway spruce. *European Journal of Forest Research*, 2000, 125, 239–248.
6. Willcocks A.J., Bell F.W. Effect of stand density on the growth and timing of harvest and establishment costs of coniferous stands. *Ont. Min.Nat. Resour.*, 1994, South Porcupine, ON. 12 p.
7. Zhang S.Y., Chauret G., Ren H.Q., Desjardins R. Impact of initial spacing on plantation black spruce lumber grade yield bending properties, and MSR yield. *Wood Fiber Science* 2002, 34(3), 460–475.
8. Hynynen J., Niemistö P., Viherä–Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* 2010, 83(1), doi: 10.1093/forestry/cpp035.
9. Gizachew B., Brunner A., Øyen, B.H. Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2012, 27, 637–648.
10. Hein S., Mäkinen H., Yue C., Kohnle U. Modelling branch characteristics of Norway spruce from wide spacings in Germany. *Forest Ecology and Management*, 2007, 242, 155–164.
11. Gil W. The influence of initial spacing on growth and survival of Scots pine in 40 years period of cultivation in varied habitat conditions. *Forest Research Papers* 2014, 75(2), 117–125.
12. Burneviča N., Jansons Ā., Zaļuma A., Kļaviņa D., Jansons J. and Gaitnieks T. Fungi Inhabiting Bark Stripping Wounds Made by Large Game on Stems of *Picea abies* (L.) Karst. in Latvia. *Baltic Forestry* 2016, 22(1): 2-7.
13. Deans J.D., Milne R. Effects of respacing on young Sitka spruce crops. *Forestry* 1999, 72(1), 47–57.
14. Pfister O., Wallentin C., Nilsson U., Ekö P.M. Effects of wide spacing and thinning strategies on wood quality in Norway spruce (*Picea abies*) stands in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2007, 22, 333–343.

IMPACT OF DENSITY AND GENETICS ON GROWTH AND PROFITABILITY OF NORWAY SPRUCE PLANTATION

Juris Katrevičs¹, Iveta Desaine¹, Baiba Džeriņa¹, Guntars Šņepsts¹,
Oskars Krišāns¹, Āris Jansons¹

¹Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

*aris.jansons@silava.lv

Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is one of the most important commercial tree species, that is primarily regenerated by planting. Its increment, at least partly, is genetically determined; hence could be significantly improved by application of selected plant material (mainly – progenies of seed orchard). Full transfer of breeding effect via vegetative propagation is financially viable for Norway spruce and currently under way. The financial efficiency of breeding is high; however, it is notably dependent from use of scale of application.

Forest owner's choice of reproductive material depends not only on potential growth, but also potential risks. Spruces, affected by abiotic factors, like wind storms or drought, are more prone to damages by biotic factors, particularly – dendrophagous insects. Changes of climatic conditions are expected to increase the probability of occurrence of such damages. Thus, silvicultural treatments, aiming at reduction of this negative impacts, are of great importance. Previous studies have reported larger radial increment and higher resistance against different negative factors, e.g. windstorms, root-rot, and dendrophagous insects, in stands and plantations with lower density at young age. Nevertheless, little is known about tree and stand parameters at the larger age in stands of extremely low density. The aim of our study was to assess growth and economic profitability of 50-years-old low-density Norway spruce plantation in Latvia.

Allometric parameters for all trees in a Norway spruce clonal plantation planted in 1964 with two spacings (1×3 m and 5×5 m) were measured. Additionally, data on tree dimensions of trees growing in similar conditions from several other experiments and national forest inventory sample plots (forest types on fertile mineral soils, most often used for planting of Norway spruce) were collected. Forest inventory parameters and net present value were calculated.

Wider (5×5 m) spacing ensured significantly larger tree diameter compared to higher density trial or plantations. Based on the equations developed based on National forest inventory data and other low-density plantations, it was possible to predict the parameters of the analysed plantation, indicating that the models could be used (and recommended) for assessment of the optimal initial spacing at different growing conditions.

The target diameter of 31 cm was reached at the age of 42±0.9 years on average, but it was significantly affected by the genotype (clone). Accordingly, there is a significant potential to reduce length of rotation period and, consequently, the financial risks due to 1) lower probability of a significant damage (i.e. wind storm) affecting the stand during the period; 2) lower potential impact of the damages – no commercial thinning shall be planned, thus trees are wind-firm during all growth cycle, and, if damage occurs, it is more likely, that the damaged trees will be large enough to make at least partial return of investments. Also reduced spread of root rot due to fewer root contacts and infection risk (no stumps from commercial thinning) would have a positive effect on tree wind resistance.

Genotype (clone) had a statistically significant effect on the stem quality of trees – diameter of the thickest branch in first 2 m of stem and height of the green crown. Wood density, analysed from the increment cores by tree-rings, in all cases was sufficient for requirements of saw-logs (productions of saw-timber for construction). The net present value (considering 3% interest rate) did not significantly differ between 5×5 m and 1×3 m spacings, and was higher than that in average Norway spruce stand (based on data from national inventory).

Results indicate considerable potential to use plantations with lower density and improved forest reproductive material to reduce risk of damages, thus increasing forest owner's interest to invest in such plantations.

ĢENĒTISKIE FAKTORI VIENVECUMA EGLŪ AUDZĒS

GENETIC DIVERSITY AND DIFFERENTIATION OF EVEN AGED SPRUCE STANDS IN LATVIA

Ilze Veinberga¹, Anita Gaile¹, Dainis Edgars Ruņģis^{1*}

¹Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

¹Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

*dainis.rungis@silava.lv

Analizēti galvenie ģenētiskie faktori, kuri varētu ietekmēt vienvecuma egļu audžu vitalitāti. Ar mitohondriālo marķieri nad1 b/c pārbaudīta hipotēze par ievesta reprodutīvā materiāla izmantošanu egļu audžu atjaunošanā un noskaidrots, ka vienvecuma egļu audzēs nav izmantots ievestais reprodutīvais materiāls. Dabīgajās egļu audzēs atrasti 7,8 % Austrumkarpatu refūģijas izcelsmes indivīdu, tikpat arī vienvecuma audzēs.

Ģenētiskā daudzveidība dažādas vitalitātes vienvecuma egļu audzēs analizēta ar 14 kodola DNS mikrosatelītu marķieriem. Ģenētiskā daudzveidība brūkošajās un perspektīvajās vienvecuma egļu audzēs neatšķiras. Novērotā heterozigotāte (Ho) tajās vienāda - 0,55. Nav konstatētas arī nozīmīgas Šenona daudzveidības indeksa (I) vērtību atšķirības (attieciģi brūkošajām audzēm I = 1,57; perspektīvajām I = 1,62). Molekulārās variācijas analīze (AMOVA) uzrādīja lielāku variāciju audzes iekšienē (starp indivīdiem audzēs), un tikai 3% variācija tika atrasta starp audzēm (p<0,001). Veikta principiālo koordinātu analīze, pamatojoties uz GenALEX programmatūrā atrastajām ģenētisko distanču vērtībām un noskaidrots, ka variācija sarp analizējamām audzēm nav saistīta ar to dažādo vitalitāti, bet gan ar to reģionālo izvietojumu. Atrasts, ka egļu sēkļu plantāciju reprodutīvā materiāla izmantošana vienvecuma egļu audžu atjaunošanā nodrošinās augstāku to ģenētisko daudzveidību (Šenona daudzveidības indekss 1,78 - 1,86) un ka ģenētiskā daudzveidība egļu sēkļu plantāciju reprodutīvajā materiālā nav atkarīga no sēkļu ražas ievākšanas gada.

Svarīgākie ģenētiski nosacītie faktori, kuri varētu tikt saistīti ar augšanas potenciālu parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst.) audzēs, to ģenētiskā daudzveidība un izcelsme. Augsta ģenētiskā daudzveidība nodrošina populācijas vitalitāti, bet populāciju izcelsmes izpēte ļauj identificēt iespējami introducēto stādmateriālu.

Tika izvirzīta hipotēze – varbūt sabrūkošās viena vecuma egļu audzēs kā reprodutīvais materiāls ir izmantots materiāls no dienvīdu reģiona (Karpatiem). No visām koku sugām, egles Latvijā ir visjutīgākās pret vēju. 1967. un 1969. gada vējgāzēs tūkstošiem hektāru platībā tieši egļu audzes tika nopostītas visvairāk [3, 2]. To atjaunošanai nepietika ar vietējo stādu materiālu un, pēc meža darbinieku ziņām, tika ievests reprodutīvais materiāls arī no citiem reģioniem. Latvijas parastās egles izcelsmes pētījumam un iegūto datu salīdzinājumam ar brūkošo un perspektīvo audžu izcelsmi, jāizvēlas tādas egļu audzes, kurās vismaz pēdējos 100 gados nav veikta saimnieciskā darbība. Kā etalonaudzes izvēlējamies - rietumos Moricsalas rezervātu, kas dibināts 1912. gadā, un austrumu reģionā Rēzeknes ģenētisko resursu audzes indivīdu, kuru vecums pārsniedz 100 gadus, koku, kā arī tajā dabīgās atjaunošanās rezultātā esošos dažāda vecuma egļu kokus.

Latvijas egļu izcelsmes noskaidrošanai, izmantojam mitohondriālās DNS marķierus, jo tā skuju kokos tiek pārmantota pa mātes līniju (t.i. caur sēklām) un sēkļu kustības attālumi pretēji putekšņiem ir ierobežoti [24]. Mitohondriālā genoma DNS nav pakļauta rekombinācijas procesiem, un šī īpašība ļauj tai saglabāt ģenētisko struktūru rekolonizācijas ceļā pārvietojoties no refūģijām, neskatoties uz daudziem un dažādiem vides izmaiņu faktoriem [6, 5, 7, 11].

Otrs ģenētiski nosacītais faktors, kurš varētu ietekmēt egļu audžu vitalitāti, ir to ģenētiskā daudzveidība. Ģenētiskā daudzveidība vienas sugas ietvaros nepieciešama katrai sugai, lai tā saglabātu spēju vairoties, izturību pret slimībām un spēju pielāgoties mainīgiem vides apstākļiem. Visbiežāk ģenētiskās daudzveidības analīzei izmanto mikrosatelītu (SSR) analīzi. Ģenētiskās analīzes rezultātā tiek noskaidroti sekojoši ģenētisko daudzveidību raksturojošie parametri [16]:

1. Kopējais alēļu skaits katrā populācijā (Na).
2. Alēļu ar īpatsvaru $\geq 5\%$ skaits (Na fr $>5\%$), jo gēns tiek definēts kā polimorfs tikai tad, ja tam piederošās alēles frekvence ir zemāka par 95% [4].
3. Efektīvo alēļu skaits (Ne). Efektīvo alēļu skaits uzrāda vienmērīgu frekvenču sadalījumu, kas spēj uzturēt doto heterozigotāti [9].

4. Šenona daudzveidības indekss (I).
5. Unikālo alēļu skaits (Nu). Reti pārstāvētās alēles nav nozīmīgas mežaudzes ģenētiskās stabilitātes nodrošināšanā [10], bet gan sugas izdzīvošanas stratēģijā. Tās saglabā ģenētisko resursu mežaudzēs, uztur selekciju populācijā.
6. Novērotā heterozigotāte (He). Nosaka heterozigotiskos lokusus esošo alēļu proporciju populācijā, tās ir nozīmīgas populācijas daudzveidības ilglaicīgai uzturēšanai.
7. Sagaidāmā heterozigotāte (He), kādai tai būtu jābūt aprēķinātai ar Hardija-Veinberga vienādojumu pēc Mendēļa likumiem.

Analizējamās egļu audzes ar dažādu vitalitāti ir stādītas pagājušā gadsimta 70-jos gados ar neselekcionētu reproduktīvo materiālu. Saskaņā ar "Saimnieciski nozīmīgo koku sugu (parastā priede, parastā egle, kārpainais bērzs) un apsēs selekcijas darba programma a/s „Latvijas valsts meži” 30 gadiem” [12], paredzēts, ka turpmāk vienvecuma egļu audžu atjaunošanai tiks izmantots tikai selekcionēts reproduktīvais materiāls no egļu sēkļu plantācijām, nepieciešams noskaidrot vai egļu sēkļu plantāciju reproduktīvā materiāla izmantošana neatstās ietekmi uz atjaunoto egļu audžu ģenētisko daudzveidību. Ņemot vērā eglei raksturīgos neregulāros sēkļu ražas gadus ar būtiski atšķirīgu ražas apjomu un sēkļu ģenētisko kvalitāti, kuru ietekmē vides apstākļi plaukšanas laikā, jāpārbauda arī dažādos Latvijas reģionos esošu dažādos gados iegūtu egļu sēkļu partiju pēcnācēju ģenētiskā daudzveidība.

Materiāli un metodes

Latvijas parastās egles dabīgo audžu izcelsmes noteikšanas analīzei nepieciešamais materiāls DNS izdalīšanai ievākts no pēc nejaušības principa izvēlētiem kokiem Moricsalas rezervātā (47 indivīdi) un simtgadīgiem un dažāda vecuma kokiem Rēzeknes ģenētisko resursu audzē (167 indivīdi). Salīdzināšanai ievākts materiāls no divām vienvecuma austrumu reģiona egļu audzēm - Daukstes (49 indivīdi) un Viļānu (22 indivīdi), kā arī no divām Latvijas centrālā reģiona audzēm - Ropažu (111 indivīdi) un Plakanciema (99 indivīdi).

Nepieciešamais materiāls ģenētiskās daudzveidības noteikšanai ievākts trijās audzēs, kas pēc 2016. gada mērījumiem atzītas par perspektīvām audzēm, no pēc nejaušības principa izvēlētiem kokiem - Kurzemes reģiona audzes 705-43-3 (31 indivīds), centrālā reģiona 604-377-3 (24 indivīdi) un 611-53-16 (31 indivīds). Ievākts arī materiāls no egļu audzēm, kuras atzītas par brūkošām - Kurzemes reģiona audze 711-388-16 (35 indivīdi) un centrālā reģiona audze 604-290-1 (25 indivīdi), 610-236-8 (21 indivīds) un 610-256-8 (15 indivīdi). Ģenētiskās daudzveidības noteikšanai dažādu ziedēšanas gadu sēkļu partijām DNS izdalīšanai tika ievākts materiāls no rietumu reģiona (Valgums) sēkļu plantācijas pēcnācēju pārbaudēm, kuras tika ierīkotas no 1992. un 1998. gadu sēkļu partijām, kā arī no austrumu reģiona (Tadaine) sēkļu plantācijas pēcnācēju pārbaudēm, kuras tika ierīkotas no 2000. un 2006. gada sēkļu partijām. Valguma sēkļu plantācija satur 20 klonus un Tadaines sēkļu plantācija satur 51 klonu. DNS izdalīts no egļu skujām ar modificētu CTAB metodi [1]. Atsevišķos gadījumos, kad skuju ieguve egļu augstuma dēļ bija apgrūtināta, DNS tika izdalīta no koksnes [1]. Ekstrakcijas buferim tika pievienots polivinilpirolidons un beta-merkaptotetanolis, saskaņā ar [15].

Izcelsmes noteikšanai tika izmantots nad1b/c mitohondriālais marķieris [22, 21]. Ģenētiskās daudzveidības noteikšanai izmantoti četrpadsmit mikrosatelītu marķieri: EATC2B02, EATC1E03, EATC2G05, EATC2D02 [20], C2C08 [19], SPAC1F7, SpAGC1, SpAGC2, SpAGG3 [14], UAPgTG25, UAPgTG25, UAPgAG150, UAPgAG150 [8] un WS0073cG10 [17].

Ģenētisko daudzveidību raksturojošie rādītāji (heterozigotāte, alēļu skaits u.c.) un tos raksturojošā statistika aprēķināta ar programmu GenAlEx v. 6.41 [13].

Rezultāti

Egļu audžu atjaunošanā izmantotā reproduktīvā materiāla izcelsme

Latvijas dabīgo audžu un 70 gados stādīto brūkošo vienvecuma audžu egļu izcelsmes noskaidrošanai tika izmantots mitohondriālais marķieris Nad1b+Nad1c. Izmantojot šo mtDNS marķieri analizējamo egļu paraugos amplificējās divas alēles (2146 bp un 2217 bp garumā). 2146 alēle atbilst ziemeļu izcelsmei, bet 2217 alēle - dienvidu izcelsmei. Moricsalas un Rēzeknes ģenētisko resursu dabīgajās egļu audzēs atrastas galvenokārt ziemeļu alēles. No 217 indivīdiem dienvidu alēle tika amplificēta tikai 17 indivīdiem (7,8 %). Tas apstiprina arī jau agrāk atrasto, ka Baltijas reģions atrodas egļu dažādu rekolonizācijas ceļu sakarsmes zonā [23, 24]. Lai pārbaudītu hipotēzi – vai sabrūkošās viena vecuma egļu audzēs kā reproduktīvais materiāls izmantots dienvidu reģiona (Karpatu) materiāls, tika izanalizētas pagājušā gadsimta 70-jos gados

pēc lielajām vētrām stādītās egļu audzes dažādos Latvijas reģionos, izanalizēts 281 indivīds, no kuriem tikai 18 bija dienvidu izcelsmes (7,2%). Iegūtie rezultāti izslēdz iespēju, ka vienvecuma egļu audžu atjaunošanā būtu ieviests reproduktīvais materiāls no Karpatiem.

Vienvecuma egļu audžu ar dažādu vitalitāti ģenētiskā daudzveidība

Ar 14 mikrosatelītu kodola DNS marķieriem izanalizēta ģenētiskā daudzveidība trijās pēc 2016. gada mērījumiem par perspektīvām un četrās par brūkošām atzītās vienvecuma egļu audzēs. Pamatojoties uz atrastajām alēlēm programmā GenALEx v.6.41 aprēķinātas ģenētiskās daudzveidības rādītāju vidējās vērtības dažādas vitalitātes egļu audzēs, analizē iekļautas arī dabīgās Latvijas egļu audzes (tabula 1.).

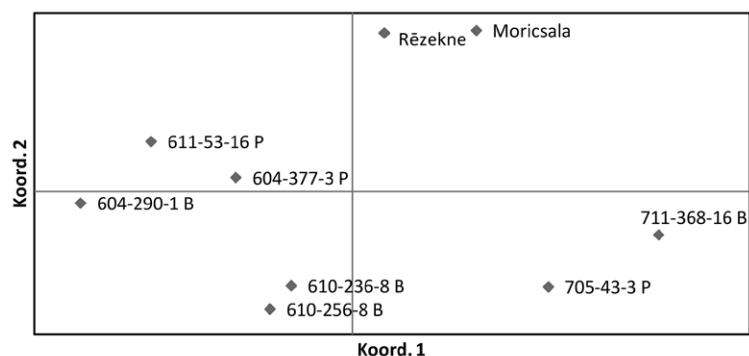
Tabula 1. Dažādas vitalitātes un dabīgo egļu audžu ģenētiskās daudzveidības rādītāju vidējās vērtības

		Na	Na fr >= 5%	Ne	I	Nu	He	Ho
Perspektīvās audzes	705-43-3	9,857	5,286	5,185	1,729	0,286	0,719	0,559
	(SE)	1,148	0,615	0,885	0,159	0,163	0,044	0,053
	611-53-16	8,786	4,500	4,218	1,511	0,143	0,645	0,517
	(SE)	1,017	0,635	0,782	0,167	0,097	0,058	0,067
	604-377-3	8,929	4,929	4,419	1,617	0,143	0,689	0,564
	(SE)	0,822	0,579	0,707	0,137	0,097	0,044	0,054
	Vid.	9,191	4,905	4,607	1,619	0,191	0,684	0,547
	(SE)	0,581	0,394	0,510	0,109	0,083	0,037	0,026
Brūkošās audzes	711-368-16	10,000	4,786	4,710	1,704	0,357	0,720	0,595
	(SE)	1,144	0,482	0,684	0,147	0,169	0,039	0,054
	610-236-8	7,714	4,286	3,775	1,481	0,000	0,661	0,497
	(SE)	0,848	0,474	0,509	0,141	0,000	0,047	0,069
	604-290-1	8,571	4,500	4,323	1,526	0,214	0,649	0,563
	(SE)	0,875	0,653	0,795	0,162	0,114	0,058	0,058
	610-256-8	7,786	4,714	4,438	1,557	0,214	0,684	0,539
	(SE)	0,967	0,474	0,745	0,155	0,114	0,049	0,052
	Vid.	8,518	4,572	4,312	1,567	0,196	0,679	0,549
	(SE)	1,062	0,226	0,393	0,097	0,147	0,031	0,041
Dabīgās audzes	Rēzekne	11,000	5,071	5,027	1,693	0,500	0,693	0,501
	(SE)	1,351	0,549	0,82	0,180	0,203	0,060	0,063
	Moricsala	10,929	5,286	5,404	1,772	0,571	0,730	0,540
	(SE)	1,282	0,588	0,895	0,154	0,202	0,045	0,069
	Vid.	10,965	5,179	5,216	1,733	0,536	0,712	0,521
	(SE)	0,050	0,152	0,267	0,056	0,050	0,026	0,028

Na - kopējais alēļu skaits; Na fr>5% - alēļu skaits, kuru frekvence ir lielāka par 5%; Ne - efektīvo alēļu skaits; I - Šenona daudzveidības indekss; Nu - unikālo alēļu frekvence; He – sagaidāmā heterozigotāte; Ho – novērotā heterozigotāte.

Augsta ģenētiskās daudzveidības pakāpe noteikta abās vitalitātē atšķirīgajās pētījumā iekļautajās egļu audzēs. Novērotā heterozigotāte (Ho) kā brūkošajām, tā perspektīvajām egļu audzēm ir vienāda (0,55) un ir nedaudz zemāka par šim alēļu skaitam sagaidāmo (He) (tabula 1.). Salīdzinot rezultātus starp dažādas vitalitātes egļu audzēm, vidējo tajās atrasto alēļu skaitu, efektīvo alēļu skaits ir nedaudz lielāks perspektīvajās audzēs, tomēr abām vērtētajām kopām novērotā heterozigotāte (Ho) neatšķiras. Molekulārās variācijas analīze (AMOVA) uzrādīja lielāku variāciju audzes iekšienē (starp indivīdiem audzēs), un tikai 3% variācija tika atrasta starp audzēm ($p < 0,001$).

Lai noskaidrotu vai variācija starp analizējamām audzēm ir saistīta ar to dažādo vitalitāti vai reģionālo izvietojumu, tika veikta principiālo koordinātu analīze, pamatojoties uz GenALEx programmatūrā atrastajām ģenētisko distanču vērtībām (Zim. 1).



Zīmējums 1. Principiālo koordinātu analīze. P - perspektīvās audzes, B - brūkošās. (Koord.1 izskaidro 38,28 % no kopējās variācijas, un Koord. 2 – 22,09 %).

Kā redzams, egļu audzes grupējas atkarībā no to atrašanās reģiona. Kurzemes audzes, kā brūkošā, tā perspektīvā, atrodas vienā kvadrantā, pārējās centrālā reģiona audzes ir sadalītas pa diviem kvadrantiem. Šādu reģionālo Latvijas egļu audžu variāciju varētu izskaidrot ar to, ka visas šīs audzes pagājušā gadsimta 70-jos gados stādītas saskaņā ar Ministru kabineta dokumentā „Noteikumi par meža reproduktīvo materiālu” [12] noteikto, ka meža audzes jāatjauno ar tajā pašā reģionā iegūto sēkļu materiālu.

Egļu sēkļu plantāciju reproduktīvā materiāla ģenētiskā daudzveidība

Lai pārbaudītu vai selekcionēta sēkļu materiāla izmantošana egļu audžu atjaunošanai nemaina to ģenētisko daudzveidību, ar pieciem mikrosatelītu marķieriem izanalizēta Tadaines (51) un Valguma (20) egļu sēkļu plantāciju pēcnācēju ģenētiskā daudzveidība (tabula 2.), kā arī vides ietekmes novērtēšanai 171 indivīds no četrus sēkļu ražas partiju pēc nejaušības principa izvēlētu pēcnācēju kopām: Austrumu reģiona Tadaines 2000. g (7058) un 2006. g (7059) sēkļu partijām un centrālā reģiona Valguma 1992. g. (7063) un 1998. g (7064). Analīzē iekļauta arī dabīgā Moricsalas rezervāta egļu audze.

Tabula 2. Egļu sēkļu plantāciju ģenētiskās daudzveidības rādītāju vidējās vērtības

	Tadaine	SE	Valgums	SE	Moricsala	SE
Na	9.800	2.200	9.200	2.035	9.600	2.135
Na fr >= 5%	4.800	0.800	5.000	1.049	4.600	0.678
Ne	4.666	1.374	4.407	1.306	4.763	1.125
I	1.644	0.250	1.560	0.273	1.670	0.270
Nu	0.800	0.374	0.400	0.245	1.800	0.735
He	0.721	0.061	0.697	0.077	0.719	0.089
Ho	0.565	0.096	0.566	0.107	0.510	0.135

Na - kopējais alēļu skaits; Na fr>5% - alēļu skaits, kuru frekvence ir lielāka par 5%; Ne - efektīvo alēļu skaits; I - Šenona daudzveidības indekss; Nu - unikālo alēļu frekvence; He – sagaidāmā heterozigotāte; Ho – novērotā heterozigotāte.

Iegūtie ģenētisko daudzveidību raksturojošie parametri raksturo augstu ģenētiskās daudzveidības pakāpi egļu sēkļu plantāciju reproduktīvajam materiālam. Salīdzinot ar dabīgo egļu audzi, redzams, ka visi galvenokārt daudzveidību noteicošie faktori ir līdzīgi, kas liecina par to, ka sēkļu plantācijās netiek samazināta dabīgo egļu audžu ģenētiskā daudzveidība.

Tabula 3. Dažādos ražas gados ievāktu sēkļu partiju ģenētisko daudzveidību raksturojošie parametri

	7058	SE	7059	SE	7063	SE	7064	SE
Na	8,800	2,332	8,400	1,691	8,200	1,934	7,000	1,549
Na fr >= 5%	4,800	1,068	4,600	0,510	4,400	0,748	5,400	1,030
Ne	4,614	1,448	4,372	1,182	4,227	1,259	4,411	1,199
I	1,595	0,250	1,564	0,270	1,510	0,287	1,532	0,242
Nu	0,800	0,374	0,200	0,200	0,600	0,245	0,000	0,000
He	0,721	0,052	0,685	0,094	0,678	0,084	0,710	0,068
Ho	0,568	0,101	0,560	0,098	0,566	0,115	0,567	0,101

Tadaine - 7058 un 7059; Valgums - 7063 un 7064. Na - kopējais alēļu skaits; Na fr>5% - alēļu skaits, kuru frekvence ir lielāka par 5%; Ne - efektīvo alēļu skaits; I - Šenona daudzveidības indekss; Nu - unikālo alēļu frekvence; He – sagaidāmā heterozigotāte; Ho – novērotā heterozigotāte.

Analizējamos lokusus ir identificēts līdzīgs ģenētiskais polimorfisms. 7064 sēkļu partijā identificēts zemāks alēļu skaits (7), bet lielāks skaits alēļu ar frekvenci virs 0,05, līdz ar ko izlidzinās efektīvo alēļu skaits. Pazemināto alēļu skaitu 7064 sēkļu partijā varētu izskaidrot ar mazāku analizē iekļauto indivīdu skaitu. Tātad ģenētiskā daudzveidība egļu sēkļu plantāciju reproduktīvajā materiālā nav atkarīga no sēkļu ražas ievākšanas gada klimatiskiem vai citiem apstākļiem.

Secinājumi

1. Brūkošās vienvecuma egļu audzēs nav izmantots ievestais reproduktīvais materiāls. Dabīgajās egļu audzēs atrasti 7,8% austrumkarpatu refūģijas izcelsmes indivīdu, tikpat arī brūkošajās audzēs.
2. Ģenētiskā daudzveidība brūkošajās un perspektīvajās vienvecuma egļu audzēs neatšķiras. Novērotā heterozigotāte (H_o) vienāda - 0,55. Nav konstatētas arī nozīmīgas Šenona daudzveidības indeksa (I) vērtību atšķirības (attiecīgi brūkošajām audzēm $I = 1,57$; perspektīvajām $I = 1,62$).
3. Ģenētiskās daudzveidības sadalījums starp analizētām vienvecuma audzēm sastāda 3 % un nav saistīts ar egļu audžu dažādo vitalitāti, bet ar to ģeogrāfisko izvietojumu.
4. Egļu sēkļu plantāciju reproduktīvā materiāla izmantošana vienvecuma egļu audžu atjaunošanā nodrošinās augstāku to ģenētisko daudzveidību (Šenona daudzveidības indekss 1,78 - 1,86).
5. Ģenētiskā daudzveidība egļu sēkļu plantāciju reproduktīvajā materiālā nav atkarīga no sēkļu ražas ievākšanas gada.

Publikācijas

1. Doyle J.J., Doyle J.L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small amounts of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11-15.
2. Ērglis D. 1977. 1967. un 1969. gada vētru sekas Latvijas PSR valsts mežos. *Mežsaimniecība un Mežrūpniecība*, 4: 23–35.
3. Ērglis D., Matuzānis J. 1973. Audžu noturība 1967. gada viesuļvētrās. *Jaunākais Mežsaimniecībā*, 15: 53–60.
4. Hartl D.L., Clark A.G. 2007. *Principles of Population Genetics* 4th ed. Sinauer Associates Inc Sunderland MA, USA, 2007. p.652
5. Hewitt G. 2000. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405: 907–913.
6. Hewitt G.M. 1999. Post-glacial re-colonization of European biota. *Biological Journal of the Linnean Society* 68: 87–112.
7. Hewitt G.M. 2001. Speciation, hybridzones and phylogeography or seeing genes in space and time. *Molecular Ecology* 10: 537–549.
8. Hodgetts R.B., Aleksiuk M.A., Brown A., Clarke C., Macdonald E., Nadeem S., Khasa D. 2001. Development of microsatellite markers for white spruce (*Picea glauca*) and related species.
9. Kimura M., Crow J. F. 1964. The number of alleles that can be maintained in a finite population. *Genetics*, 49, 725-738.
10. Libby, W.J., Bridgwater, F., Lantz, C., White, T. 1997. Genetic diversity in commercial forest tree plantations: introductory comments to the 1994 SRIEG meeting papers. *Canadian Journal of Forest Research*, 27, 397-400.
11. Mitton J.B., Kreiser B.R., Latta R.G. 2000. Glacial refugia of limber pine (*Pinus flexilis* James) inferred from the population structure of mitochondrial DNA. *Molecular Ecology* 9: 91–97.
12. Noteikumi par meža reproduktīvo materiālu (2003). Latvijas Republikas Ministru kabinets, Nr. 648, Rīga, 32 lpp.
13. Peakall R., Smouse P. E. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, 6, 288-295.
14. Pfeiffer A., Olivieri A.M., Morgante M. 1997. Identification and characterization of microsatellites in Norway spruce (*Picea abies* L.). *Genome*, 40, 411–419.
15. Porebski S., Bailey L.G., Baum B.R. 1997. Modification of a CTAB DNA Extraction Protocol for Plants Containing High Polysaccharide and Polyphenol Components. *Plant Molecular Biology Reporter*, 15, 8-15.
16. Porth I., El-Kassaby Y.A. 2014 Assessment of the Genetic Diversity in Forest tree Populations Using Molecular Markers. *Diversity*, 6, 283-295

17. Rungis D., Berube Y., Zhang J., et al. 2004. Robust simple sequence repeat markers for spruce (*Picea* spp.) from expressed sequence tags. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 1283–1294.
18. Saimnieciski nozīmīgo koku sugu (parastā priede, parastā egle, kārpainais bērzs) un apses selekcijas darba programma a/s „Latvijas valsts meži” 30 gadiem (Jansons, 2008), (apstiprināta ar AS „Latvijas valsts meži” valdes 2008. gada 23. septembra lēmumu. Nr.193)
19. Scotti I., Magni F., Paglia G.P., Morgante M. 2002a. Trinucleotide microsatellites in Norway spruce (*Picea abies*): their features and the development of molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 106, 40–50.
20. Scotti I., Paglia P., Magni G., Morgante M. 2002b. Efficient development of dinucleotide microsatellite markers in Norway spruce (*Picea abies* Karst.) through dot-blot selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 104, 1035–1041.
21. Sperisen C., Buchler U., Gugerli F., Matyas G., Geburek T., Vendramin G.G. 2001. Tandem repeats in plant mitochondrial genomes: application to the analysis of population differentiation in the conifer Norway spruce. *Mol Ecol* 10: 257–263.
22. Tollefsrud M.M., Kissling R., Gugerli F., Johnsen Ø., Skrøppa T., Rachid C. et al. 2008. Genetic consequences of glacial survival and postglacial colonization in Norway spruce: combined analysis of mitochondrial DNA and fossil pollen. *Mol Ecol* 17: 4134–4150.
23. Tollefsrud M.M., Sønstebo J.H., Brochmann C., Jonsen O., Skrøppa T., Vendramin G.G. 2009. Combined analysis of nuclear and mitochondrial markers provide a new insight into the genetic structure of North European *Picea abies*. *Heredity* 102:549–562
24. Vendramin G.G., Anzidei M., Madaghiale A., Sperisen C. & Bucci G. 2000. Chloroplast microsatellite analysis reveals the presence of population subdivision in Norway spruce (*Picea abies* K.). - *Genome* 43: 68-78.
25. Wagner D.B. 1992. Nuclear, chloroplast, and mitochondrial DNA polymorphisms as biochemical markers in population genetic analyses of forest trees. *New Forests* 6: 373-390.

GENETIC DIVERSITY AND DIFFERENTIATION OF EVEN AGED SPRUCE STANDS IN LATVIA

Ilze Veinberga¹, Anita Gaile¹, Dainis Edgars Ruņģis^{1*}

¹*Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia*

**dainis.rungis@silava.lv*

The most significant genetic factors that could influence the vitality of even aged Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) stands in Latvia are their genetic diversity and provenance. Sufficient levels of genetic diversity can help ensure the long-term adaptability and resilience of forest tree stands, and the investigation of provenance can identify differing post-glacial recolonization routes as well as potentially introduced forest reproductive material. One hypothesis that was tested in this study was that collapsing even aged spruce stands in Latvia were established using imported reproductive material of southern origin from Ukraine and the Carpathians. Wind storms in the 1960's resulted in the destruction of thousands of hectares of spruce stands. As a result, there was a deficit of local spruce reproductive material for renewal of these stands, and reproductive material was imported. However, no records are available on the origin and amount of material imported, or where this material was deployed. Samples were collected for analysis from collapsing even aged spruce stands in various regions. To determine the provenance and genetic diversity of autochthonous Latvian spruce stands, two stands were sampled – spruce from the Moricsala nature reserve, which was established in 1912, and the Rēzekne spruce genetic resource stand, which contains spruce trees that are over 100 years old.

The nad1b/c mitochondrial marker was used to analyse the provenance of the spruce stands. This marker amplifies a 2146 base pair (bp) fragment identifying the northern European spruce haplotype, while the southern spruce haplotype is identified by a 2217 bp fragment. 7.8% of the individuals from the autochthonous stands had the southern haplotype, while 7.2% of even aged spruce stands had the southern haplotype. These results indicate that the mitochondrial haplotype distribution is similar in naturally established and planted spruce stands, and that the southern haplotype is present in low frequencies also in autochthonous Latvian spruce stands. This is in accordance with previous reports that the Baltic region is a hybrid zone for various post-glacial recolonization routes.

The genetic diversity and differentiation of seven even aged spruce stands with differing vitality assessments was determined, and compared with the autochthonous spruce stands. Three stands with a positive assessment were identified, and four stands with a negative assessment were sampled. A total of 14 microsatellite (SSR) markers were utilised. The genetic diversity parameters were similar between the even aged spruce stands and also in comparison with the autochthonous stands, indicating that the planting of the even aged spruce stands did not significantly reduce levels of genetic diversity. The even aged Norway spruce stands were clustered according to their location, which is probably due to the reproductive material utilised when establishing these stands. The seeds may have been collected from a limited number of mother trees close by, which could result in the higher geographic differentiation of the even aged stands compared to the natural stands. However, the levels of genetic diversity were not lower, which could be explained by the high genetic diversity within stands and individuals, and by the high level of pollen flow.

To determine if the use of improved Norway spruce material derived from the Latvian breeding program may reduce level of genetic diversity, the progeny of two Norway spruce seed orchards (Tadaine and Valgums) were analysed. These seed orchards contain 51 and 20 clones, respectively, and progeny trial established from two different seed years were available for each seed orchard. The progeny were analysed with a subset of five SSR markers utilised previously, and the results were compared to the Moricsala spruce samples. The results indicated that no significant loss of genetic diversity was detected and that there were also no significant differences in genetic diversity between seed years. The main effect of utilising seed orchard material for reforestation might be the decrease in the number of rare alleles in the progeny population. However, this effect is partially mitigated by the high level of pollen contamination in seed orchards, which provides a source of rare alleles from surrounding stands. In addition, a sufficient number and distribution of genetic resource stands should be ensured to facilitate the conservation of rare alleles in a natural setting, in order to maintain the adaptive capacity of Latvian Norway spruce populations.

EKSPERIMENTĀLAIS STĀDĪJUMS KŪDREŅA IZCIRTUMĀ PĒC IEPRIEKŠ NOKALTUŠA VIENVECUMA EGLŪ MEŽU MASĪVA NOCIRŠANAS

EXPERIMENTAL FOREST REGENERATION AFTER SELECTED INITIALLY HIGHLY PRODUCTIVE, BUT LATER WITHERED SPRUCE STAND ON PEAT LAND (*OXALIDOSA TURF.MEL.*)

Dagnija Lazdiņa^{1*}, Toms Štāls¹, Santa Celma¹, Modris Okmanis¹, Kārlis Dūmiņš¹, Kristaps
Makovskis¹, Santa Neimane¹, Jurgis Jansons¹

¹Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

* dagnija.lazdina@silava.lv

21. gadsimta pirmās desmitgades beigās Latvijā reģionāli iezīmējās vienvecuma egļu mežu kalšanas procesi. Viens no šādiem gadījumiem bija 40 gadus vecu egļu masīva nokalšana zinātniskās izpētes mežu Kalsnavas meža novadā. Sākotnēji šis masīvs bija ļoti produktīvs, 20 gadu vecumā sasniedzot audzes ikgadējo pieaugumu pat 20 m³ha⁻¹. Tomēr, neraugoties uz to, kokaudzes 40 gadu vecumā bez ārēji redzama iemesla gājušas bojā. Rezultātā izveidojās apmēram 40 ha liels vienlaidus izcirtums (t.s. Medņu līnijas masīvs). Veikta meža atjaunošana stādot egli dažādā biežumā (1000, 2000 un 4000 stādi uz ha), mistrojot to ar bērzu un melnalksni, kā arī veidojot papeļu segaudzi. Tikai 4. gadā stādītajiem egļu un melnalkšņa stādiem ir apmierinoša saglabāšanās, kamēr sekmīga bērza iedzēšana izdevās jau pirmajā stādījuma ierīkošanas gadā. Papeļu segaudzi iespējams ierīkot, izvēloties salcietīgus klonus, kas toleranti pret skābām augsnēm (Vesten), kā arī stādot par 1 m garākus mietveida spraudeņus. Koksnes pelnu izmantošanas pozitīvais efekts vērojams tikai ceturtajā gadā.

Ievads

Meža atjaunošanas eksperiments izveidots zinātniskās izpētes mežu Kalsnavas meža novadā vienlaidus izcirtumā (Medņu līnijas masīvs), kas izveidojies pēc 40 gadus vecu egļu masīva nokalšanas, ar mērķi skaidrot šādu platību turpmākas atjaunošanas un apsaimniekošanas principus.

Eksperimentālais stādījums paredzēts kā ilgtermiņa izpētes objekts, zinot, ka iepriekšēja egļu audze Medņu līnijā sākotnēji bija ļoti produktīva - 20 gadu vecumā tās ikgadējais pieaugums sasniedza pat 20 m³ ha⁻¹. Tomēr, neraugoties uz to, kokaudzes 40 gadu vecumā bez ārēji redzama iemesla gājušas bojā.

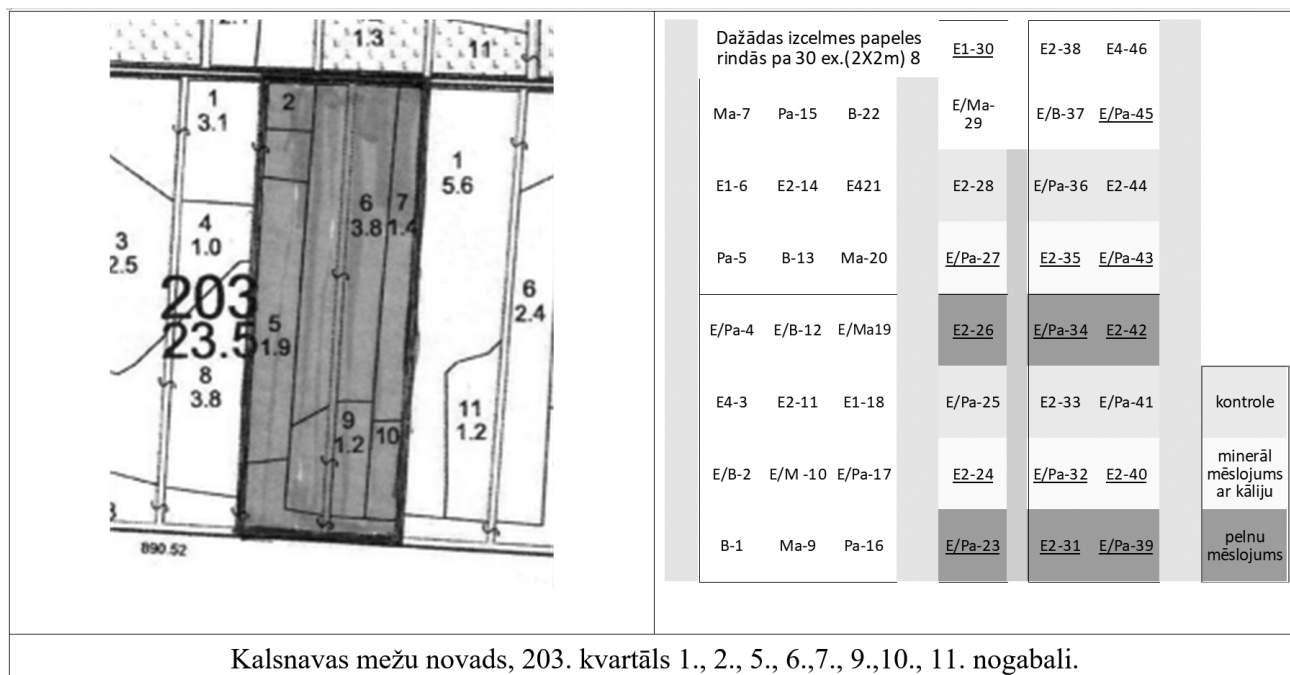
Platībā, kura ideāli piemērota eksperimentālam stādījumam, ierīkots egles, bērza, melnalkšņa, papeles un šo lapu koku mistrojuma ar egli parauglaukumus trīs atkārtojumos, stādot 2000 kokus uz ha. Papildus ierīkoti arī sabiezināti egļu stādījumi – līdz pat 4000 kokiem uz ha, kā arī reti stādījumi - 1000 koki uz ha. Izveidoti egļu un mistroti egļu-papeļu stādījumi ar augsnes ielabošanu, kā papildus barības vielu avotu izmantojot koksnes pelnus un minerālmēslojumu.

Žurnāla *Agronomy research* 15 (2) numurā publicēts raksts "Wood ash – Green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations", kurā analizēti 2015.-2016. gadā iegūtie egļu stādījumu uzmērījuma dati. Tie salīdzināti ar rezultātiem, kas iegūti citos objektos, kur egļu stādīta uz kūdras augsnēm un augšanas apstākļu uzlabošanai izmantots pelnu vai minerālais mēslojums.

Materiāli un metodes

Stādījums ierīkots Latvijas austrumu daļā, Aronas paugurlidzenuma Vesetas - Arona ieplakā, koordinātas 56.67097, 25.91038. Izcirtums izveidojies pēc 40 gadu vecas vienvecuma egļu audzes nociršanas sanitārajā kailcirtē, kad egles nokalta bez ārēji redzama iemesla. Rezultātā izveidojās apmēram 40 ha liels vienlaidus izcirtums (t.s. Medņu līnijas masīvs). Eksperimentālais - demo stādījums aizņem 6 ha, tajos stādi stādīti nesagatavotā augsnē 2015. gada aprīļa beigās un maija sākumā. Stādījums ierīkots, sadalot izmēģinājumam atvēlēto platību regulāras formas vienāda izmēra laukumos, lai katrs

no stādījuma variantiem tiktu ierīkots vismaz 3 atkārtojumos dažādās izcirtuma vietās. Ierīkoti dažāda sākotnējā biežuma (1000, 2000 un 4000 stādi/ha) egļu stādījumi. Stādot 2000 koku uz ha, ierīkoti rindu mistrojumi egles/melnalkšņa, egles/bērza, egles/papeles un atsevišķi melnalkšņa, bērza, papeles stādījumi. (Zīm.1).



Kalsnavas mežu novads, 203. kvartāls 1., 2., 5., 6.,7., 9.,10., 11. nogabali.

Zīmējums 1. Eksperimentālā stādījuma izvietojums un dizains, B - bērzs, E - egle, Pa - papele, Ma - melnalksnis, skaitlis aiz burta parauglaukuma numurs.

Veikta papildus barības vielu ienese stādīvietā ar koksnes pelniem ($3 \text{ T} \cdot \text{ha}^{-1}$) un minerālmēsliem ($0,15 \text{ T} \cdot \text{ha}^{-1}$), aprēķinātā deva atbilst citos LVMI Silava koku augšanas apstākļu uzlabošanas eksperimentos izmantotajai ar mērķi veicināt mežaudžu atveseļošanu (Okmanis et al 2016, Lazdiņa et al 2017). 2015. gadā stādīti 20 cm gari papeļu klona OP42 spraudeņi.

2016. gada pavasarī papeles stādīvietās veikta augsnes kaļķošana un ielabošana ar koksnes pelniem. 2016. gada sākumā stādījums atjaunots, izmantojot dažāda izmēra vienas izcelsmes stādmateriālu (Baldo), bet 2017. gadā papeles stādījums papildināts ar garajiem klona Vesten spraudeņiem.

Egļu un melnalkšņa stādījums papildināts 2017. gada aprīļa beigās/maija sākumā.

2015., 2016. un 2017. gada veģetācijas sezonas beigās noteikti koku morfoloģiskie rādītāji – augstums un pieaugums, kā arī veikta koku saglabāšanās uzskaitē. Aprēķināti vidējie rādītāji. Koku augšanas atšķirību būtiskums analizēts ar dispersijas analīzi (ANOVA).

Rezultāti

Koku saglabāšanās sekmes stādījumā ir ļoti dažādas. Kā inovatīvi vērtējami ātraudzīgo papeļu kā sedzējsugas joslu izveidošanas izmēģinājumi. 2015. gadā ar 20 cm gariem spraudeņiem ierīkotais stādījums nav izdevies. Neveiksmi izskaidro divi iemesli: augsnes zemais pH (4) un īso spraudeņu izmantošana. Tāpēc 2016. gadā sākumā papeļu stādīvietās veikta augsnes kaļķošana ar koksnes pelniem. Atkārtotam stādījumam izmantoti 20 cm un 160 cm garus vīrišķā klona *Baldo* spraudeņi. Rezultātā papeli sekmīgi ieaudzēt izdevās tikai ar garajiem spraudeņiem, visi 20 cm spraudeņu dzinumi nokalta, bet garo spraudeņu papeļu stādījums saglabājās vairāk, kā 60%. Diemžēl Itālijas klona *Baldo* ziemcietība ir neapmierinoša, gaisa temperatūrai pazeminoties zem 25°C grādiem, jaunie dzinumi nosala. 2017. gada pavasarī stādījums papildināts ar salizturīgāka klona *Vesten* garajiem spraudeņiem, kas saglabājušies 60%. Pagaidām papeles vēl nesniedz noēnojumu, tā ietekmi būs iespējams vērtēt pēc 3-4 gadiem, kad papeles sasniegs 4-5 m augstumu.

Egļu stādījums pirmos divus gadus (2015. un 2016.) ieauga slikti, daudziem kokiem novērotas vāji attīstītas galotnes, kā arī novērota jauno dzinumu kalšana, lēna augšana un dzeltēšana, kā arī stādu bojāeja (Tabula 2). Stādīvietā ienestais mēslojums uz egļu stādu saglabāšanos nav atstājis pozitīvu ietekmi.

Tabula 1. Egļu stādu saglabāšanās un bojājumi %, pirmais stādījums.

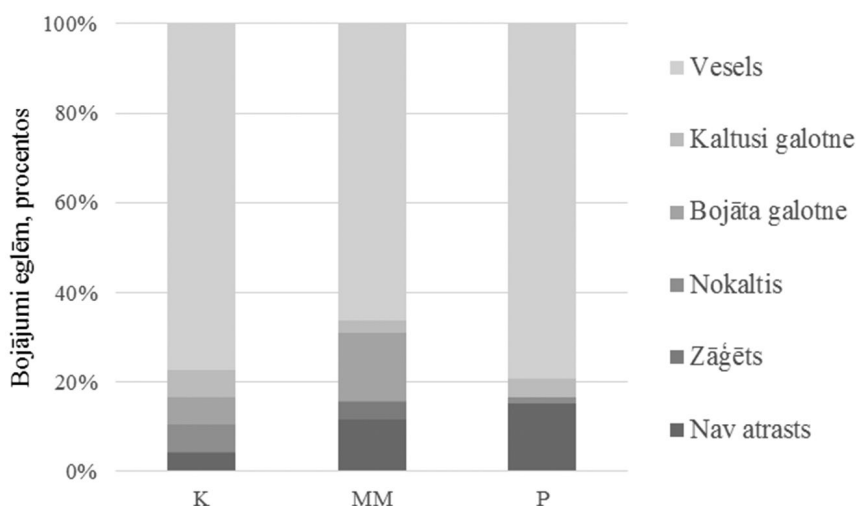
Saglabāšanās / bojājums	Gads	Kontrole	Minerālmēsli	Pelni
Nozāģēts	2015	5,3	12,8	22,6
	2016	9,0	20,6	11,2
Nokaltis	2015	33,0	26,0	31,2
	2016	55,9	55,1	75,5
Daļēji nokaltis	2015	0,1	0,5	0,0
	2016	0,1	0,0	0,1
Galotne nokaltusi	2015	8,2	4,5	5,2
	2016	0,7	1,9	1,9
Nav attīstījusies galotne	2015	-	1,7	4,5
	2016	3,9	1,0	1,1
Vitāls, bez bojājumiem	2015	53,4	54,4	36,6
	2016	30,4	21,3	10,3

Arī melnalkšņu stādījumā stādu saglabāšanās ir zema, bērziem kalnušas galotnes (Tabula 2), bet citādi bērzi salīdzinoši labi saglabājušies, tiem ir maz bojājumu (Tabula 2), Nākamajā gadā bija saglabājušies 23% melnalkšņu un 86% bērzu, tāpēc bija nepieciešams papildināt stādījumus.

Tabula 2. Bērzu un melnalkšņu stādu saglabāšanās un bojājumi %, pirmais stādījums, 2015. gads.

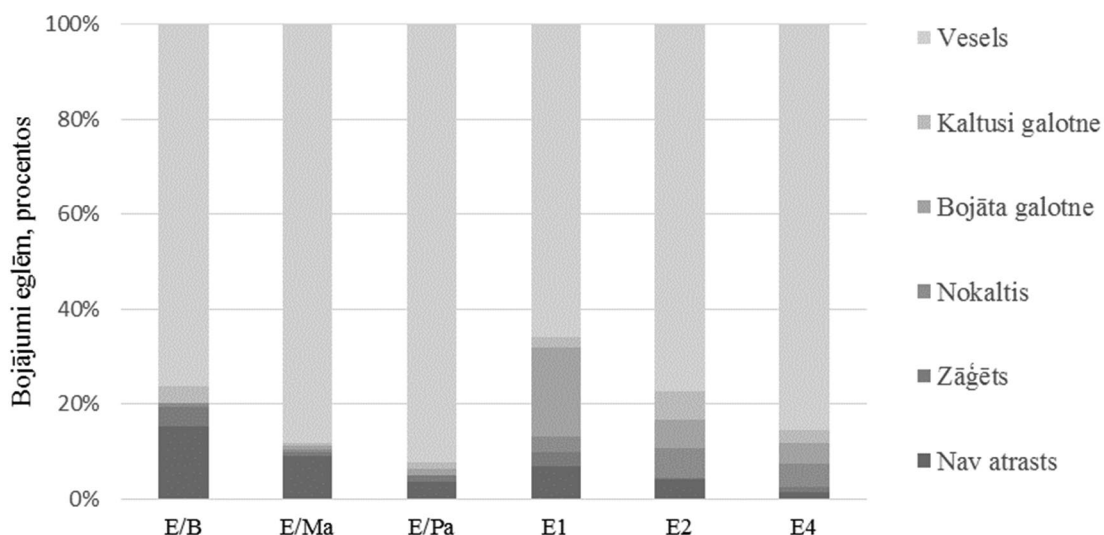
Vitalitāte	Vesels	Nokaltis	Nozāģēts	Atvases attīstās	Nokaltusi galotne	Nav galotnes
Bērzs	63	6	2	0	26	2
Melnalksnis	34	42	5	9	8	1

Egļu stādījums 2017. gadā papildināts, jo 2015. gadā saglabājas 53% stādu, bet 2016. gadā vairs tikai 30% no sākotnēji stādītajiem stādiem. Citādi rezultāti iegūti 2017. gadā – visu stādīto egļu saglabāšanās apmierinoša, galotņu kalšana nedaudz novērota tikai ar minerālmēsliem mēslojamiem kokiem un kontroles parauglaukumos. (Zīm. 2.)



Zīmējums 2. Procentuālais bojājumu sadalījums eglēm stādītām (2000 koku uz hektāra) dažādi mēslos apgabalos. Mēslojumi: K – kontrole bez mēslojuma, MM – minerālmēslojums, P – mēslojs ar pelniem.

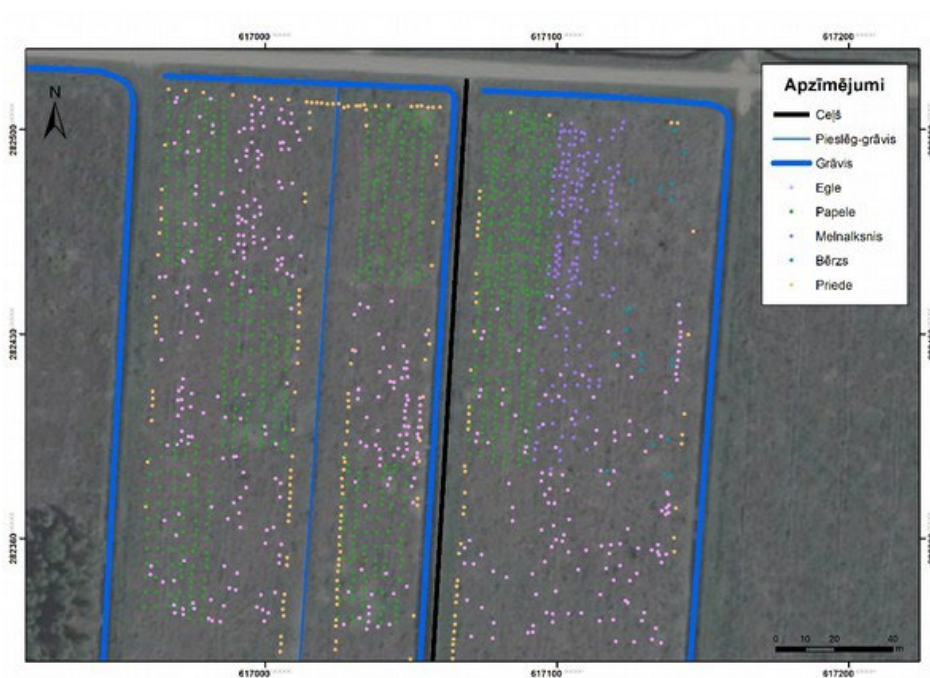
Stādījumos ar 1000 eglēm uz ha konstatēts visvairāk bojājumu – 34%, galvenokārt bojātas egļu galotnes (18.8%). Vislabākā situācija konstatēta eglēs stādījumos mistrojumā ar papeli, melnalksni un stādījumā ar lielu sākotnējo biežumu (4000 koki/ha)- vairāk, kā 85% eglis bija veselas (Zīm.3).



Zīmējums 3. Procentuālais bojājumu sadalījums eglēm dažādos ierīkojuma veidos. Ierīkošanas veidi: E/B – egles un bērzi, E/Ma – egles un melnalkšņi, E/Pa – egles un papeles, E1 – egles 1000 koku/ha, E2 – egles 2000 koku/ha, E4 – egles 4000 koku/ha.

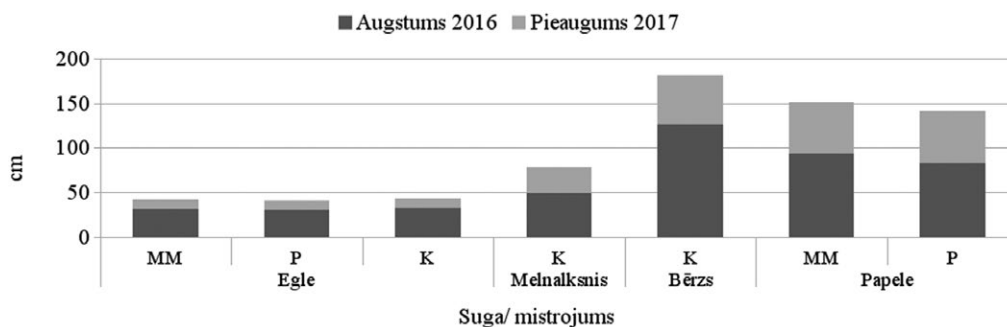
Līdzīgi kā egles, 2017. gadā papildinātais melnalkšņu un bērzu stādījums ieaudzis labāk, melnalkšnim rezultāts apmierinošs, saglabājušies 70% koku, bērzam ļoti labs rezultāts - saglabāšanās pat 95%.

Pēdējās sezonas rezultātus attēlojot telpiski, uz kartes redzams, ka izkritušo stādu stādvieta koncentrējas vienkopus. Melnalkšnim un eglei sliktāki saglabāšanās rezultāti tīraudzē, mistrojumā tie labāki, kamēr bērzam praktiski nav izkritušo stādu, bet papēlēm katrs otrais no 20 cm spraudņiem nav saglabājies (Zīm.4.).



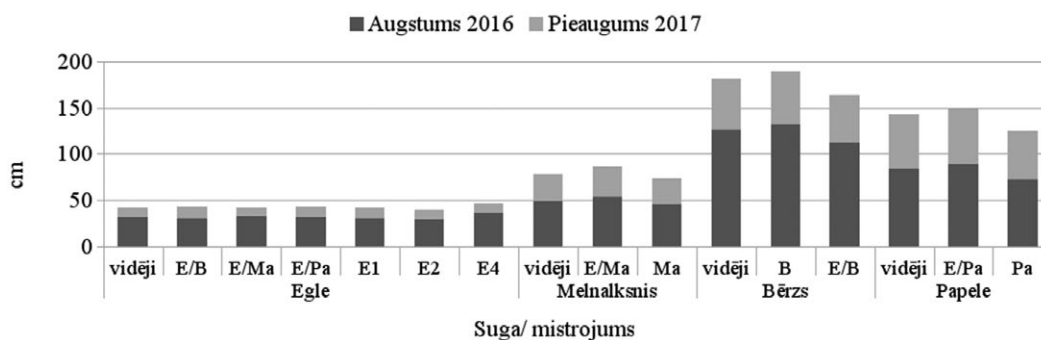
Zīmējums 4. Bojāgājušo stādu telpiskais izvietojums (2017. gada rudens uzskaites rezultāti).

Ikgadējo pieaugumu veidošanās dažādam koku sugām ir atšķirīga. Labi auguši ir bērzi. Dispersijas analīze (ANOVA) apstiprina, ka gan mēslojuma izvēle ($P < 0.05$), gan ierīkošanas veids - stādījuma biežums, sugu mistrojums ($P < 0.01$), būtiski ietekmē eglu rezultējošo augstumu eksperimentālajā stādījumā pēc 3 gadiem (Zīm.5.,6.).



Zīmējums 5. Stādīto koku sugu vidējie augstumi un pēdējās sezonas pieaugumi kontroles un dažādi mēslotos parauglaukumos (K – kontrole bez mēslojuma, MM – minerālmēslojums, P – mēsloti ar pelniem).

Melnalkšņu un papeļu stādījumos mistraudzēs ar egli ir augstāki nekā tīraudzēs (Zīm.6.). Bērzu gadījumā novērota pretēja sakarība. Melnalkšņu un papeļu rindstarpu stādījumi ar eglēm nodrošina papildu rindstarpu vietu, un līdz ar to vairāk pieejama gaisma. Bērzi savukārt ir ļoti ieauguši un, iespējams, konkurence starp tiem veicina augstuma pieaugumu. Tomēr, skatot eksperimentālā stādījuma karti un 4.zīmējumā parādīto bojā gājušo koku atrašanās vietu, ir pamats uzskatīt, ka šī atšķirība būtiski ietekmē arī mikrolokācija, jo labāk augušie stādījumi atrodas blakus esošajos ierīkojuma veidu parauglaukumos.



Zīmējums 6. Vidējais stādīto koku augstums un pieaugums dažādos ierīkojuma veidos (stādīti: B – tikai bērzi, E/B – egles un bērzi, E/Ma – egles un melnalkšņi, E/Pa – egles un papeles, E1 – egles 1000 koku/ha, E2 – egles 2000 koku/ha, E4 – egles 4000 koku/ha, Ma – tikai melnalksnis, Pa – tikai papele).

Dispersijas analīze patreiz neaplicina mijiedarbības efektu starp mēslojuma vedu un sugu mistrojumu. Egļu vidējais augstums eksperimentālajā stādījumā ir 40,7 cm. Vislabākie egļu augšanas rādītāji ir parauglaukumos ar vislielāko egļu biežumu (4000 egļu uz hektāra).

Secinājumi

Izveidotajā eksperimentālajā demonstrācijas stādījumā vislabākais meža atjaunošanas rezultāts panākts, stādot bērzus, kam vērojami stabili ikgadējie pieaugumi un laba koku saglabāšanās.

Egļu stādot 4 gadus pēc kailcirtes, tās ļoti saglabājas, kā tas tika novērots 2. pētījumu gadā pēc bojā gājušā egļu stādījuma atjaunošanas. Arī pirmajos gados izkritušo egļu stādu vietā stādītās egles aug ļoti labi.

Salīdzinoši labākas egļu atjaunošanas sekmes novērotas, ierīkojot sabiezinātu egļu stādījumu vai veidojot egles/papeles vai egles/melnalkšņu mistraudzi.

Parauglaukumos, kuros veikta augsnes ielabošana ar minerālmēslojumu, novērots lielāks bojāto koku skaits nekā citos parauglaukumos, kuros stādītas egles.

Vīrišķā papeļu klona *Baldo* stādījums saglabājies neapmierinoši un uzrāda viduvējus augšanas rezultātus, sekmīgi ieaudzēts klons *Vesten*, izmantojot 1.60 cm spraudņus. Papeļu ieaudzēšanai kūdras augsnes ar prognozējamu strauju aizzelšanu izmantojami tikai par 1m garāki spraudņi.

Ierīkotais stādījums ir piemērots turpmāku pētījumu veikšanai un izmantojams kā demonstrējuma objekts mācību un izglītojošos pasākumos. Demonstrējuma objekta vērtība pieaugs nākotnē, sekojot līdzi kokaudžu attīstībai.

Pateicības

LVMI Silava zinātnieki pateicas Meža pētīšanas stacijas personālam par atbalstu eksperimentālā objekta apsaimniekošanas darbos.

Rezultatīvie indikatori

- I. Ierīkots eksperimentālais - demo stādījums Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas mežu novada 203. kvartāla 1., 2., 5., 6., 7., 9., 10., 11. nogabalos (56.67097, 25.91038.), kas kalpos kā ilglaicīgais izpētes objekts un būs izmantojams turpmākai izpētei, skaidrojot meža atjaunošanas procesus kūdreņos.
- II. Lazdiņa, D., Bebre, I., Dūmiņš, K., Skrandā, I., Lazdins, A., Jansons, J., Celma, S. Wood ash – Green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations. (2017) *Agronomy Research* 15(2), pp. 468-477. http://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2017/03/Vol15nr2_Lazdina.pdf#abstract-5068

EXPERIMENTAL FOREST REGENERATION AFTER SELECTED INITIALLY HIGHLY PRODUCTIVE, BUT LATER WITHERED SPRUCE STAND ON PEAT LAND (*OXALIDOSA TURF.MEL.*)

**Dagnija Lazdina^{1*}, Toms Stals¹, Santa Celma¹, Modris Okmanis¹, Karlis Dumins¹,
Kristaps Makovskis¹, Santa Neimane¹, Jurgis Jansons¹**

¹ *Latvian State Forest Research Institute Silava, Salaspils, Latvia*

**dagnija.lazdina@silava.lv*

At the end of the first decade of the 21st century the withering processes of spruce trees became prominent. One of such cases was a 40-year-old spruce tree mass withering in a research forest in the Kalsnava municipality. In the beginning the forest was very productive, reaching an average annual increase of even 20 m³ha⁻¹ in the 20th year. However, by the year 40 the plantings had withered without visible external cause. As a result a 40 ha single clearing formed (the “Medņi line mass”). The forest has been renewed, planting spruce trees in various densities (1000, 2000 and 4000 trees per ha), mixing in birch and black alder trees as well as a poplar cover. A satisfactory retention in the spruce and black alder plantings was achieved only by the 4th year whilst a successful planting of birch can be achieved within the first year of establishment. Poplar covers can be established by selecting frost resistant clones which are tolerant of acidic soils (Vesten) un planting mould cuttings with a length of at least 1m. The positive effect of using wood ash can be observed only in the 4th year.

SAKŅU PIEPES *HETEROBASIDION* SPP. IZPLATĪBA VIENVECUMA EĢĻU AUDZĒS KŪDRAS AUGSNĒS

DISTRIBUTION OF *HETEROBASIDION* SPP. IN EVEN-AGED SPRUCE STANDS ON PEAT SOIL

Lauma Brūna¹, Astra Zaļuma¹, Dārta Kļaviņa¹, Natālija Burņeviča¹, Liene Dārta Lukstiņa¹,
Agrita Kenigšvalde¹, Tālis Gaitnieks^{1*}

¹ Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, Latvija

¹ Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

* talis.gaitnieks@silava.lv,

Darba mērķis bija noskaidrot sakņu trupi izraisošās sēnes *Heterobasidion* spp. sastopamību kūdras augsnēs. Valsts pētījuma programmas (ResProd) izpildes laikā četrās eģļu audzēs ar kūdras augsnēm ierīkoti 11 parauglaukumi un ievākti koksnes paraugi. Papildus analizēti arī iepriekšējos pētījumos iegūtie dati. Secināts, ka kūdras augsnēs vidēji inficētas 16,3% eģļu, tomēr atsevišķās audzēs trupējušo koku īpatsvars var sasniegt pat 30%. Kūdras augsnēs konstatēta gan *Heterobasidion* izraisītā sporu infekcija, gan sakņu infekcija, sēnes micēlijam inficējot veselos kokus. Palielinoties audzes vecumam, pieaug sēnes izraisītie mežsaimnieciskie zaudējumi. Vidējais trupes izplatības augstums stumbrā 41 gadu vecās eģļu audzēs ar kūdras augsnēm ir 4,4 m, bet 62 un 111 gadus vecās audzēs attiecīgi 4,8 m un 7,6 m.

Viena no bīstamākajām skuju koku slimībām ir sakņu piepes *Heterobasidion* spp. izraisītā sakņu trupe. Mežsaimnieciskie zaudējumi (pamatā koksnes kvalitātes pazemināšanās) Eiropas Savienības valstīs gada laikā sastāda vismaz 500 milj. EUR (Korhonen, Holdenrieder 2005). Īpaši bīstama šī slimība ir eģļu audzēs, jo sēnes micēlijs augošanās eglēs var izplatīties līdz pat 12 m augstumam, sabojājot vērtīgākos zāgbaļķus (Stenlid, Redfern 1998).

Trupes izplatībā būtiska loma ir augsnes īpašībām, kas var ietekmēt gan sēnes primāro izplatību ar bazīdijsporām, gan sekundāro – sēnes micēlijam attīstoties saknēs un inficējot blakus augošos, veselos kokus (Kļaviņa 2015). Uzskata, ka sakņu piepes izplatību veicina smilšu piemaisījums un zems organisko vielu saturs augsnē, kā arī paaugstināts augsnes pH. Pētot *Heterobasidion* izplatību kūdras augsnēs, secināts, ka skuju koki šādās augsnēs ir mazāk pakļauti infekcijas riskam, salīdzinājumā ar minerālaugsnēm (Korhonen, Stenlid 1998). Jau pagājušā gadsimta vidū Zviedrijā veiktajos pētījumos noskaidrots, ka *Heterobasidion* izraisītā sakņu trupe ir reti sastopama kūdras augsnēs (Rennerfelt 1946).

Vēlākajos pētījumos Zviedrijā (Lindberg, Johansson 1991) secināts, ka kūdras augsnēs sakņu piepes micēlijs eģļu saknēs (pēc sakņu mākslīgās infekcijas) attīstās sliktāk, salīdzinājumā ar aramzemēm vai morēnu augsnēm. Pētot sakņu trupes sastopamību Somijas dienvidos eģļu audzēs (analizēti Nacionālā meža monitoringa dati par 5998 parauglaukumiem un 8007 paraugkokiem), noskaidrots, ka biezs kūdras slānis samazina inficēšanās risku (Mattila, Nuutinen 2007). Citā pētījumā (Hantula 2010) pierādīts, ka *Heterobasidion* izraisītā trupe vairāk sastopama Somijas dienvidos, jo ziemeļu daļā dominē kūdras augsnes. Tomēr autori to saista arī ar klimata ietekmi un mežu apsaimniekošanas vēsturi – Somijas ziemeļu reģionu raksturo mazāk intensīva mežsaimniecība, bet, kā zināms, *Heterobasidion* izplatība pamatā tiek saistīta ar mežizstrādes intensifikāciju (Korhonen *et al.* 1998). Pētījumos Lielbritānijā, analizējot *Heterobasidion* sastopamību Sitkas egles plantācijās, arī secināts, ka infekcija vairāk skar kokus minerālaugsnēs salīdzinājumā ar kūdras augsnēm (Redfern 1984; Redfern *et al.* 1994).

Pētījumos Latvijā jau pagājušā gadsimta 70. gados noskaidrots, ka kūdreņos, mākslīgi inficētu priežu saknēs sakņu piepes infekcija attīstījies lēnāk nekā minerālaugsnēs (Lauska 1970).

Eģļu audzes Latvijā aizņem 584 tūkstošus hektāru jeb 18% no meža kopējās platības. Eģļu audžu platība kūdreņos ir 73,6 tūkstoši hektāru (Valsts meža dienesta dati). Lai izstrādātu optimālu šo platību apsaimniekošanas režīmu saistībā ar fitopatoloģiskajiem riskiem, ļoti būtiski izvērtēt sakņu trupes sastopamību kūdras augsnēs un kokaugu uzņēmību pret trupi izraisīto sēņu infekciju minētajās augsnēs.

Pārskata perioda darba uzdevumi bija:

1. novērtēt sakņu un stumbra trupes sastopamību un trupi izraisīto sēņu sugu sastāvu vienvecuma eģļu kūdreņos;
2. analizēt *Heterobasidion* spp. populācijas struktūru vienvecuma eģļu kūdreņos;
3. analizēt sakņu un stumbra trupes sastopamību vienvecuma eģļu mežos atkarībā no kokaudzes vecuma.

Materiāls un metodika

Lai novērtētu *Heterobasidion* izplatību vienvecuma egļu mežos, četros objektos (Ķekavas, Ogres, Smiltenes un Madonas novadi), sešās iepriekš apsekotās un analizētās audzēs ar nosusinātām kūdras augsnēm (AS "Latvijas valsts meži" finansēts projekts "Sakņu trapes izplatību ierobežojošo faktoru izpēte" Nr. 5.5.-5.1./000s/101/11/12) ievākti papildu koksnes paraugi no kokiem un celmiem. Trijās no minētajām audzēm ievākti augšnes un sakņu paraugi, lai novērtētu *Heterobasidion* ietekmi uz egļu sakņu mikorizāciju (Kļaviņa 2015). Valsts pētījuma programmas (ResProd) izpildes laikā minētajās audzēs papildus ievākti 458 koksnes paraugi no kokiem un celmiem.

Izvēlētajās audzēs ierīkoti vienpadsmit 100-500 m² lieli aplveida parauglaukumi. Parauglaukumu izmērs izvēlēts atbilstoši audzēs esošo *Heterobasidion* infekcijas centru lielumam. Meža tips: šaurlapju vai platlapju kūdrēns (Ks vai Kp); audžu vecums no 47 līdz 117 gadiem. Ierīkotajos parauglaukumos papildus ievākti paraugi no 337 skuju kokiem un celmiem.

Koksnes paraugi ievākti no visiem parauglaukumos esošajiem skuju kokiem un celmiem. Paraugu ievākšanai izmantoti Preslera svārpsts vai cirvis. Visi parauglaukumos esošie koki un celmi numurēti un kartēti, izmantojot busoli un tālmēru Vertex IV. Karšu sagatavošanai izmantota QGIS 2.16.1. programmatūra.

Ievāktie koksnes paraugi numurēti atbilstoši koku un celmu numerācijai kartēs un nogādāti laboratorijā tālākai apstrādei. Laboratorijā tie virspusēji sterilizēti liesmā un novietoti Petri platēs uz sterilas iesala-agara barotnes, lai izdalītu *Heterobasidion* micēliju. Petri plates pārbaudītas ik pēc 2-3 dienām un no koksnes gabaliņiem augošais *Heterobasidion* micēlijs izdalīts tīrkultūrā.

Lai novērtētu *Heterobasidion* populāciju struktūru, salīdzināta atsevišķu genotipu – ģenētiski atšķirīgu micēliju – izplatība (genotipu robežas) un kartēti inficētie koki. Lai salīdzinātu vienā parauglaukumā iegūtos sēnes izolātus (micēlijs, kas izdalīts tīrkultūrā), izmantots somatiskās nesaderības tests (Stenlid 1985). *Heterobasidion* sugas noteikšanai izmantots intersterilitātes tests (Korhonen 1978).

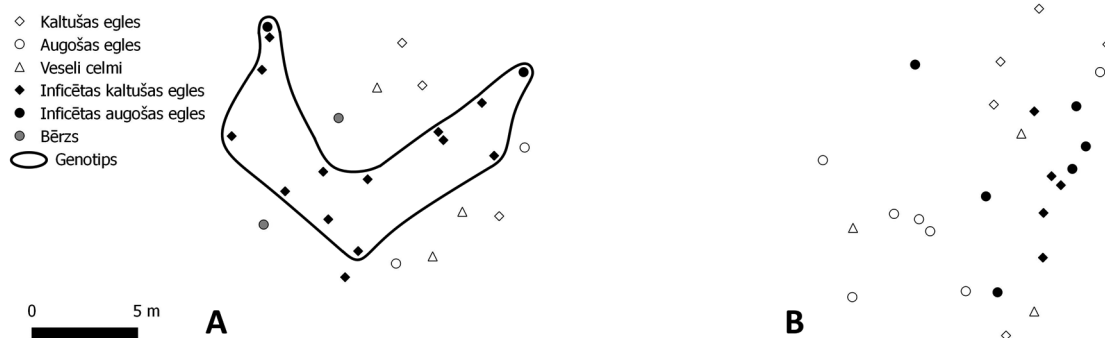
Lai noteiktu trapes izplatību dažāda vecuma kokos, izvēlētas atšķirīga vecuma audzes ar kūdras augsnēm. Izvēlētajās audzēs nozāģēti 60 trupējuši koki. Katram kokam noteikts trapes izplatīšanās augstums stumbrā (ar 10 cm precizitāti), diametrs, kā arī trupējušās daļas diametrs celma augstumā un 1,3 m augstumā. Lai aprēķinātu *Heterobasidion* izraisītos zaudējumus un trapes īpatsvaru audzē, papildus izmantoti AS "Latvijas valsts meži" finansētā projekta Nr. 5.5.-5.1./000s/101/11/12 izpildes laikā iegūtie rezultāti.

Rezultāti

Novērtējot sakņu trapes izplatību, sešos objektos 41-111 gadus vecās egļu audzēs kūdreņos, secināts, ka ar *Heterobasidion* inficēto koku skaits ir 3,3% - 31,0% (vidēji 16,3%). Arī minerālaugsnēs inficēto egļu skaits var būt ļoti atšķirīgs. Latvijā, analizējot vairāk nekā 24 000 egļu celmu, konstatēts, ka trupējušo egļu īpatsvars dažādās audzēs svārstās no 0 līdz 83% (Arhipova *et al.* 2011). Līdzīgi rezultāti iegūti arī Zviedrijā: 3%-76% (Rönnerberg *et al.* 2013). Citā Zviedrijā veiktā pētījumā inficēto koku daudzums galvenās cirtes laikā sastādīja 2%-90% (Thor *et al.* 2006).

Audzēs inficētību, ja koki nav stādīti iepriekš inficētā platībā, galvenokārt, ietekmē iepriekš veiktās mežsaimnieciskās darbības, respektīvi, audzes apsaimniekošanas vēsture, kā arī, cik ilgi infekcija attīstījies audzē (Stenlid, Redfern 1998). Savukārt, ja apmežota inficēta platība, izšķiroša nozīme ir iepriekšējās paaudzes celmiem. Zviedrijā un Somijā veiktie pētījumi liecina, ka attiecīgi 65% un 71% *Heterobasidion* infekciju saistītas ar iepriekšējās paaudzes kokiem (Stenlid 1987; Piri 2003a).

No inficēta celma saknēm sēnes micēlijs var izplatīties blakus augošos kokos vai celmos sakņu kontaktu un saaugumu vietās. Salīdzinot savā starpā no vairākiem inficētiem kokiem izdalītu sēnes micēliju, var noteikt infekcijas primāro avotu. *Heterobasidion* genotipu struktūras analīze konkrētā audzē ļauj izprast infekcijas izcelsmes raksturu, kā arī prognozēt turpmāko attīstību (Piri 2003b). Mūsu ierīkotajos parauglaukumos kūdras augsnēs konstatēti genotipi, kas ietver tikai vienu koku vai celmu, kā arī lielāki genotipi, kas ietver vairākus kokus/celms (Zīm. 1). Pavisam 11 ierīkotajos parauglaukumos izdalīts 71 genotips. Genotipi, ko veido viens vai divi koki sastāda attiecīgi 75% un 7%, bet genotipi, kurus veido 3 un vairāk koku – 18%. Arī Somijā veiktā pētījumā audzēs, kur veiktas kopšanas cirtes, 85% izdalīto genotipu iekļāva tikai vienu celmu. (Piri, Korhonen 2008). Mūsu iegūtie dati liecina, ka analizētajās audzēs ar kūdras augsnēm 25% gadījumā *Heterobasidion* infekcija izplatījies sēnes micēlijam no inficētajiem kokiem ieaugot veselo koku saknēs.

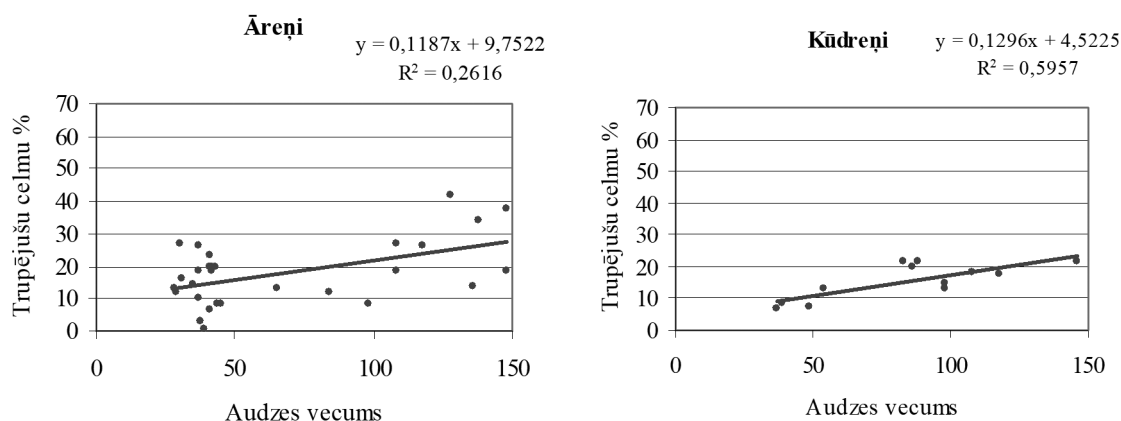


Zīmējums 1. Ar *Heterobasidion* inficēto koku/celmu sastopamība kūdras augsnēs:
 A – sēnes micēlijs pamatā izplatījies egļu saknēs; B – *Heterobasidion* infekcijas avots ir bazīdijsporas.

Genotipu skaits ierīkotajos parauglaukumos svārstās no 3 līdz 15 (vidēji 6,5), savukārt inficēto koku/celmu skaits genotipos ir no 1 līdz 12 – vidēji viens genotips iekļauj 1,7 kokus vai celmus. Mūsu iegūtie rezultāti uzrāda līdzīgas vērtības salīdzinājumā ar citu autoru iegūtajiem datiem. Apkopojot pētījumu rezultātus par vienā genotipā konstatēto koku skaitu vienvecuma egļu audzēs Somijā, Zviedrijā, Norvēģijā un Lietuvā secināts, ka inficēto koku skaits ir robežās no 1 līdz 3,6 (Piri, Valkonen 2013 un cit. lit.). Iespējams, ka kūdras augsnēs *Heterobasidion* infekciju un tātad arī izplatību ietekmē augsnes mikroflora (Korhonen, Stenlid 1998).

Arī Latvijā veiktos pētījumos kūdras augsnēs konstatēts mazāks inficēto egļu īpatsvars, salīdzinot ar minerālaugsnēm (Мангалис 1975, Arhipova *et al.* 2011). *Heterobasidion* izplatību var ietekmēt arī citas trupi izraisošas sēnes, piemēram, celmene *Armillaria* spp. (Piri 2003a; Shönhar 1988; Rönnberg, Jørgensen 2000). Mūsu analizētajos parauglaukumos šaurlapju kūdreņos (īpaši Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas mežu novada teritorijā) uz kalnušu egļu stumbriem pat līdz 2,5 m augstumam tika atrasti *Armillaria* spp. auglķermeņi, bet augsnē un uz izgāztu egļu stumbriem konstatētas sēnes rizomorfas. No kalnušiem kokiem ar *Armillaria* spp. auglķermeņiem *Heterobasidion* tīrkultūrā parasti neizdevās izdalīt. Citu autoru līdzšinējie pētījumi liecina, ka inficētā audzē, palielinoties audzes vecumam, trupējušu koku īpatsvars pieaug (Swedjemark, Stenlid 1993; Piri 2003b; Vollbrecht, Jørgensen 1995; Arhipova *et al.* 2011; Chomicz 2013).

LVMI Silava veiktie pētījumi (Gaitnieks 2009) liecina, ka, palielinoties audzes vecumam, trupējušo koku īpatsvars pieaug gan nosusinātās kūdras, gan minerālaugsnēs (Zīm. 2). Kā redzams, korelācija kūdras augsnēs ir pat augstāka, salīdzinājumā ar minerālaugsnēm. Tomēr jāatzīmē, ka analizēto parauglaukumu skaits kūdreņos ir salīdzinoši neliels (N=12).



Zīmējums 2. Trupējušo koku īpatsvars atkarībā no egļu audzes vecuma.

Heterobasidion micēlija augšanas ātrums egļu stumbrā (mākslīgā infekcija) ir apmēram 0.2-0.4 mm gadā (Stenlid, Redfern 1998). Mūsu pētījumi liecina, ka 41 gadu vecās egļu audzēs kūdreņos augošu koku stumbros sakņu piepes micēlijs ir izplatījies 1,1-7,5 m (vidēji 4,4 m); 62 gadus vecās audzēs 1,4-8,6 m (vidēji 4,8 m); bet 111 gadus vecās eglēs 4,8-12,6 m (vidēji 7,6 m). Tātad, pieaugot audzes vecumam, ne tikai tiek veicināta patogēna akumulācija egļu saknēs un infekcijas centru paplašināšanās, bet arī pieaug sēnes izraisīto mežsaimniecisko zaudējumu apjoms. Turklāt kūdreņos, īpaši Kp meža tipā, ko raksturo bagātīga veģētācija, uz izcilātu celmu saknēm un mežā atstātām lielu dimensiju egles koksnes mežizstrādes atliekām veidojas ļoti daudz sakņu piepes auglķermeņu (Stivriņa *u.c.* 2010), kas, savukārt sekmē sēnes primāro infekciju

ar bazīdijsporām (Gaitnieks *et al.* 2018). Zviedrijā veiktos pētījumos noskaidrots, ka inficētās egļu audzēs veicot kopšanas cirtes tiek veicināta sēnes sekundārā izplatība, jo celmu saknēs *Heterobasidion* micēlijs attīstās apmēram divas reizes ātrāk nekā augošos, inficētos kokos (Bendz-Hellgren *et al.* 1999). Lai ierobežotu sakņu trapes izraisītos zaudējumus egļu audzēs, inficētās platībās ieteicams samazināt aprites laiku un apsvērt kopšanas ciršu lietderību.

Turpmākajos pētījumos jānovērtē citas sakņu trupi izraisošās sēnes – celmenes – sastopamība egļu audzēs, kā arī sēnes izraisītie mežsaimnieciskie zaudējumi.

Secinājumi

1. Līdzšinējie pētījumi liecina, ka skuju koku inficēšanās risks ar sakņu piepi *Heterobasidion* spp. kūdras augsnēs ir zemāks salīdzinājumā ar minerālaugsnēm. Tomēr Latvijā nosusinātās kūdras augsnēs iespējama ļoti augsta egļu inficētība (līdz pat 30%) ar sakņu piepi. Kūdras augsnēs bagātīgā veģetācija veicina intensīvu sakņu piepes auglīķermeņu veidošanos, kas savukārt paaugstina infekcijas risku ar sporām blakus esošajās audzēs.
2. Kūdras augsnēs *Heterobasidion* raksturīga gan izplatība ar bazīdijsporām, gan ar micēliju, inficējot veselo koku saknes. Kūdras augsnēs sakņu trapes izplatība pieaug, palielinoties audzes vecumam. Sēnes micēlijs 111 gadus vecās eglēs, izplatās stumbrā līdz pat 12,6 m augstumam (vidēji 7,6 m).

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāti un aizstāvēti divi maģistra darbi.
- II. Kļaviņa D. Parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst.) ektomikorizas apsaimniekotās mežaudzēs Latvijā. Promocijas darbs. Aizstāvēts 2015. gada rudenī. Darba zinātniskie vadītāji: Gaitnieks T., Muižnieks I., Menkis A.
- III. Gaitnieks T., Brauners I., Kenigšvalde K., Zaļuma A., Brūna L., Jansons J., Burņeviča N., Lazdiņš A., Vasaitis R. (2018). Infection of pre-commercially cut stumps of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* by *Heterobasidion* spp. – a comparative study. *Silva Fennica*, 52(1): 1-7.
- IV. Sagatavos zinātniskais pārskats – literatūras apskats – par sakņu piepes *Heterobasidion* spp. attīstību egļu audzēs kūdras augsnēs.

Publikācijas

1. Arhipova, N., Gaitnieks, T., Donis, J., Stenlid, J., Vasaitis, R. (2011). Butt rot incidence, causal fungi, and related yield loss in *Picea abies* stands of Latvia. *Canadian Journal of Forest Research*, 41, 2337–2345.
2. Bendz-Hellgren, M., Brandtberg, P.-O., Johansson, M., Swedjemark, G., Stenlid, J. (1999). Growth rate of *Heterobasidion annosum* in *Picea abies* established on forest land and arable land. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14, 402–407.
3. Chomicz, E. (2013). Incidence of butt rot in Norway spruce seed stands in Poland's mountain regions assessed with sonic tomography. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 55(4): 174-180.
4. Kļaviņa D. (2015). Parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst.) ektomikorizas apsaimniekotās mežaudzēs Latvijā. Promocijas darbs. Latvijas Universitāte.
5. Gaitnieks T., Brauners I., Kenigšvalde K., Zaļuma A., Brūna L., Jansons J., Burņeviča N., Lazdiņš A., Vasaitis R. (2018). Infection of pre-commercially cut stumps of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* by *Heterobasidion* spp. – a comparative study. *Silva Fennica*, 52(1): 1-7.
6. Gaitnieks, T. (2009). Sakņu trapes uzraudzība un ierobežošana skujkoku mežos. Starpatskaite, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", 68 lpp.
7. Hantula, J. 2010. Sustainability of boreal forests and forestry in a changing environment. In: Mery G., Katila P., Galloway G., Alfaro R. I., Kanninen M., Lobovikov M., Varjo J. (eds.). *Forests and society - responding to global drivers of change*. IUFRO World Series, 25, 266.
8. Korhonen, K. (1978). Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu*, 94(6), 1–25.
9. Korhonen, K., Capretti, P., Karjalainen, R., Stenlid, J. (1998). Distribution of *Heterobasidion* intersterility groups in Europe. – In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hütermann, A. (eds.) *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 93–104.

10. Korhonen, K., Holdenrieder, O. (2005). Neue Erkenntnisse über den Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s.l.). *Forst und Holz*, 5, 206–211.
11. Korhonen, K., Stenlid, J. (1998). Biology of *Heterobasidion annosum*. – In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hütermann, A. (eds.) *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 43–70.
12. Lauska, A. (1970). Priedes un egles rezistence pret mākslīgu *Fomes annosus* (Fr.) Cke infekciju. *Jaunākais mežsaimniecībā*, XII, 35-42.
13. Lindberg, M., Johansson, M. (1991). Growth of *Heterobasidion annosum* through bark of *Picea abies*. *Forest Pathology*, 21(6-7), 377-388.
14. Mattila, U., Nuutinen, T. (2007). Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica*, 41, 29-43.
15. Piri, T. (2003a). Early development of root rot in young Norway spruce planted on sites infected by *Heterobasidion* in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 604-611.
16. Piri, T. (2003b). Silvicultural control of *Heterobasidion* root rot in Norway spruce forests in southern Finland. Regeneration and vitality fertilization of infected stands (väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 898. 64 s. + 4 osajulk.
17. Piri, T., Korhonen, K. (2008). The effect of winter thinning on the spread of *Heterobasidion parviporum* in Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 38:2589-2595.
18. Piri, T., Valkonen, S. (2013). Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 43:872-877.
19. Redfern, D.B. (1984). Factors affecting spread of *Heterobasidion annosum* in plantations. – In: Kile, G.A. (ed.) *Proceedings of the sixth international conference on root and butt rots of forest trees*, CSIRO, Melbourne, Australia, 104-114.
20. Redfern, D.B., Pratt, J.E., Whiteman, A. (1994). Stump treatment against *Heterobasidion annosum*: a re- appraisal. In: Johansson, M., Stenlid, J. (eds.). *Root and butt rots: proceedings of the IUFRO Working Party S2.06.01*, Wik, Sweden and Haikko, Finland, August 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 656–661.
21. Rennerfelt, E. (1946). Om rotr tan (*Polyporus annosus* Fr.) I Sverige. Dess utbredning och sätt att uppträda. *Meddel. Statens Skogsforskningsinst.* 35(8), 88pp.
22. Rönnerberg, J., Berglund, M., Johansson, U., Cleary, M. (2013). Incidence of *Heterobasidion* spp. following different thinning regimes in Norway spruce in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 289, 409-415.
23. Rönnerberg, J., Jørgensen, B.B. (2000). Incidence of root and butt rot in consecutive rotations of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15, 210-217.
24. Shönhar, S. (1988). Zur Ausbreitung von *Heterobasidion annosum* in Fichtenbeständen. *Forst und Holz*. 7:156-158.
25. Stenlid, J. (1985). Population structure of *Heterobasidion annosum* as determined by somatic incompatibility, sexual incompatibility, and isoenzyme patterns. *Canadian Journal of Botany*, 63, 2268–2273.
26. Stenlid, J. (1987). Controlling and predicting the spread of *Heterobasidion annosum* from infected stumps and trees of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2, 187-198.
27. Stenlid, J., Redfern, D.B. (1998). Spread within the Tree and Stand. – In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hütermann, A. (eds.) *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 125–141.
28. Stivriņa, B., Kenigvalde, K., Gaitnieks, T. (2010). Lielu dimensiju ciršanas atlieku ietekme uz *Heterobasidion* spp. infekcijas izplatību. *Mežzinātne*, 22(55), 88–102.
29. Swedjemark, G., Stenlid, J. (1993). Population dynamics of the root rot fungus *Heterobasidion annosum* following thinning of *Picea abies*. *Oikos*, 66(2), 247-254.
30. Thor, M., Arlinger, J., Stenlid, J. (2006). *Heterobasidion annosum* root rot in *Picea abies*: Modelling economic outcomes of stump treatment in Scandinavian coniferous forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21(5), 414–423.
31. Vollbrecht, G., Jørgensen, B.B. (1995). The effect of stump treatment on the spread rate of butt rot in *Picea abies* in Danish permanent forest yield research plots
32. Мангалис, И. К (1975). Корневая губка в культурах ели и естественных ельниках. Лиела Я. Ель и ельники Латвии. Рига, “Зинатне”, 111-117 стр.

DISTRIBUTION OF *HETEROBASIDION* SPP. IN EVEN-AGED SPRUCE STANDS ON PEAT SOIL

**Lauma Brūna¹, Astra Zaļuma¹, Dārta Kļaviņa¹, Natālija Burņeviča¹,
Liene Dārta Lukstiņa¹, Agrita Kenigšvalde¹, Tālis Gaitnieks^{1*}**

¹ Latvian State Forest Research Institute "Silava", Salaspils, Latvia

* talis.gaitnieks@silava.lv,

Root rot fungi *Heterobasidion* spp. cause great economical losses in managed conifer stands. The losses in EU are estimated to be at least 500 million euros per year. Norway spruce is one of the most commonly used tree species in forestry in Latvia. However, spruce stands are with high infection risk by *Heterobasidion* spp. Wood decay in spruce can spread in height of 12 m and infect healthy trees through root contacts. The aim of the study was to determine *Heterobasidion* spp. frequency in spruce stands on drained peat soils. The objectives were: i) to evaluate distributions of root and stem rot causing fungi in even-aged spruce stands on drained peat soil; ii) to analyze *Heterobasidion* spp. population structure on even-aged spruce stands on drained peat soil and iii) to analyze spread of root and stem rot in context of stand age.

Analysis of *Heterobasidion* distribution in even-aged spruce stands on peat soils was done in six previously inspected spruce stands in four districts of Latvia. At the project time, 458 wood samples from trees and stumps were collected. In selected stands 11 round sample plots with area from 100 to 500 m² were placed. Size of sample plots was selected by considering the area of *Heterobasidion* disease centers in stands. In each sample plot all trees and stumps were sampled and mapped. Wood samples were flame sterilized and incubated on agar medium and *Heterobasidion* was isolated. To analyze *Heterobasidion* population structure somatic incompatibility test was used. *Heterobasidion* species were determined by intersterility test.

To assess distribution of decay in spruces of different age, 60 decayed trees were cut. Length and diameter of tree were measured on stump level and DBH (diameter at breast height), and length of decay column and diameter of decayed area at stump level and DBH were measured. Data from previous studies were added to collected data to calculate yield losses caused by *Heterobasidion* spp.

On average, 16.3% spruces were infected by *Heterobasidion* spp. in even-aged spruce stands on drained peat soils. However, in some stands frequency of *Heterobasidion* was 30%. In sample plots both, primary infection by spores and secondary infection through root contacts were determined. In total, 71 genets were observed. 75% of genets included one stump/tree, 7% contained 2 trees or stumps but 18% of genets contained 3 or more trees/stumps. One genet consisted of 1.7 trees, on average. Yield losses caused by *Heterobasidion* increase by the age of the stand. In stands of 41 year, decay column was 4.4 m high, on average. In stands on age of 62 and 111 years decay has spread on average 4.8 m and 7.6 m, respectively.

To limit spread of *Heterobasidion* and its caused yield losses rotation period should be shorten. Utility of pre-commercial thinning should be considered.

**PĒTĪJUMI KOKSNES APSTRĀDES,
MEŽA PRODUKTU LOGĪSTIKAS UN
PLĀNOŠANAS JOMĀ**

**RESEARCH IN SPHERE OF WOOD
PROCESSING, LOGISTICS AND
PLANNING OF FOREST PRODUCTS**

PĒTĪJUMI KOKSNES APSTRĀDES, MEŽA PRODUKTU LOĢISTIKAS UN PLĀNOŠANAS JOMĀ

D.Dubrovskis^{1*}

¹ Meža fakultāte, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

* dagnis.dubrovskis@llu.lv

Pētījumi veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātē. Pētījumi tika veikti trīs virzienos, īstenojot trīs apakšprojektus:

1. Apakšprojekts: Izpētīti un izstrādāti jauni tehnoloģiskie risinājumi energoefektivitātes uzlabošanai koksnes produktu un biomasas ražošanā un koksnes izmantošanai būvniecībā. Pētīti jauni tehnoloģiskie risinājumi koksnes izmantošanai būvniecībā, noskaidrotas energoefektivitātes uzlabošanas iespējas koksnes pārstrādes tehnoloģiskajos procesos, kā arī sagatavotas rekomendācijas koksnes biomasas izmantošanas efektivitātes paaugstināšanai enerģētikā. Attīstības tendences pasaulē koksnes apstrādes tehnoloģiju jomā rāda, ka zinātne, pētniecības un attīstības ziņā tuvākos gados būs vērsta uz enerģijas patēriņa samazinājumu pašā ražošanas procesā, kas saistīts ar kopīgo energoresursu izmaksu nemītu pieaugumu. Arī koksnes energoresursu pētniecībā ir daudz neatklātu parametru un kopsakarību, kas varētu paaugstināt energokoksnes lietderīgo izmantošanu. Pievienotās vērtības paaugstināšana ir galvenais virzītājspēks produktu attīstībā. Mūsdienās ir svarīgi attīstīt produktus, kas jau ir pieprasīti, bet vēl svarīgāk attīstīt tos produktus, pēc kuriem pieprasījums augtu tos mērķtiecīgāk virzot paraudzētajam tirgum un ne tikai, bet arī saistīto nozaru atbilstošajās jomās. Galvenie pētījuma rezultātu lietotāji būs koksnes izmantotāji enerģētikā un koksnes būvmateriālu ražotāji, bet ne tikai, jo arī saistīto nozaru speciālisti, piemēram, projektētāji, būvnieki, transportētāji, ķīmiķi, enerģētiķi, tikai iegūs no veikto pētījumu rezultātiem, kas vērsti uz enerģijas resursu samazinājumu pašā koksnes ražošanas, kā arī to ekspluatācijas procesā. Pētniecības procesā ir iesaistīti LLU doktoranti, kuri pēta Latvijas kokrūpniecības nozares uzņēmumu aktuālās problēmas. Šie uzņēmumi ir: SIA „Dendrolight Latvija”; SIA „MiTek Baltic”; SIA „WoodCon”; A/S „Latvijas Valsts meži”.

2. Apakšprojekts: Noskaidrota Latvijas saimnieciski nozīmīgāko koku sugu (priede, egļe, bērzs, apse) augstvērtīgo apaļo kokmateriālu (zāģbaļķu un finierkluču) ekonomiskās vērtības samazināšanās atkarībā no koksnes vainu attīstības, tos uzglabājot. Novērtēta (zāģbaļķi, finierkluči) žūšanas plaisu, kukaiņu un aplievas sēņu bojājumu attīstība atkarībā no kokmateriālu sagatavošanas veida, caurmēra, mizas nobrāzuma, uzglabāšanas vietas, uzglabāšanas ilguma un klimatiskajiem apstākļiem, noteikta apaļo kokmateriālu svāra samazināšanās un kvalitātes izmaiņu dinamika uzglabājot kokmateriālus, kā arī veikta ekonomiskā analīze. Projekta ietvaros izstrādātas rekomendācijas apaļo kokmateriālu uzglabāšanai saimnieciski nozīmīgām koku sugām Latvijas teritorijā. Apaļie kokmateriāli, to uzglabāšanas procesā, tiek pakļauti ārējiem faktoriem, kas ietekmē to kvalitāti. Kā galvenie apaļo kokmateriālu (zāģbaļķi, finierkluči) kvalitātes samazināšanās cēloņi minami žūšanas plaisas, kukaiņu un aplievas sēņu bojājumi. Ilgstoši uzglabājot kokmateriālus krautuvēs, žūšanas ietekmē, samazinās to svārs, kas samazina kokmateriālu kravas kopējo svāru un palielina pārvadājumu tilpumu. Tāpēc kokmateriālu uzglabāšana augšgala krautuvēs ir ekonomiski pamatota apstākļos, kad nepasliktinās kokmateriālu kvalitāte. Tomēr ilgstošas uzglabāšanas rezultātā iespējama apaļo kokmateriālu kvalitātes samazināšanās. Praksē koksnes kvalitātes pasliktināšanos uzglabāšanas laikā ne vienmēr ir iespējams izlabot tālākā koksnes pārstrādes procesā. Līdz ar to, plaisu, sēņu un kukaiņu bojātiem zāģbaļķiem ir pazemināta iepirkuma cena. Projekta ietvaros tiks pētīta kvalitātes samazināšanās dinamika atkarībā no apaļo kokmateriālu uzglabāšanas apstākļiem un ilguma.

Meža apsaimniekotājiem un mežizstrādātājiem, zinot apaļo kokmateriālu kvalitātes izmaiņu ietekmējošo faktoru robežvērtības, būs iespējams precīzāk plānot mežizstrādes tehnoloģisko procesu izvairoties (vai minimizējot) no apaļo kokmateriālu kvalitātes pazemināšanās. Pētījuma rezultātiem ir praktiska nozīme kokmateriālu loģistikas plānošanā. Pētniecības procesā ir iesaistīti LLU doktoranti.

3. Apakšprojekts: Izvērtētas vietējo koksnes resursu mobilizācijas iespējas ilgtspējīgai un sezonāli vienmērīgai kokapstrādes uzņēmumu nodrošināšanai ar apaļajiem kokmateriāliem. Turpināts iepriekšējās programmas ietvaros uzsāktais koksnes pirmapstrādes uzņēmumu monitorings, noskaidrota apaļo kokmateriālu pārstrādes apjomu dinamika, pārstrādē izmantoto apaļo kokmateriālu struktūra, ražotās produkcijas sortimentācija, ražotņu ģeogrāfiskais izvietojums. Apaļo kokmateriālu pieejamība ir viens no kokapstrādes uzņēmumu svarīgākajiem konkurētspējas saglabāšanas jautājumiem. Kokrūpniecības uzņēmumu ilgtspējīga attīstība saistīta ar apaļo kokmateriālu piegāžu sezonālu un ilgtermiņa stabilitāti. Savukārt kokmateriālu piegāžu stabilitāti ietekmē mežizstrādes apstākļi (apaļo kokmateriālu sagatavošana, pievešana un izvešana), kā arī kokmateriālu transportēšanas apstākļi. Tāpēc praksē tiek veidoti lieli koksnes uzkrājumi mežā pie ceļa, bet koksnes pārstrādes uzņēmumos tiek uzkrāta koksne krautuvēs. Lielo apaļo kokmateriālu uzkrājumu nepieciešamība meža nozares uzņēmumiem nes zaudējumus lielo iesaldēto naudas līdzekļu dēļ, ilgstoši uzglabāto kokmateriālu kvalitātes

pazemināšanās dēļ, kā arī mežā krautuvēs uzglabātās koksnes zādzību dēļ. Projekta ietvaros pētīti faktori, kas ietekmē apaļo kokmateriālu piegādes ķēdes efektivitāti, meklēti risinājumi un izstrādātas rekomendācijas vienmērīgai koksnes plūsmas nodrošināšanai. Novērtēti kokmateriālu ražošanas apjomi un sniegtas kokmateriālu pieejamības ilgtermiņa prognozes. Pētījuma rezultātiem ir praktiska nozīme kokmateriālu loģistikas plānošanā un attīstībā. Pētniecības procesā ir iesaistīti LLU doktoranti.

Iegūtā pētījumu bāze jaunajiem zinātniekiem ļaus izstrādāt maģistra un promocijas darbus, publicēt pētījumos iegūtos rezultātus publikācijās un dalīties ar gūtajām atziņām konferencēs. Pētījuma rezultāti prezentēti ikgadējā LLU organizētajā starptautiskajā konferencē „Research for rural development”. Pēc konferences tiek izdoti arī konferenču rakstu krājums, kuru tiek izvietoti SCOPUS datu bāzē. Starppētījumu rezultāti prezentēti ikgadējā LLU Meža fakultātes organizētajā konferencē „Zinātne un prakse nozares attīstībai”, kā arī vairākās citās konferencēs, kurās realizētie pētījumi tiks publicēti konferenču materiālos. Veidoti populārzinātniski raksti publicēšanai Latvijas meža nozares žurnālā „BALTIJAS KOKS”. Pētījuma rezultāti izmantoti arī LLU studiju procesā gan pamatstudiju, gan maģistra studiju programmās.

RESEARCH IN SPHERE OF WOOD PROCESSING, LOGISTICS AND PLANNING OF FOREST PRODUCTS

D.Dubrovskis^{1*}

¹ *Forest faculty, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia*

** dagnis.dubrovskis@llu.lv*

Research projects have been carried out in Latvia University of Agriculture, Faculty of Forestry. The studies were carried out in three directions, implementing three sub-projects:

1st sub-project: New technological solutions for improvement of energy efficiency in production of wooden products and biomass, and for the use of wood in construction have been researched and developed. New technological solutions for the use of wood in construction have been explored, the possibilities of improving energy efficiency in the process of wood processing have been clarified, as well as recommendations for increasing the efficiency of use of wood biomass in the energy sector have been prepared. Global trends in wood processing technology show that science, in terms of research and development, in the next few years, will be focused on the reduction of energy consumption in the production process, which is associated with the continual increase in energy costs. Also, there are lot of undiscovered characteristics and regularities in the research of wood energy resources, which can increase an effective use of energy wood. Increase of the added value is the main driving force in product development. Nowadays, it is important to develop products that are already in demand, but even more importantly, to develop the products for which demand would grow by targeting them to an intended market, as well as to relevant fields of related industries. The main users of the research results will be users of energy wood and producers of wood construction materials, but not only they, also specialists of related industries, for instance, designers, builders, transporters, chemists and power industry specialists will benefit from the research results that are focussed on the reduction of the consumption of energy resources both in the process of wood production, as well as in the exploitation. LLU doctoral students were involved in the research process and they studied challenges of the companies involved in Latvian timber industry. These companies were “MiTek Baltic” Ltd; “WoodCon” Ltd and JSC “Latvijas Valsts meži”.

2nd sub-project: The economic value reduction in high-end round timber (saw logs and veneer logs) made of the economically most important tree species of Latvia (pine, spruce, birch, aspen), depending on the progression of damages at the time of storage have been clarified. The development of drying cracks, insect and fungus damages in the high-end round timber depending on the storage duration, climatic conditions, the type of preparation, bark bruising, location of storage and diameter have been assessed. The decline in the weight of the round timber and changes in the quality of the timber during the storage, as well as an economic analysis have been determined. Within the project recommendations for the storage of round timber of most important tree species in the territory of Latvia have been developed. Round timber in the process of storage is subject to external factors that affect their quality. Drying cracks, insects and sapwood mushrooms are the main causes of the decline in the quality of the round timber (saw logs and veneer logs). Under the influence of drying, long-term storage of timber in landing places reduces their weight, which reduces the total weight of the timber for transportation, but increases the volume of the load. Therefore, the storage of timber at the road-side is economically feasible in the absence of deterioration in timber quality. However, prolonged storage may result in a reduction of the quality of round timber. In practice, wood deterioration during storage cannot always be corrected later in the wood processing. Therefore saw-logs damaged by cracks, fungus and insects has reduced purchase price in the market. Knowing the threshold of factors affecting the changes in quality of round timber, forest managers and loggers now have an opportunity to plan the technological process of logging more accurately, avoiding (or minimizing) degradation of round timber. The results of the research have a practical role in the planning of timber logistics. LLU doctoral students were involved in the research process.

3rd sub-project: The opportunities for sustainable and seasonally steady mobilization of round timber for wood processing plants, using local wooden resources have been assessed. The monitoring of timber primary processing plants, detecting the dynamics of round timber processing volumes, the structure of round timber used in processing, the assortment of production and the geographical location of the manufacturing units have been continued. The availability of round timber is one of the key issues for maintaining the competitiveness of wood processing companies. Each processing establishment would like the seasonal supply of round timber to be steady. The sustainable development of the timber industry is linked to the stable seasonal and long-term supply of the round timber. However, the stability of timber supplies is affected by logging and timber transport conditions. Therefore, in practice, large volumes of timber are stored in the forest near the road and in the log yards of wood processing plants. The necessity to store large volumes of round timber causes losses to

enterprises of forest industry due to huge frozen funds, long-stored timber degradation and theft of timber from storage in the forest. Within the project factors affecting round timber supply chain efficiency were studied and recommendations to ensure a smooth flow of wood were developed. The processing volumes and long-term forecasts of availability of round timber have been estimated. The results of the research has practical importance in the planning and development of round wood logistics. LLU doctoral students were involved in the research process.

The obtained study base will enable scientists to develop new Master's and Doctoral theses, include research results in publications and share the gained lessons in conferences. The results of the study were presented at the annual LLU organized international conference „Research for rural development”. Proceedings of the conference will be issued and included in SCOPUS data base. Results of intermediate studies were presented at the annual conference “Science and practice for development of the industry” organized by Forest Faculty of LLU as well as in several other conferences. The accomplished research results are published in the materials of different conferences. Popular scientific articles were created for publication in the Latvian forest industry magazine “BALTIJAS KOKS”. The results of the studies are used in the process of studies at LLU both in Bachelor's degree programs as well as in Master's degree programs.

KOKSNES PIRMAPSTRĀDES UZŅĒMUMU MONTORINGS UN NODROŠINĀJUMS AR KOKSNES RESURSIEM

MONITORING OF PRIMARY WOOD PROCESSING COMPANIES AND AVAILABILITY OF WOOD RESOURCES

Jānis Krūmiņš^{1*}, Dagnis Dubrovskis¹, Lita Vanaga¹, Ingus Šmits², Salvis Daģis²

¹ Meža fakultāte, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

² Informācijas tehnoloģiju fakultāte, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

* janis.krumins@llu.lv

Latvijas Republikā kopš neatkarības atjaunošanas pakāpeniski pieaug koksnes pirmapstrādes uzņēmumu tehnoloģiskās iespējas un pārstrādes jaudas. Pieaugot ražošanas jaudām un apjomam, aizvien aktuālāks kļūst jautājums par koksnes resursu pieejamību un izmantošanu tādā līmenī, kas nodrošinās meža nozares ilgtspējību. Apaļo kokmateriālu importam ir tendence samazināties. Līdz ar to ilgtermiņā Latvijas kokrūpniecības attīstība jābalsta uz vietējā tirgū pieejamajiem koksnes resursiem. Pētījuma mērķis ir novērtēt koksnes pirmapstrādes uzņēmumu apaļo kokmateriālu pārstrādes apjomus, to dinamiku kopš 2006.gada, pārstrādē izmantoto apaļo kokmateriālu struktūru, ražotās produkcijas sortimentāciju, kā arī salīdzināt kopējos apaļo kokmateriālu patēriņa apjomus ar aprēķinātajiem ilgtspējīgiem ciršanas apjomiem.

Materiāli un metodes

Latvijas pirmapstrādes uzņēmumu monitoringam tika izmantota iepriekš Valsts pētījumu programmas ietvaros veikto kokapstrādes uzņēmumu aptauju datu bāze un publiski pieejamo interneta resursu datu bāzu (www.1188.lv, www.zl.lv, www.viss.lv, www.lursoft.lv) informācija.

Aptauja tika realizēta gan kā telefonintervija, gan intervējot uzņēmumu pārstāvjus klātienē. Respondentu sniegtā informācija ievadīta interneta vidē izvietotajā datu bāzē. Kopā tika aptaujāti 438 uzņēmumi, no kuriem atbildes sniedza 395, bet 16 pirmapstrādes uzņēmumi ar mazām vai vidējām pārstrādes jaudām kategoriski atteicās piedalīties aptaujā. No visiem aptaujātiem uzņēmumiem 253 uzņēmumi pozicionēja sevi tirgū kā koksnes pirmapstrādes uzņēmumi. Pārējie bija vai nu pārtraukuši savu darbību, vai nodarbojās tikai ar tālākapstrādi, vai arī nesen mainījuši savu darbības profilu. Aptaujā iegūtie dati analizēti laika posmā no 2006. – 2016. gadam.

Analizējot apaļo kokmateriālu pirmapstrādes uzņēmumus, tie tika sadalīti grupās pēc to 2016. gada apaļo kokmateriālu pārstrādes apjomiem:

- lielle - virs 50'001 m³ • gads⁻¹;
- vidējie - 10'001-50'000 m³ • gads⁻¹;
- mazie - 1'001-10'000 m³ • gads⁻¹;
- mikro - līdz 1'000 m³ • gads⁻¹.

Papildus ražotnes tika sadalīti pēc to pārstrādātās koku sugas - pārstrādā tikai skuju koku, pārstrādā tikai lapu koku vai pārstrādā gan skuju koku, gan lapu koku apaļos kokmateriālus.

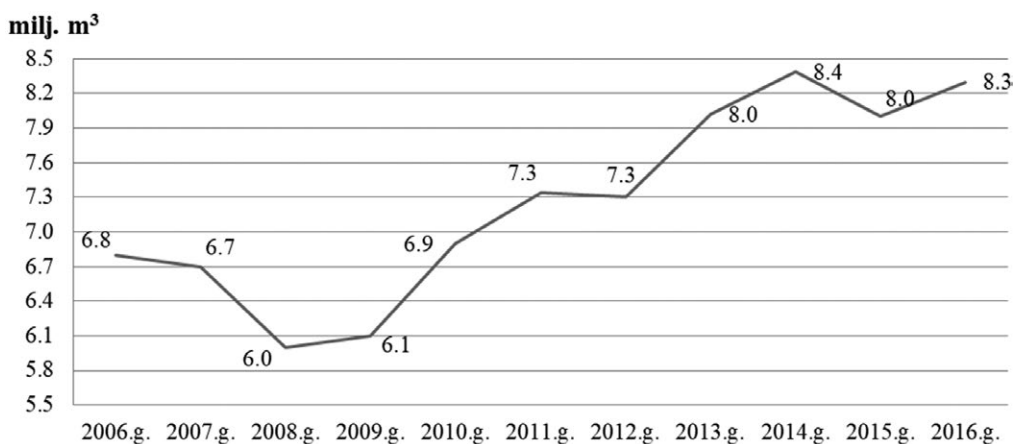
Tika veikta meža resursu stāvokļa novērtēšana, aprēķināti potenciāli iespējamie ikgadējie ciršanas apjomi, kas atbilst ilgtspējīgas meža apsaimniekošanas principiem. Tika novērtēts kokrūpniecības attīstības potenciāls.

Pieejamo koksnes resursu un apaļo kokmateriālu patēriņa ģeogrāfiskā izvietojuma novērtējumam izmantota Valsts Meža dienesta Meža valsts reģistra datu bāze. Izmantojot LLU iepriekš izstrādāto specializēto meža apsaimniekošanas plānošanas datorprogrammu „Meža eksperts”, aprēķināti saimnieciskai izmantošanai pieejamie Latvijas koksnes resursi nākamai simtgadei, kas sadalīti laika periodos pa desmitgadēm. Sākumā šie resursi tika aprēķināti cirsmas pēc gatavības un vēlāk veikta to optimizācija, lai meža resursu tīrā tagadnes vērtība nesamazinātos un ciršanas apjomi būtu sabalansēti ar meža vērtības pieaugumu. Tādējādi tika noteikti ilgtspējīgai izmantošanai pieejamie resursi – apaļo kokmateriālu galveno ciršu krāja un krājas kopšanas ciršu krāja. Ciršu krāja tika aprēķināta atsevišķi skuju un lapu kokiem.

Pieejamo koksnes resursu vizuālajam attēlojumam izmantota pirmās desmitgades vidēji vienā gadā ilgtspējīgai izmantošanai aprēķinātā ciršu krāja pa Latvijas novadiem. Lai dati pa novadiem būtu labāk salīdzināmi, aprēķināta katrā novadā izmantojamā krāja no viena hektāra meža zemju bez saimnieciskās darbības ierobežojumiem.

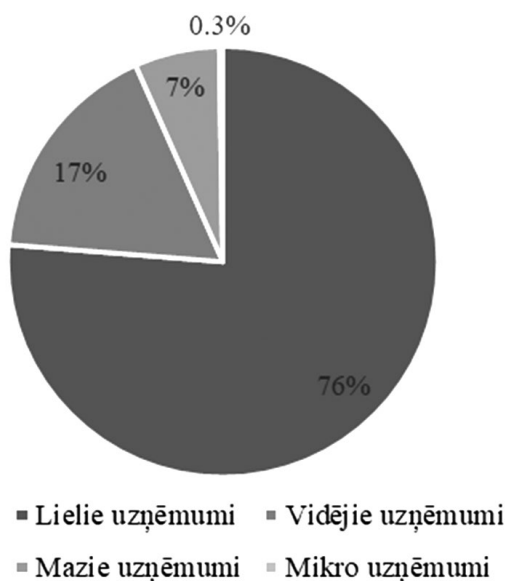
Rezultāti

Laika posmā no 2006. līdz 2008.gadam, apaļo kokmateriālu pārstrādes apjoms (1. attēls) nokritās no 6.8 milj. m³ 2006. gadā uz 6 milj. m³ 2008.gadā, kas bija saistīts koksnes produktu pieprasījuma kritumu globālās ekonomikas lejupslīdes apstākļos un zemajām apaļo kokmateriālu tirgus cenām.



1. attēls. Aptaujāto uzņēmumu kopējais apaļo kokmateriālu pārstrādes apjoms no 2006.-2016.gadam, milj.m³

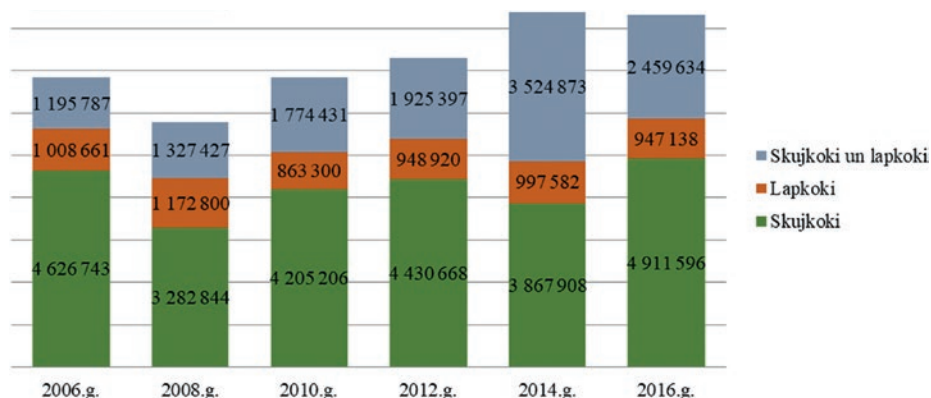
Pieaugot pieprasījumam pēc koksnes produktiem 2009. un 2010. gados, kā arī pateicoties papildus apaļo kokmateriālu piegāžu apjomiem no valsts mežiem, 2010. gadā apaļo kokmateriālu pārstrādes apjoms sasniedza 6.9 milj.m³. Turpmākajos gados, pateicoties augošai privāto meža īpašnieku aktivitātei, apaļo kokmateriālu pārstrādes apjoms pieauga līdz 8-8.3 milj. m³ gadā. Tiek prognozēts, ka turpmākajos gados, nepalielinoties koksnes izejmateriālu pieejamībai, apaļo kokmateriālu pārstrādes apjomi koksnes pirmapstrādes uzņēmumos saglabāsies robežās no 8 līdz 9 milj.m³ gadā.



2.attēls. Aptaujāto kokapstrādes uzņēmumu sadalījums pēc apaļo kokmateriālu pārstrādes apjomiem 2016.gadā,%

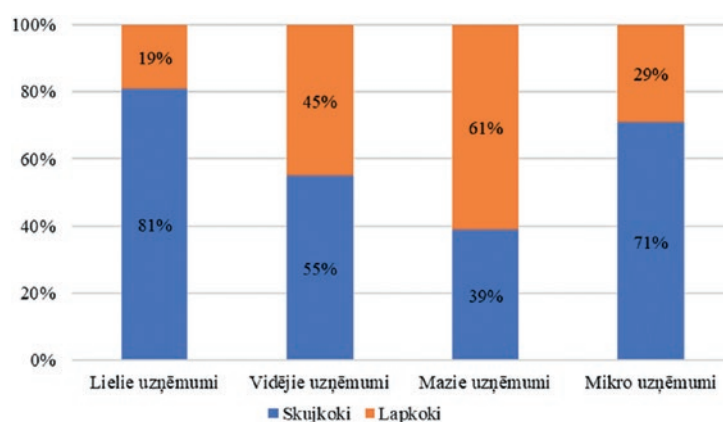
Rezultāti liecina, ka pieaug lielo uzņēmumu īpatsvars kopējā apaļo kokmateriālu pārstrādes apjomā. Lielie uzņēmumi 2014.gadā pārstrādāja 72% no kopējā apaļo kokmateriālu gada pārstrādes apjoma, bet 2016.gadā jau 76% (2.attēls). Mikro uzņēmumu skaitam ir tendence samazināties – daļa pārtrauc savu darbību, daļa nomaina savu darbības profilu un ar koksnes pirmapstrādi vairs nenodarbojas, bet daļa palielina savus pārstrādes apjomus un sasniedz mazo uzņēmumu pārstrādes apjomu līmeni, kas ir robežās no 1001-10000 m³ gadā. Mikro uzņēmumi pārstrādā mazāk nekā 1% no kopējā apaļo kokmateriālu gada pārstrādes apjoma.

Latvijas pirmapstrādes uzņēmumu jaudas galvenokārt koncentrētas uz skujkokiem. Skujkoku koksne no kopējā pārstrādes apjoma veido vidēji 74%. Šāda proporcija pēdējos deviņus gadus praktiski nav mainījusies (3.attēls).



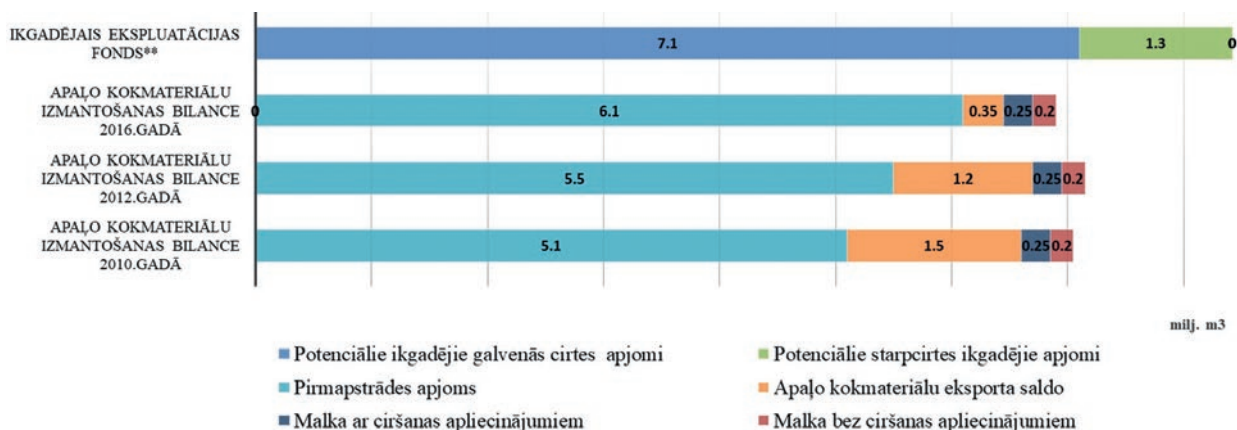
3. attēls. Aptaujāto uzņēmumu kokmateriālu pārstrādes apjoma dinamika pēc pārstrādātās koku sugas no 2006.-2016.g., m³

Aptaujas rezultāti liecina, ka lielo, vidējo un mikro uzņēmumu pārstrādes apjomiem tiek koncentrēti uz skujkoku apaļajiem kokmateriāliem. Savukārt mazajos uzņēmumos dominē lapkoku apaļo kokmateriālu pārstrāde (skatīt 4.attēlu).

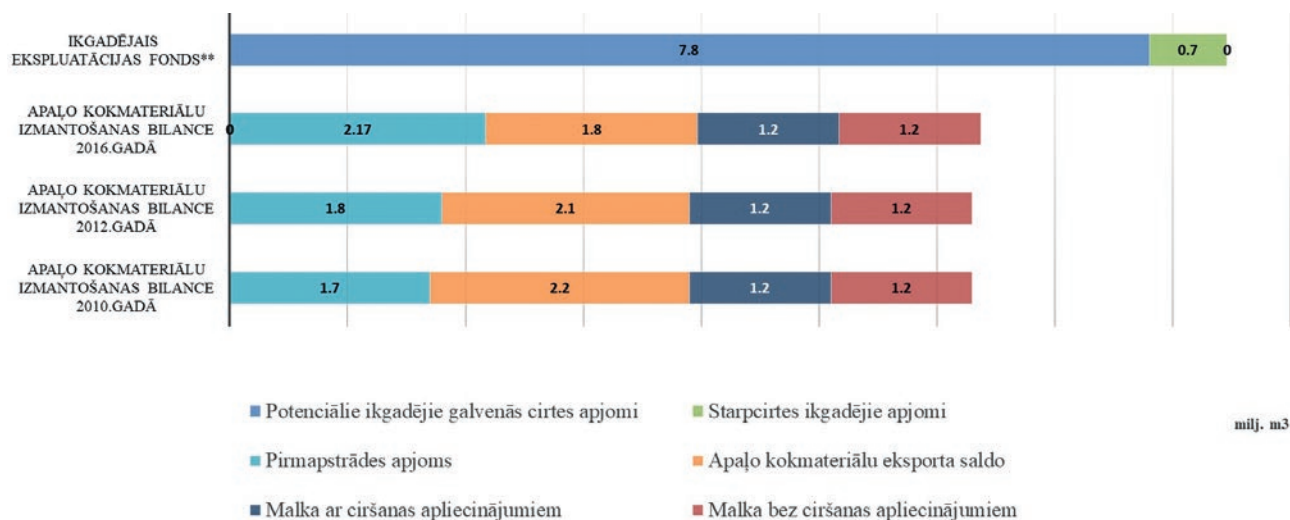


4. attēls. Kokapstrādes uzņēmumu sadalījums pēc pārstrādātās koku sugas 2016. gadā, %

Aprēķinot kopējos ikgadējos potenciālos ciršanas apjomus (galvenā cirte un starpcirte kopā), kas atbilst ilgtermiņa ilgtspējīgas meža apsaimniekošanas principiem atbilstoši spēkā esošajai normatīvo aktu bāzei, aprēķinus balstot uz meža valsts reģistra datiem, tos apstrādājot ar meža apsaimniekošanas plānošanas lēmumu atbalsta datorprogrammu "Meža eksperts", tika novērtēts, ka potenciālie kopējie apjomi (ikgadējais ekspluatācijas fonds) ir 16.9 milj.m³ koksnes, no kuriem 8.4 milj.m³ ir skujkoki un 8.5 milj.m³ lapu koku (skatīt 4. un 5. attēlus). Rezultāti liecina, ka joprojām netiek efektīvi izmantota mīksto lapkoku (baltalksnis, apse) krāja. Atbilstoši LVMI Silava Meža statistiskās informācijas datiem, Latvijā uzkrājušās saimnieciski mazvērtīgas pieaugušo un pāraugušo mīksto lapkoku (apse, baltalksnis) audzes 81.16 milj. m³ un 312.77 tk.ha kopplatībā, kas aizņem 10% no meža zemju kopplatības. Var uzskatīt, ka meža zemes apsaimniekošanas potenciāls šajās platībās netiek izmantots. Latvijas kokrūpniecības uzņēmumi galvenokārt (74%) orientēti uz skujkoku pārstrādi, tomēr meža īpašnieki nocirsto platību atjaunošanā galvenokārt (75% no platības) izmanto lapkokus. Tas nākotnē var novest pie skujkoku deficīta un samazināt meža resursu vērtību.

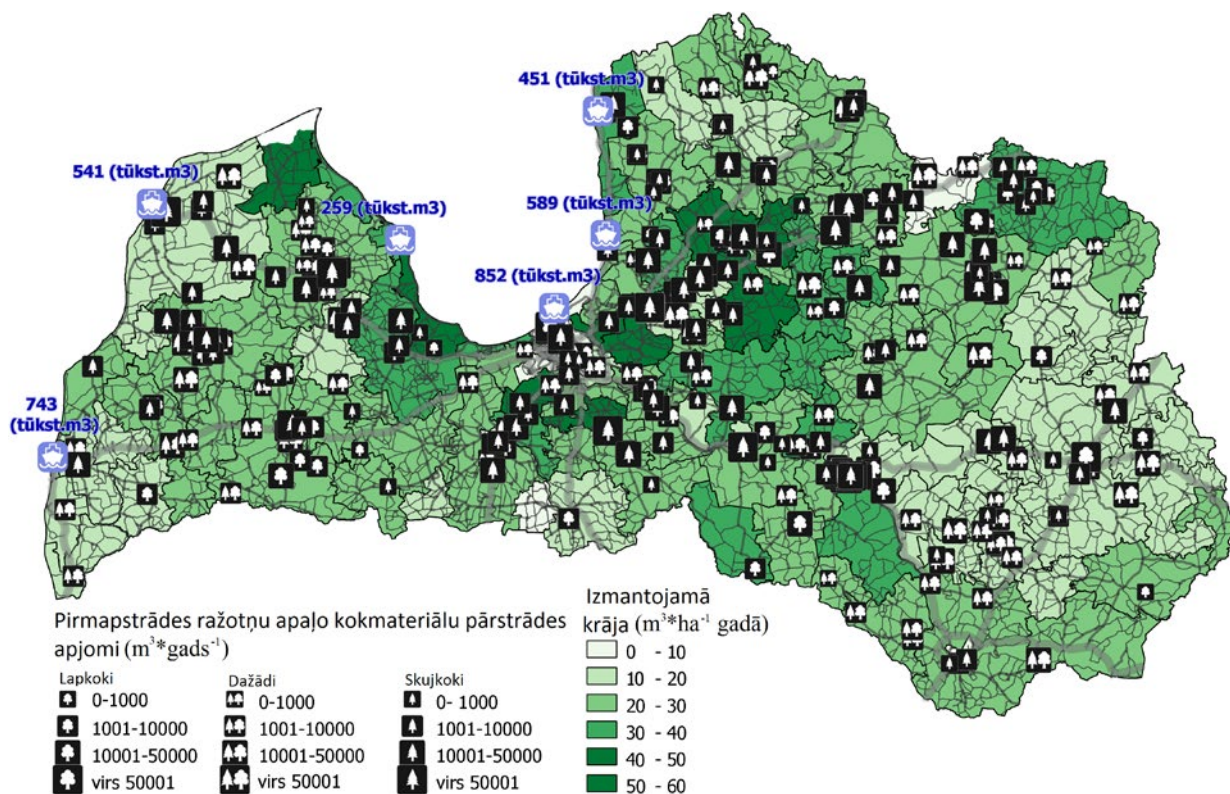


5.attēls. Skujkoku apaļo kokmateriālu izmantoto resursu bilance 2010., 2012. un 2016. gados, milj. m³ (likvidā koksne)



6.attēls. Lapkoku apaļo kokmateriālu izmantoto resursu bilance 2010., 2012. un 2016. gados, milj. m³ (likvidā koksne)

Kokrūpniecības uzņēmumu atrašanās vieta ir atkarīga no pieejamo resursu tuvuma un eksporta iespējām. Vairums lielo un vidējo ražotņu atrodas lielo pilsētu tuvumā vai netālu no valsts galvenajiem autoceļiem (7.attēls). Tas nodrošina gan ērtāku apaļo kokmateriālu piegādi uz ražotni, gan saražotās produkcijas transportēšanu. Lielo pilsētu tuvums ražotnēm garantē arī lielāku kvalificētā darbaspēka izvēles iespēju, salīdzinoši ar ražotnēm, kas atrodas tālu no blīvi apdzīvotām vietām. Reģionos, kuros salīdzinoši vājāk attīstīta infrastruktūra (Vidzemes centrālā augstiene, Austrumlatgale), neskatoties uz pieejamiem resursiem, trūkst vietējo pārstrādes uzņēmumu. Šajos reģionos ir neizmantots koksnes pirmapstrādes potenciāls. Lai noteiktu kur un kāda profila (skuju koku vai lapu koku) pirmapstrādes uzņēmumi vēl būtu jāattīsta, nepieciešams atsevišķi palūkoties uz skuju un lapu koku pieejamiem resursiem un to patēriņu.



7.attēls. Pirmapstrādes ražotņu ģeogrāfiskais izvietojums, ostu eksports un pieejamie koksnes resursi 2012.gadā

Secinājumi

1. Latvijas apaļo kokmateriālu pārstrādes apjoms laika posmā no 2006. līdz 2016. gadam atkarībā no koksnes produktu pieprasījuma, apaļo kokmateriālu pieejamības un tirgus cenām ir svārstījies robežās no 6 līdz 8.4 milj.m³ gadā.
2. Koksnes pirmapstrādē palielinās lielo koksnes pirmapstrādes uzņēmumu nozīme, kuri 2016.gadā pārstrādāja 76% no kopējā Latvijas apaļo kokmateriālu gada pārstrādes apjoma.
3. Latvijas pirmapstrādes uzņēmumu jaudas galvenokārt koncentrētas uz skujkokiem, kuru pārstrāde veido vidēji 74% no kopējā apjoma. Meža atjaunošana ar skujkokiem ir nepietiekama.
4. Pilnībā netiek izmantots meža resursu potenciāls. Joprojām netiek efektīvi izmantotas mīksto lapkoku audzes, kas rada papildus pieaugušo audžu platību palielināšanos.
5. Ņemot vērā to, ka ekonomiski mazvērtīgās pāraugušās mīksto lapkoku audzes (apse, baltalksnis) aizņem 10% no kopējās meža zemju platības, šo audžu nomaina ar augstvērtīgākām mežaudzēm ir jāveicina ar valsts atbalsta pasākumiem. Šāda pieeja ievērojami palielinātu meža zemju apsaimniekošanas efektivitāti un palielinātu meža kapitāla vērtību nākotnē.

Publikācijas

1. Dubrovskis D., Vanaga L., Seļezņovs A., Krūmiņš J., Silamiķele I., (2018) CHALLENGES FOR INCREASE OF FOREST MANAGEMENT EFFICIENCY IN LATVIA. **In:** *Forest Policy and Economics*.
2. Krūmiņš J., Daģis S., Šmits I., Dubrovskis D. (2012) Monitoring Results of Round Wood Utilization and Wood Processing Sustainability in Latvia. **In:** *Proceedings of 18th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2012", Volume No 2*, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia, p. 73-79. ISSN 1691-4031 (AGRIS).
3. Krumins J., Daģis S., Smits I., Dubrovskis D. (2013) Forecasting Model of Latvian Wood Processing Industry, **In:** *Proceedings of 5th International Conference on Experiments/ Process/ System Modeling/ Simulation/ Optimization, Volume No 1*, The Learning Foundation in Mechatronics, Athens, Greece. p. 246-253. ISBN: 978-618-80527-1-0.

MONITORING OF PRIMARY WOOD PROCESSING COMPANIES AND AVAILABILITY OF WOOD RESOURCES

Jānis Krūmiņš^{1*}, Dagnis Dubrovskis¹, Lita Vanaga¹, Ingus Šmits², Salvis Daģis²

¹ *Forest faculty, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia*

² *Faculty of Information Technologies, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia*

* *janis.krumins@llu.lv*

Since beginning of 1990-ies, when Latvia regained its independence, technological possibilities and production capacities of primary wood processing companies has been increasing year by year. Therefore question about availability of wood resources and their utilization in the level that secures sustainability of whole forest sector is becoming more and more topical. It is forecasted that import of round wood will continue to decrease and therefore development of Latvian wood processing sector should be based on utilization of local timber resources. Main tasks of the research were to evaluate availability of round wood resources, their current utilization volumes and dynamics, structure of processed round wood and geographical location of primary wood processing companies as well as compare annual round wood consumption with calculated sustainable cutting volumes. To fulfil these tasks, since 2009 biyearly monitoring of Latvian primary wood processing companies has been carried out. During result analysis companies were divided into groups according to their annual round wood production volumes: large (above 50'001 m³ annually), middle (10'001-50'000 m³ annually), small (1'001-10'000 m³ annually) and micro (below 1'000 m³ annually). For evaluation of the round wood utilization balance in the territory of Latvia, on the one hand, data from the questionnaire of primary woodworking companies were supplemented with data form analysis of external trade of forest industry and data of firewood usage in Latvia according to Central Statistical Bureau of Latvia. On the other hand sustainable timber cutting volumes in the territory of Latvia were taken.

During the time period of 2006 to 2016, depending on demand of timber products, availability and prices of round wood assortments, round wood processing volumes in Latvia have fluctuated from 6 to 8.4 million m³ annually. Analysis shows that dominance of large wood processing companies is increasing in primary wood production sector. In 2016 they processed 76% from annual round wood volume in the country. Processing volumes of primary wood processing companies in Latvia are mainly focused on the use of softwood timber. Softwoods makes 74% from all processed round wood and this proportion has been stable during whole monitoring period. Whereas forest owners 74% of felled forest areas are regenerating with hardwood tree species.

Net export balance of round wood in Latvia in 2016 was 2.15 million m³, which is 1.25 million m³ less than in 2012. Mostly small - dimension and low - quality round wood was exported. In external markets this timber is being used for pulp industry and bio energy production. Statistical analysis shows that consumption of softwood timber in Latvia can't be increased on local round wood account, as currently softwoods are used at maximum intensity to secure sustainability of forest sector. However hardwoods are underused and stock of mature hardwood stands is increasing year by year. As 10% of forest area in Latvia is covered with low vale tree species (aspen, grey alder), then substitution for these forest stands with more valuable tree species should be encouraged by state support. Thus in the future it would significantly increase efficiency of forest management and net present value of forestland.

SKUJKOKU ZĀGBALĶU UN BĒRZA FINIERKLUČU KVALITĀTES IZMAIŅAS UZGLABĀJOT

CONIFER SAWLOG AND BIRCH VENEERLOG QUALITY CHANGE DURING STORAGE

Mareks Millers*, Jānis Magaznieks, Zelma Magazniece, Agris Gabrāns

Meža fakultāte, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

Forest faculty, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia

* *mareks.millers@llu.lv*

Apaļie kokmateriāli to uzglabāšanas procesā tiek pakļauti ārējiem faktoriem, kas ietekmē to kvalitāti. Kā galvenie apaļo kokmateriālu (zāgbalķu, finierkluču) kvalitātes samazināšanās cēloņi tiek izdalīti aplievas sēņu bojājumi, žūšanas plaisas un kukaiņu radītie bojājumi.

Normāla koksnes krāsa izmainās bioķīmisku reakciju rezultātā, paskābinoties miecvielām, kā arī sēņu iedarbības rezultātā. Dažas no šīm sēnēm visas savas iedarbības laikā izraisa tikai krāsas izmaiņu (koksnes krāsojošās sēnes), citas izmaina ne vien krāsu, bet savā tālākā attīstībā maina arī koksnes struktūru (koksni noārdošās sēnes). Kad augstākās kvalitātes skuju koku apaļie kokmateriāli tiek glabāti pārāk ilgi, iespējams novērot zilēšanas pazīmes, kas būtiski pazemina to cenu par vienu m³.

Bērza homogēnā un gaišā koksne piemērota dažāda veida apstrādes procesiem un augsti novērtēta produktos, kuros svarīgs ir vizuālais aspekts, bet bērza sortimenti ir izteikti jutīgi pret sēņu radītajiem bojājumiem uzglabāšanas laikā. Šādi sēņu bojājumi (brūnējums) izraisa krāsas izmaiņas bērza apaļiem kokmateriāliem, kuri paredzēti tālākai kokapstrādei. Līdz ar to bērza koksnes kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā būtiski ietekmē kokmateriālu vērtību.

Mūsu pētījuma uzdevums bija novērtēt augstvērtīgo apaļo kokmateriālu (zāgbalķi, finierkluči) koksnes vainu attīstību uzglabāšanas laikā un izstrādāt rekomendācijas apaļo kokmateriālu uzglabāšanai saimnieciski nozīmīgām koku sugām Latvijas teritorijā.

Meža apsaimniekotājiem un mežizstrādātājiem, zinot apaļo kokmateriālu kvalitātes izmaiņu ietekmējošo faktoru robežvērtības, būs iespējams precīzāk plānot mežizstrādes tehnoloģisko procesu, izvairoties (vai minimizējot) no apaļo kokmateriālu kvalitātes pazemināšanās. Pētījuma rezultātiem ir praktiska nozīme kokmateriālu loģistikas plānošanā.

Materiāli un metodes

Aplievas sēņu bojājumu attīstība un to ietekmējošie faktori apaļiem kokmateriāliem tika vērtēti no 2014. līdz 2017. gadam. Kontrolzāģējumi aplievas sēņu bojājumu attīstības novērtēšanai veikti 12 priedes apaļo kokmateriālu krautnēm, 12 egles apaļo kokmateriālu krautnēm un 16 bērza apaļo kokmateriālu krautnēm. Paragkrautnes tika izvietotas pa dažādiem Latvijas reģioniem – Jelgavas, Auces, Limbažu, Saldus, Nīcas un Daugavpils novadā. Visas krautnes izveidotas mežā zem vainagu klāja, ievērtējot meža klimatu.

Viena paraugkrautne sastāv no 26 – 32 (vidēji 30) apaļiem kokmateriāliem ar caurmēru 10 – 30 cm un garumu 1 m.

Lai novērtētu sagatavošanas vieda, sānu virsmas bojājumu, sēņu sporu izplatības veida, vietas krautnē, uzglabāšanas ilguma, caurmēra, attāluma no gala plaknes, diennakts vidējās gaisa temperatūras, nokrišņu summas un relatīvā gaisa mitruma ietekmi uz aplievas sēņu bojājuma attīstību, tika sagatavotas paraugripas no apaļo kokmateriālu galiem ar šādiem virsmas bojājumiem:

- bez sānu virsmas bojājumiem (sagatavots ar benzīna motorzāģi);
- veltnu iespiedumi un mizas nobrāzumi (sagatavots ar harvesteru).

Apaļo kokmateriālu paraugkrautņu apsekošana tika veikta vismaz vienu reizi nedēļā, bet kontrolzāģējumi paraugripu sagatavošanai tika uzsākti, konstatējot aplievas sēņu bojājumus, bet atkārtoti kontrolzāģējumi tika veikti ik pēc 2 – 3 nedēļām. Katrā kontrolzāģējuma veikšanas reizē no 8 līdz 12 apaļiem kokmateriāliem tika sagatavotas paraugripas iekrāsojuma vērtēšanai. Vispirms katra sortimenta abos galos tiek veikts kontrolzāģējums 3-5 mm dziļumā, tādējādi novērtējot apaļā kokmateriāla atbilstību augstākās klases sortimentiem un bojājuma apjomu šķērsvirzienā. Katra nākamā ripa tiek zāģēta ik pa 5 cm, lai novērtētu bojājumu intensitāti garenvirzienā.

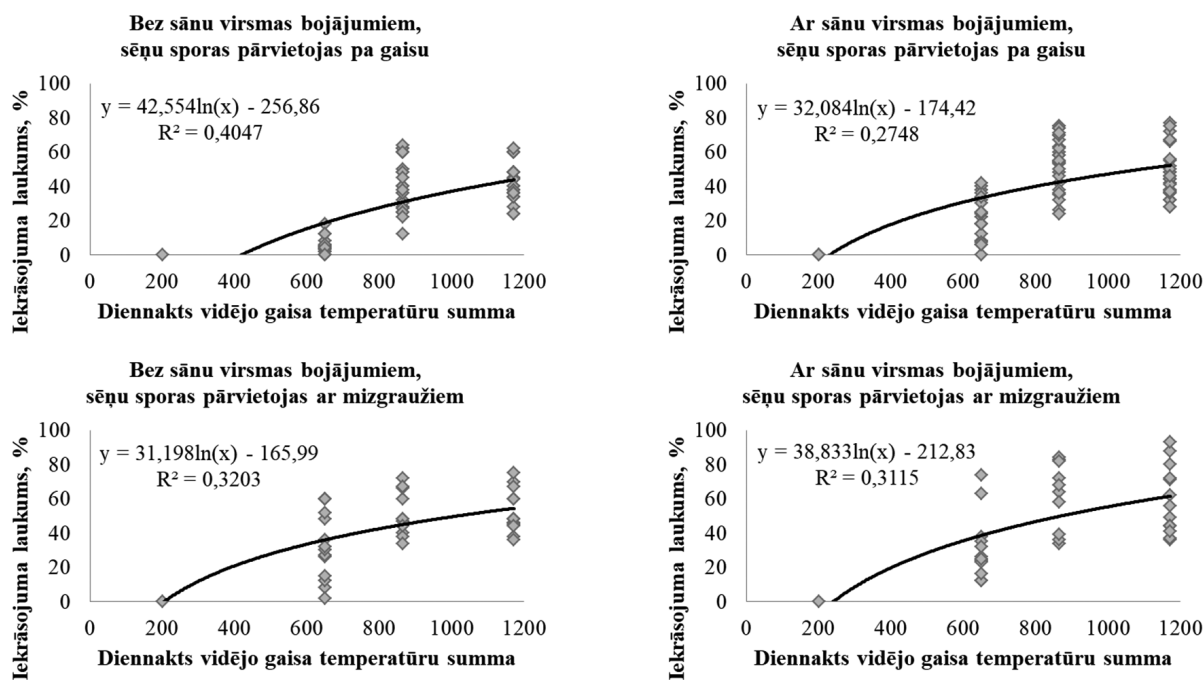
Pētījuma rezultāti

Pēc klasifikācijas koksnes vainas var dalīt 2 grupās – augoša koka koksnes vainas, kas veidojušas kokam augot un koksnes vainas, kas veidojušas apaļos kokmateriālus sagatavojot un uzglabājot, kā arī sēņu un kukaiņu radītās koksnes vainas. Šajā analizē uzsvars likts uz koksnes vainām, kas attīstās uzglabāšanas laikā.

Analizējot koksnes iekrāsojumus uz zāģbaļķu un finierkluču gala plaknēm (3 – 5 mm dziļi), tika novērots, ka koksnes iekrāsojuma aizņemtā šķērslaukuma (īpatsvara) ietekmējošie faktori uzglabāšanas laikā ir sagatavošanas vieds, sēņu sporu izplatības veids, augoša koka koksnes vainas, vieta krautnē, uzglabāšanas ilgums, caurmērs, attāluma no gala plaknes, diennakts vidējā gaisa temperatūra, nokrišņu summa un relatīvais gaisa mitrums.

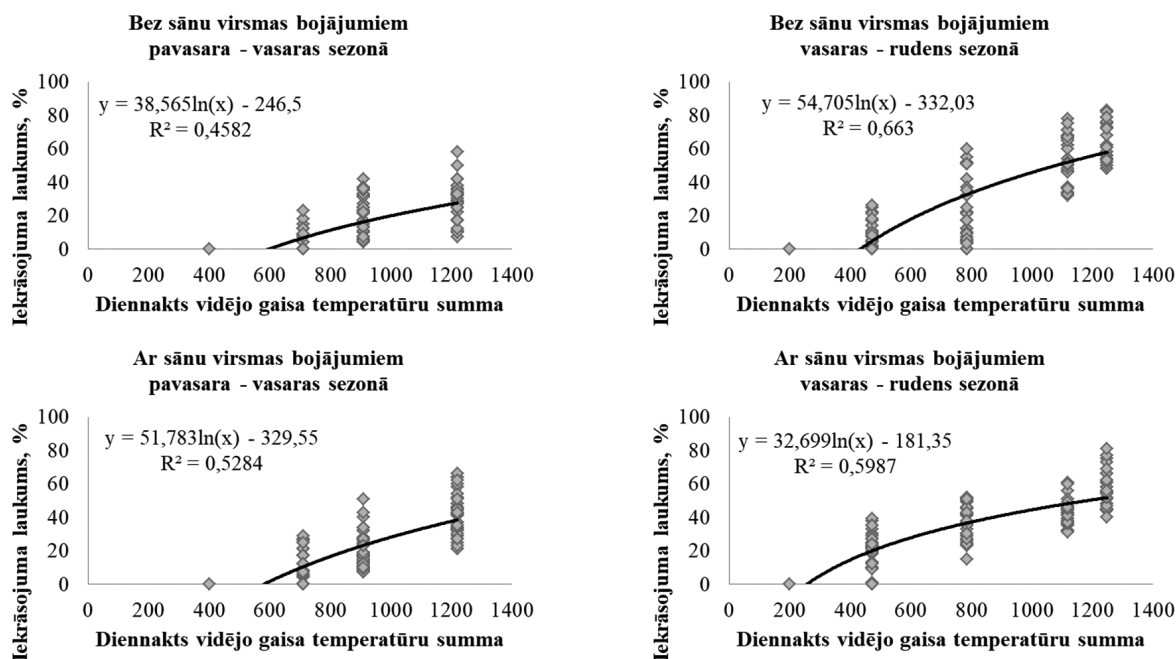
Viena no iespējam rezultātu pasniegšanai ir analizēt un aprakstīt iekrāsojuma attīstību balstoties uz uzglabāšanas ilgumu, bet, kā zināms, pie mainīgā klimata un regulārām temperatūras svārstībām ir atrasts veids kā rezultātus atspoguļot, balstoties uz diennakts vidējo temperatūru summām. Šādā veidā ražošanas uzņēmumi nākotnē varētu plānot mežizstrādi, loģistiku un apaļo kokmateriālu uzglabāšanu, balstoties uz vienkāršu klimatisko rādītāju vērtību analīzi, tādējādi maksimāli optimizējot apaļo kokmateriālu sagatavošanu, piegādi un uzglabāšanu.

Apskatot priedes apaļos kokmateriālus, kas sagatavoti ar benzīna motorzāģi un sēņu sporām izplatoties pa gaisu, var secināt, ka aplievas zilējums attīstīsies diennakts vidējo gaisa temperatūru summai sasniedzot 420°C. Ar harvesteru sagatavotiem apaļiem kokmateriāliem aplievas zilējums attīstīsies diennakts vidējo gaisa temperatūru summai sasniedzot 235°C. Pētījumā iegūtais rezultāts parāda, ka pie līdzīgiem apstākļiem ar benzīna motorzāģi sagatavotajiem priedes apaļiem kokmateriāliem zilējums attīstīsies vēlāk un līdz ar to var secināt, ka apaļo kokmateriālu sānu virsmas bojājumi ietekmē zilējuma attīstību, kas vasaras sezonā ir atkarīga no apaļo kokmateriālu žūšanas. Koksne žūst ātrāk, kad mežizstrādes procesa laikā, daļu no mizas sabojā vai nobrāž ar harvestera galvas padeves veltniem un atzarošanas nažiem. Nedaudz citādāka situācija ir gadījumā, kad sēņu sporas ir izplatījušas ar mizgraužu palīdzību. Sagatavojot priedes apaļos kokmateriālus ar benzīna motorzāģi un harvesteru, pavasara sezonā ir jābūt uzmanīgiem ar uzglabāšanas ilgumu, jo aplievas zilējums attīstīsies diennakts vidējo gaisa temperatūru summai sasniedzot 200 – 240°C. Straujā aplievas zilējuma attīstība ir novērojama pavasarī mizgraužu lidošanas laikā (skat. 1. att.)



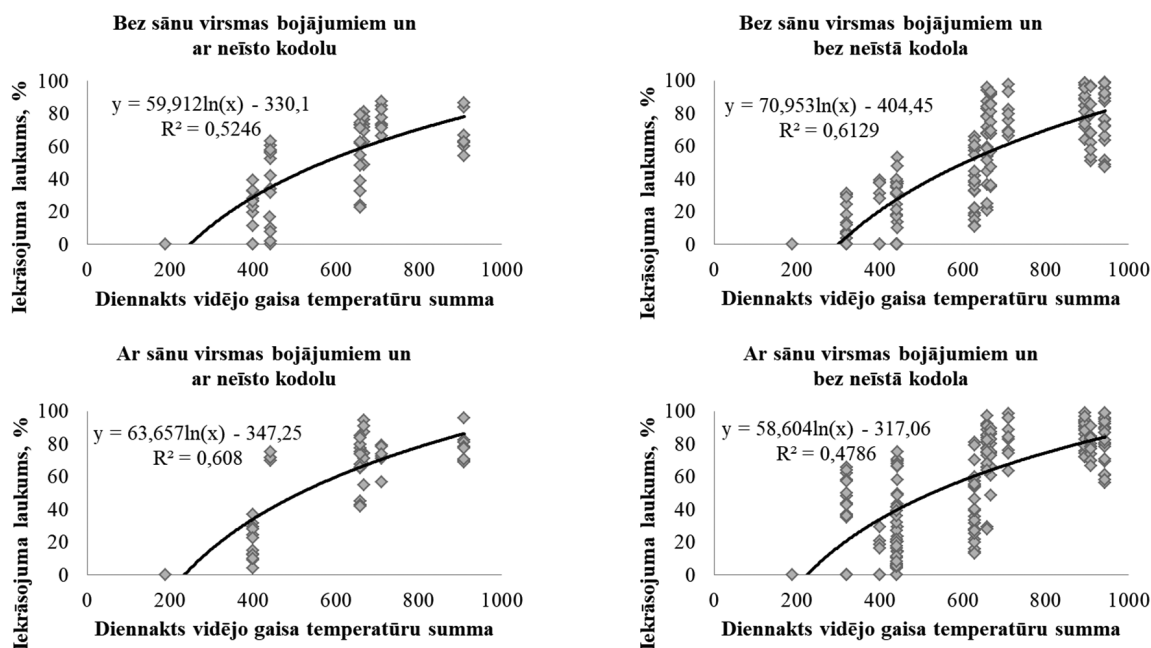
1. att. Iekrāsojuma (zilējuma) attīstība atkarībā no diennakts vidējo gaisa temperatūru summas priedes apaļajiem kokmateriāliem

Apskatot egles apaļos kokmateriālus (skat. 2. att.), kas sagatavoti ar harvesteru un benzīna motorzāģi, var secināt, ka aplievas zilējums vēlāk attīstīsies zāģbaļķiem kas sagatavoti pavasara – vasaras sezonā (diennakts vidējo gaisa temperatūru summa – 580-610°C) salīdzinot ar zāģbaļķiem, kas sagatavoti vasaras – rudens sezonā (diennakts vidējo gaisa temperatūru summa – 260-435°C). Viens no iemesliem, ar ko skaidrot šīs atšķirības ir atšķirīgs relatīvais gaisa mitrums uzglabāšanas laikā (pavasara – vasaras sezonā ap 72%, vasaras – rudens sezonā ap 82%). Lielai daļai sēņu, lai tās attīstītos nepieciešams pietiekoši mitrs gaiss un augsne. Sēnes labi vairojas un attīstās pie mitruma virs 60% un it īpaši pie 80-85% mitruma.



2. att. Iekrāsojuma (zilējuma) attīstība atkarībā no diennakts vidējo gaisa temperatūru summas egles apaļajiem kokmateriāliem

Bērza apaļajiem kokmateriāliem, analizējot iekrāsojuma (brūnējuma) īpatsvaru, bez iepriekš apskatītiem ietekmējošiem faktoriem, tika vērtēta arī neīstā kodola ietekme (skat. 3. att.).



3. att. Iekrāsojuma (brūnējuma) attīstība atkarībā no diennakts vidējo gaisa temperatūru summas bērza apaļajiem kokmateriāliem

Bērza apaļiem kokmateriāliem, kas sagatavoti ar harvesteru nav novērojamas atšķirīgas iekrāsojuma tendences starp finierklučiem ar un bez neīstā kodola – diennakts vidējo gaisa temperatūru summa, pie kuras attīstās iekrāsojums svārstās robežās no 225 līdz 240°C. Savukārt ar benzīna motorzāģi sagatavotiem apaļiem kokmateriāliem novērojams, ka finierklučiem ar neīsto kodolu brūnējums attīstīsies ātrāk (diennakts vidējo gaisa temperatūru summa – 245°C), salīdzinot ar finierklučiem bez neīstā kodola (diennakts vidējo gaisa temperatūru summa – 300°C).

Secinājumi

1. Būtiskākie aplievas sēņu bojājumu (iekrāsojuma) attīstību ietekmējošie faktori uzglabāšanas laikā ir zāģbaļķu un finierkluču sagatavošanas vieds, uzglabāšanas ilgums, un meteoroloģiskie apstākļi (diennakts vidējā gaisa temperatūra, nokrišņu summa un relatīvais gaisa mitrums).
2. Plānojot mežistrādi, loģistiku un apaļo kokmateriālu uzglabāšanu, iespējams balstīties uz vienkāršu klimatisko rādītāju – diennakts vidējo temperatūru summu. Tai uzglabāšanas laikā palielinoties līdz 200°C uz zāģbaļķiem un finierklučiem nav novērojamas koksnes vainas, kas būtiski pazeminātu to kvalitāti.
3. Balstoties uz gaisa temperatūras normu, aplievas sēņu bojājumu attīstība iespējama no aprīļa līdz oktobrim. Šajā laikā maksimālais apaļo kokmateriālu uzglabāšanas ilgums, atkarībā no gaisa temperatūras normas, svārstās robežās no 12 līdz 44 dienām.

Rezultatīvie indikatori

- I. Magaznieks J., Millers M., Gžibovska Z. QUALITY CHANGES DURING SUMMER–AUTUMN LONG-TERM STORAGE OF SCOTS PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) ROUNDWOOD. Research for Rural Development 2016, 2016.gada 18-20. maijs, Jelgava, Latvija.
- II. Magaznieks J., Millers M., Gžibovska Z. QUALITY CHANGES DURING SUMMER – AUTUMN LONG TERM STORAGE OF BIRCH (BETULA PENDULA) ROUNDWOOD. Research for Rural Development 2017, 2017.gada 17-19. maijs, Jelgava, Latvija.
- III. Izstrādāti un aizstāvēti 5 bakalaura un 2 maģistra darbi.

Publikācijas

1. Magaznieks J., Millers M., Gžibovska Z. QUALITY CHANGES DURING SUMMER–AUTUMN LONG-TERM STORAGE OF SCOTS PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) ROUNDWOOD. Proceedings of Conference “Research for Rural Development”, Vol.2, LLU, Jelgava, 2016., pp. 48-54. Publikācija piejama: http://www2.llu.lv/research_conf/proceedings2016_vol_2/docs/LatviaResRuralDev_22nd_vol2-48-54.pdf
2. Magaznieks J., Millers M., Gžibovska Z. QUALITY CHANGES DURING SUMMER – AUTUMN LONG TERM STORAGE OF BIRCH (BETULA PENDULA) ROUNDWOOD. Proceedings of Conference “Research for Rural Development”, Vol.1, LLU, Jelgava, 2017., pp. 113-119. Publikācija piejama: http://www2.llu.lv/research_conf/proceedings2017_vol_1/docs/LatviaResRuralDev_23rd_2017_vol1-113-119.pdf
3. Millers M., Magaznieks J., Gžibovska Z. BLUE STAIN DEVELOPMENT OF SCOTS PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) ROUNDWOOD AND ITS INFLUENCING FACTORS. Proceedings of Conference “Research for Rural Development”, Vol.1, LLU, Jelgava, 2017., pp. 120-126. Publikācija piejama: http://www2.llu.lv/research_conf/proceedings2017_vol_1/docs/LatviaResRuralDev_23rd_2017_vol1-120-126.pdf
4. Millers M., Magaznieks J. un Gžibovska Z. Aplievas iekrāsojuma (zilējuma) un trupes attīstība priedes apaļiem kokmateriāliem. LLU Meža fakultāte un LVMI Silava, starptautiskā zinātniski praktiskā konference «Zinātne un prakse nozares attīstībai». Jelgava, 2017. gada 15.–17. marts. Tēze pieejama: http://www.silava.lv/userfiles/file/Pasakumi/2017_03_LLMZA_LLU_Silava_konference_Tezes.pdf
5. Magaznieks J., Millers M. un Gžibovska Z. Bērza apaļo kokmateriālu kvalitātes izmaiņas, ilgstoši uzglabājot vasaras–rudens periodā. LLU Meža fakultāte un LVMI Silava, starptautiskā zinātniski praktiskā konference «Zinātne un prakse nozares attīstībai». Jelgava, 2017. gada 15.–17. marts. Tēze pieejama: http://www.silava.lv/userfiles/file/Pasakumi/2017_03_LLMZA_LLU_Silava_konference_Tezes.pdf

CONIFER SAWLOG AND BIRCH VENEERLOG QUALITY CHANGE DURING STORAGE

Mareks Millers*, Jānis Magaznieks, Zelma Magazniece, Agris Gabrāns

Forest faculty, Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia

** mareks.millers@llu.lv*

Roundwood in the storage process is exposed to external factors that affect their quality. The main causes of the quality decline of roundwood (sawlog, veneer log) are sapwood discoloration development, drying cracks and insect damages caused by insects.

The task of our research was to evaluate the development of quality changes for high value roundwood (sawlog, veneer log) during the storage period and to develop recommendations for the storage of roundwood for economically important tree species in the territory of Latvia.

Sapwood discoloration development and its' affecting factors were analysed in the studies from 2014 till 2017. Control cuttings for determination of sapwood discoloration development were carried out for 12 pine storages, 12 spruce storages and 16 birch storages. Sample storages were established throughout different regions of Latvia - Jelgava, Auce, Limbaži, Saldus, Nīca and Daugavpils.

In order to evaluate the preparation type, side surface damage type, spreading type of fungal spores, placement in the storage, storage length, diameter, distance from the end plane, the daily average temperature, precipitation amount and relative humidity effects on discoloration development there were prepared sample discs from round assortment end planes with different damages of surface:

- assortments without side surface damages (Prepared with gasoline chain saw)
- spike roller and bark damages (prepared with harvester)

All the above-mentioned influencing factors are significant, as the most important ones can be highlighted the preparation type, storage length and daily average temperature. The results of the research were summarized on the basis of daily average temperature values. In this way, manufacturing companies in the future could plan logging, logistics and storage of logs, based on a simple analysis of the values of climatic factors, thus maximizing optimization of the production, supply and storage of roundwood.

Analysing the pine roundwood prepared by gasoline chainsaw at the time of fungal spore dispersal in the air, it can be concluded that the sapwood discoloration evolves when the sum of the average daily temperatures reaches 420°C. For roundwood prepared by harvester sapwood discoloration evolves when the sum of the daily average temperature reaches 235°C. The results obtained in the study show that under similar conditions discoloration (blue stain) of pine roundwood prepared by gasoline chainsaw will develop later and thus it can be concluded that the damage of the side surface of the roundwood affects the development of blue stain, which depends on the drying of the roundwood during the summer season. Wood dries faster when, during the logging process, part of the bark is damaged or debarked by harvester head rollers and pruning knives. A slightly different situation occurs when fungal spores have spread via bark beetles. When preparing pine roundwood with a gasoline chainsaw and harvester, the storage period should be carefully monitored in the spring season, as the development of sapwood discoloration will develop when the sum of the daily average temperatures reaches 200 to 240°C. The rapid development of the sapwood blue stain is observed in the spring during the bark beetle flying time.

Analysing the spruce roundwood, prepared by a harvester and gasoline chainsaw, it can be concluded that the sapwood blue stain will evolve later for sawlogs prepared in the spring-summer season (the sum of daily average temperatures 580-610°C) compared to the sawlogs prepared in the summer-autumn season (the sum of daily average temperatures 260-435°C). One of the reasons for explaining these differences is the different relative air humidity during storage (in spring-summer season around 72%, in summer-autumn season around 82%). For a large part of the fungus, humid air conditions and soil are needed for their development. Fungus germinate and develop well at a humidity over 60%, and especially at humidity 80-85%.

Birch roundwood, prepared with a harvester, does not show a different pattern of staining between veneer logs with and without a false core - the sum of the average daily temperatures, that are needed for development of discoloration range from 225 to 240°C. But for the roundwood prepared with a gasoline chainsaw, the browning occurs faster for veneer logs with a false core (the sum of the average daily temperatures 245°C) compared to veneer logs without the false core (the sum of the average daily temperature 300°C).

KOKSNES GARENZĀGĒŠANAS ZĀGRIPU GRIEŽŅU NODILUMA PROGNOZĒŠANA

WOOD LONGITUDINAL SAWING, RIPS AW BLADE CARBIDE TIP BLUNTNESS AND ITS PREDICTION

Andis Ābele^{1*}

¹ Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

¹ Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia

* Andis.Abele@llu.lv

Teiloras formulas lietošanas rezultātā ir pierādījies tās lietderīgums kā metodei, ar kuru prognozēt metālapstrādes griezējinstrumentu griežņa nodilumu. Savukārt kokapstrādes griezējinstrumentu griežņu nodiluma prognozēšanai šī formula nav lietota, jo iztrūkst piemēroti formulas koeficienti. Tādēļ pētījuma mērķis ir noskaidrot Teiloras formulas koeficientu vērtības, kas ir piemērotas koksnes garenzāgēšanas zāgripu griežņu nodiluma prognozēšanai. Apses (*Populus tremula* L.) koksnes paraugi tika apstrādāti ar speciālas konstrukcijas zāgripām, kurām ir tikai divi volframa karbīda *K10* griežņi. Rezultātā iegūtas griešanas trajektorijas garuma, kas atbilst kritiskā griežņa nodiluma sākumam, izmaiņas atkarībā no griešanas režīma parametriem. Secināts, ka griešanas trajektorijas garums līdz kritiskā nodiluma sākumam pakāpeniski palielinās, ja griešanas ātrums palielinās no 20 līdz 50 m s⁻¹. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, izstrādāta formula, kas piemērota griežņu nodiluma prognozēšanai.

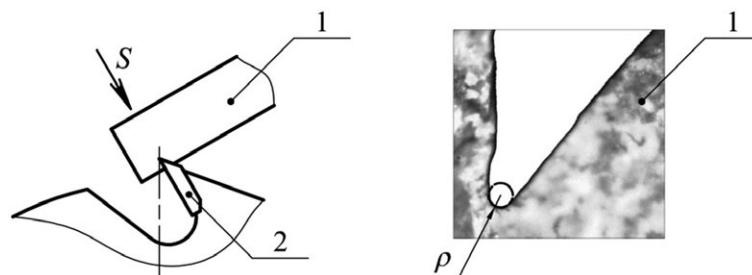
Zāgēšanas ar zāgripu procesa laikā grieznis nepārtraukti nolieojas, kas progresējoši negatīvi ietekmē koksnes apstrādes rādītājus, jo pakāpeniski palielinās virsmas raupjums un patērētā elektroenerģija, bet griešanas precizitāte samazinās. Šis nolietojuma izmaiņas ir iespējams novērtēt ar nodiluma raksturlielni, kurā var izšķirt trīs nodiluma periodus – sākotnējo, monotono un kritisko –, kuros ir atšķirīga nodiluma intensitāte. No tiem būtiskākais ir kritiskais nodiluma periods, jo tajā griezējšķautnes noapaļojums ir sasniedzis tādu vērtību, kas izraisa ievērojamas apstrādātās koksnes virsmas deformācijas un griešanas jaudas pieaugumu, kā rezultātā griešanas process kļūst neefektīvs. Tomēr katrā no literatūras avotos dotajām griežņa nodiluma raksturlielņiem [1-6] lielākoties atainotas atšķirīgu parametru attiecības. Turklāt tās dod vispārīgu ieskatu par griezējinstrumentu nodiluma izmaiņām to ekspluatācijas laikā, jo nav norādīts ne atsevišķo nodiluma periodu lielums, ne arī tehnoloģisko parametru un apstrādājamā materiāla raksturojums. Tādēļ nepieciešami pētījumi, no kuru rezultātiem var noteikt nodiluma periodu ilgumu, jo tie dotu iespēju izstrādāt optimālus kokapstrādes griezējinstrumentu starpsināšanas ciklus un jau iepriekš noteikt, kad ir jāveic griezējinstrumenta asināšana. Turklāt ir svarīgi izziņāt mīksto lapkoku koksnes apstrādes likumsakarības, jo tās apstrāde kokapstrādes uzņēmumos tie realizēta aizvien vairāk, izgatavojot ne tikai apdares materiālus, bet arī konstrukciju elementus un mēbeles. Ievērojot pieejamo mīksto lapkoku koksnes resursu apjomu un to atjaunošanās potenciālu, šo koku sugu koksnes izmantošana izstrādājumu izgatavošanai sniedz būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar blīvāku koku sugu koksni, samazinot izstrādājumu masu un to ražošanas izmaksas.

Pētījuma mērķis ir noskaidrot griežņu nodilumu ietekmējošos griešanas režīma faktoros un to likumsakarības, apstrādājot apses koksni ar garenzāgēšanas paņēmienu, kā arī izstrādāt metodi griežņu nodiluma prognozēšanai, pilnveidojot energoefektivitātes aspektus koksnes pārstrādes tehnoloģiskajos procesos

Ekspērimētālā daļa

1. Pētījumā lietoti apses (*Populus tremula* L.) koksnes paraugi, kuru mitrums ir 8 līdz 10 % un kuru biezums ir 28 mm, platums – 98 mm, bet garums – 450 mm. Koksnes paraugu šķērsriezuma izmēri atbilst koksnes šūnveida materiāla ražošanā izmantoto sagatavju izmēriem.
2. Ekspērimētālo darbu veikšanai ir konstruētas speciālas zāgripas ar diviem volframa karbīda *K10* griežņiem. Zāgripu parametri ir šādi: griešanas aploces diametrs – 120 mm; plātnes biezums – 2 mm; iezāgējuma platums – 3 mm; griežņa mugurleņķis 20, 25, 30 un 35 grādi; griežņa asinājuma leņķis 40 grādi; griežņa priekšējais leņķis 15, 20, 25 un 30 grādi.

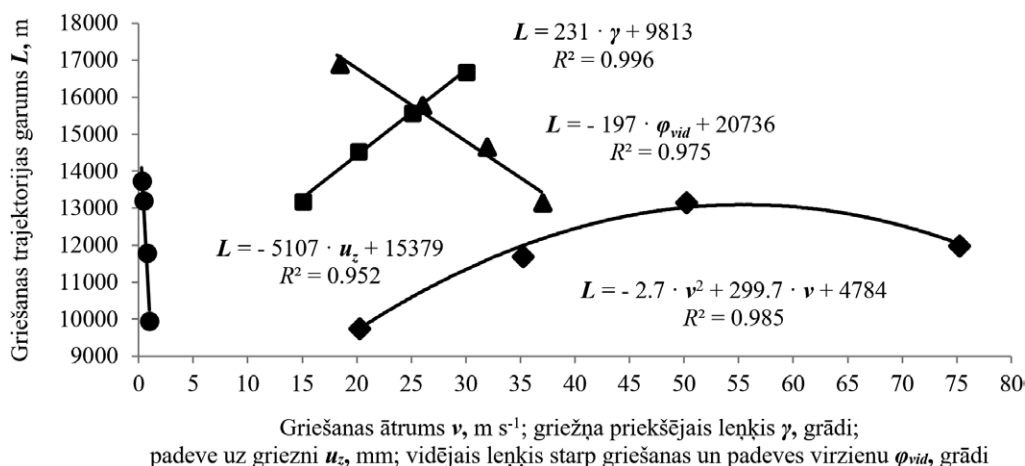
- Pētījumā veikti 13 atsevišķi eksperimenti, kuros katrā izmainīta kāda no galveno griešanas režīma parametru vērtībām: griešanas ātrums (20, 35, 50, 75 m s⁻¹), griežņa priekšējais leņķis (15, 20, 25, 30 grādi), padeves ātrums (4, 8, 12, 16 m min⁻¹, ekvivalents padevei uz griezni no 0.251 līdz 1.257 mm), iezāģējuma augstums (6, 12, 18, 24 mm, ekvivalents vidējam leņķim starp griešanas un padeves kustības virzienu 18.2 līdz 36.9 grādi). Pārējie griešanas režīma parametri noteikti, pamatojoties uz šiem četriem galvenajiem parametriem.
- Zāģēšana veikta ar padeves virzienu, kas vērsts griešanas virzienā, izdarot vienu otram blakus esošus gareniskus iezāģējumus pārmaiņus vienā un otrā koksnes parauga platajā skaldnē un atstājot 3 mm biezas sienas starp iezāģējumiem, atbilstoši koksnes šūnveida materiāla sagatavju izzāģēšanas shēmai.
- Griežņa griezējšķautnes rādiusa mērīšanai izmantota nospieduma metode (Zīm. 1), iespiežot griezējšķautni svina plātnē un nospiedumus analizējot digitālajā gaismas mikroskopā *Keyence VHX - 100K*.



Zīmējums 1. Griežņa griezējšķautnes rādiusa mērīšanas shēma (1 – svina plātne; 2 – zāģripas grieznis; S – iespiešanas virziens; ρ – griezējšķautnes rādiuss).

Rezultāti

Griešanas procesa sākumā griezējšķautnes rādiuss ρ ir 4 līdz 5 μm , bet piestrādes nodiluma perioda beigās tas ir palielinājies nepilnas trīs reizes – līdz 13 ... 14 μm . Savukārt, sākoties griežņa kritiskā nodiluma periodam, rādiuss ρ ir palielinājies līdz 41 ... 43 μm . Salīdzinot rādiusa ρ pieaugumu, var secināt, ka griešanas trajektorijas garums, sākoties kritiskajam nodilumam, ir atšķirīgs – palielinot griešanas ātrumu no 20 līdz 50 m s⁻¹, kritiskā nodiluma sākuma robeža iestājas par 33.6 % vēlāk. Analōģisku sakarību uzrāda arī salīdzinājums starp griešanas ātrumu 20 līdz 35 m s⁻¹ un 35 līdz 50 m s⁻¹, bet starp griešanas ātrumu 50 un 75 m s⁻¹ novērojams griešanas trajektorijas samazinājums (Zīm. 2).



Zīmējums 2. Griežņa kritiskā nodiluma sākumam atbilstošais griešanas trajektorijas garums atkarībā no griešanas režīma parametriem (♦ – griešanas ātrums; ■ – griežņa priekšējais leņķis; ● – padeve uz griezni; ▲ – vidējais leņķis starp griešanas un padeves virzienu).

Griežņa priekšējais leņķis γ kritiskā griežņa nodiluma sākuma robežu ietekmē lineāri (Zīm. 2). Palielinot leņķi γ robežās no 15 līdz 20 grādiem, kritiskais griežņa nodilums sākas par 10 % vēlāk attiecībā pret kritiskā nodiluma perioda sākuma robežu, ja leņķis γ ir 15 grādi, un par 7 % vēlāk, ja leņķi γ palielina no 20 līdz 25 un no 25 līdz 30 grādiem attiecībā pret 20 un 25 grādu leņķi. Tas apstiprina to, ka optimālais leņķis γ ir 30 grādi, jo tādējādi ir ne tikai mazākā patērētā jauda, bet arī lielāks starpasināšanas perioda ilgums.

Padeves kustības iedarbību raksturojošais rādītājs padeve uz griezni u_z kritiskā griežņa nodiluma sākuma robežu ietekmē lineāri (Zīm. 2), kas nozīmē, ka, palielinoties u_z vērtībām, kritiskā griežņa nodiluma sākuma robeža iestājas aizvien ātrāk, jo palielinās slodze uz griezni – griežņim vienādā laika periodā ir jānogriež pieaugošs koksnes tilpums. Palielinot u_z robežās no 0.251 līdz 0.503 mm, kritiskais griežņa nodilums sākas par 4.5 griešanas trajektorijas garuma procentiem ātrāk attiecībā pret kritiskā nodiluma perioda sākuma robežu, ja padeve uz griezni ir 0.251 mm, par 10 % ātrāk attiecībā pret $u_z = 0.503$ mm, ja padevi uz griezni palielina no 0.503 līdz 0.754 mm, un par 14 % ātrāk attiecībā pret $u_z = 0.754$ mm, ja u_z palielina no 0.754 līdz 1.005 mm.

Palielinoties vidējā leņķa starp griešanas un padeves kustības virzienu φ_{vid} vērtībām, kritiskā griežņa nodiluma sākuma robeža tiek sasniegta ātrāk (Zīm. 2). Izskaidrojums šādai parādībai ir analogisks u_z ietekmei, jo abiem rādītājiem pieaugot, palielinās skaidas biežums un līdz ar to arī nogrieztās skaidas tilpums laika vienībā, kas palielina patērēto jaudu un veicina griežņa nolietošanos. Palielinot leņķi φ_{vid} robežās no 18.2 līdz 25.8 grādiem, griešanas trajektorijas garums līdz kritiskā griežņa nodiluma sākumam samazinās par 6.5 % attiecībā pret griešanas trajektorijas garumu, ja leņķis φ_{vid} ir 18.2 grādi, par 7.1 %, ja leņķi φ_{vid} palielina no 25.8 līdz 31.8 grādiem, un par 10.2 %, ja leņķi φ_{vid} palielina no 31.8 līdz 36.9 grādiem.

Pamatojoties uz griežņa kritiskā nodiluma sākumam atbilstošajām griešanas trajektorijas garuma atkarībā no griešanas režīma parametriem vērtībām, ir iespējams aprēķināt *Teilora* formulas koeficientus un konstantes. Aprēķinu kopsavilkums ir parādīts 1. tabulā.

Tabula 1. *Teilora* formulas konstanšu un koeficientu vērtības

Griešanas ātrums v m s ⁻¹	20 līdz 50	50 līdz 75
Konstante C	$1.233 \cdot 10^{-11}$	$5.465 \cdot 10^{19}$
Konstante Ψ	- 3.060	4.378
Griežņa priekšējais leņķis γ , grādi	Koeficients f	
15 līdz 20	0.0000 līdz 0.1018	0.0000 līdz - 0.1456
20 līdz 25	0.1018 līdz 0.1581	- 0.1456 līdz - 0.2262
25 līdz 30	0.1581 līdz 0.2127	- 0.2262 līdz - 0.3043
Padeve uz griezni u_z , mm	Koeficients k	
0.251 līdz 0.503	- 0.0930 līdz 0.0000	0.1330 līdz 0.0000
0.503 līdz 0.754	0.0000 līdz 1.2286	0.0000 līdz - 1.7577
0.754 līdz 0.995; 1.005	1.2286 līdz 173.0200; - 173.0200	- 1.7577 līdz - 247.5450; 247.5450
Vidējais leņķis starp griešanas un padeves kustības virzienu φ_{vid} , grādi	Koeficients g	
18.2 līdz 25.8	0.2650 līdz 0.1716	- 0.3792 līdz - 0.2455
25.8 līdz 31.8	0.1716 līdz 0.0957	- 0.2455 līdz - 0.1369
31.8 līdz 36.9	0.0957 līdz 0.0000	- 0.1369 līdz 0.0000

Griežņu nodilumu ir iespējams prognozēt ar šādu formulu, kura papildināta ar papildus ietekmējošajiem faktoriem – galvenajiem griešanas režīma parametriem:

$$L = C^{\Psi} \cdot v^{-\Psi} \cdot \gamma^{-f} \cdot u_z^{-k} \cdot \varphi_{vid}^{-g}, \quad (1)$$

- kur v – griešanas ātrums, m s⁻¹;
 L – griešanas trajektorijas garums, m;
 γ – griežņa priekšējais leņķis, grādi;
 u_z – padeve uz griezni, mm;
 φ_{vid} – vidējais leņķis starp griešanas un padeves kustības virzienu, grādi;
 Ψ – konstante, kas atkarīga no griežņa eksploatācijas ilguma funkcijas vērsuma attiecībā pret koordinātu sistēmas, kurā tā ir attēlota, asīm;
 f – koeficients, kas ir atkarīgs no griežņa priekšējā leņķa;
 k – koeficients, kas ir atkarīgs no padeves uz griezni;
 g – koeficients, kas ir atkarīgs no vidējā leņķa starp griešanas un padeves kustības virzienu;
 C – konstante, kura ir vienāda ar naturālogaritmu no griežņa eksploatācijas ilguma funkcijas krustpunkta vērtības ar koordinātu sistēmas, kurā tā ir attēlota, ordinātu asi.

Formula (1) norāda viena zāgripas griežņa pieļaujamo griešanas trajektorijas garumu, tādēļ iegūtais rezultāts vēl ir jāsureizina ar faktisko zāgripas griežņu skaitu.

Secinājumi

1. Viena zāgripas griežņa kritiskā nodiluma perioda sākuma robeža atkarībā no griešanas režīma faktoriālajiem parametriem ir 9700 līdz 16900 m. Kritiskā nodiluma perioda sākuma robeža palielinās par 35 %, ja griešanas ātrums palielinās no 20 līdz 50 m s⁻¹, par 27 %, ja griežņa priekšējais leņķis palielinās no 15 līdz 30 grādiem, par 32 %, ja padeve uz griezni samazinās no 1.005 līdz 0.503 mm, un par 28 %, ja vidējais leņķis starp griešanas un padeves kustības virzienu samazinās no 36.9 līdz 18.2 grādiem.
2. Apses koksnes garenzāģēšanā, ja griešanas ātrums ir diapazonā no 20 līdz 50 m s⁻¹, griežņa nodiluma prognozēšanas *Teilor*a formulas konstante $\Psi = -3.060$, bet konstante $C = 1.233 \cdot 10^{-11}$, savukārt, ja griešanas ātrums ir diapazonā no 50 līdz 75 m s⁻¹, konstante $\Psi = 4.378$, bet konstante $C = 5.465 \cdot 10^{19}$.

Rezultatīvie indikatori

- I. Ābele A., Apses (*Populus tremula* L.) koksnes garenzāģēšanas zāgripu griežņu nodilums un tā prognozēšana (promocijas darbs aizstāvēts 25.08.2017, vadītāji: Tuherm H., Sleņģis M.E., Bukšāns E.).
- II. Ābele A., Tuherm H. Predictions of cutting tool wear of straight milled aspen wood with Taylor's equation. *British Journal of Applied Science & Technology*, 2016 Volume 14, Issue 5, p. 1-7.
- III. Ābele A., Tuherm H. Relationship between mechanical and electric cutting power at longitudinal sawing. In: Annual 20th International Scientific Conference Proceedings „Research for Rural Development 2014”, Volume 2, May 23, 2014, Jelgava, Latvia. - Jelgava, LLU, 2014, p. 116-121.
- IV. Ābele A., Tuherm H. Griešanas spēks un jauda koksnes garenzāģēšanā. No: Zinātniski praktiskā konference „Zinātne un prakse nozares attīstībai”: veltīta augstākās mežizglītības 95. un Meža fakultātes 75. gadskārtai: tēzes, 2014. gada marts, Jelgava, Latvija. Sastādīja L. Lipiņš. - Jelgava, LLU, 2014, 72-75. lpp.

Publikācijas

1. Tuherms H. Kokapstrādes instrumenti. - Rīga, Zvaigzne, 1985, 248 lpp.
2. Billatos S.B., Bayoumi A.E., Kendall L.A., Saunders S.C. A statistical wear model for certain tool materials with applications to machining. *Wear*, 1986, Volume 112, Issues 3 – 4, p. 257-271.
3. Глебов И.Т., Неустроев Д.В. Справочник по дереворежущему инструменту. - Екатеринбург, Уральская государственная лесотехническая академия, 2000, 252 с.
4. Astakhov V.P., Davim J.P. Tools (geometry and material) and tool wear. In: Machining: fundamentals and recent advances, Eds. Davim J.P. - London, Springer, 2008, p. 29-57.
5. Milner J.L., Roth J.T. Condition monitoring for indexable carbide end mill using acceleration data. *Machining Science and Technology: An International Journal*, 2010, Volume 14, Issue 1, p. 63-80.
6. Ābele A. Griežņa nodiluma pētījumi apses koksnes garenfrēzēšanas procesā: maģistra darbs. LLU Kokapstrādes katedra, Jelgava, 2012, 77 lpp.

WOOD LONGITUDINAL SAWING, RIPSAW BLADE CARBIDE TIP BLUNTNESS AND ITS PREDICTION

Andis Ābele^{1*}

¹ Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

* Andis.Abele@llu.lv

Taylor's equation has proven utility for determination the lifetime of cutting tool in machining of metal. Whereas, Taylor's equation is not widespread for prediction of wear of wood machining tools due to lack of appropriate coefficients of the equation. Therefore, aim of the study is determination of coefficients of Taylor's equation. Circular saw with only two teeth made of tungsten carbide *K10* was used for sawing of aspen (*Populus tremula* L.) wood. Changes of the length of cutting trajectory when critical bluntness period is starting were obtained depending on cutting regime parameters. It was concluded that length of cutting trajectory at start of critical bluntness period is greater when cutting velocity is gradually increasing from 20 to 50 m s⁻¹. It was obtained equation to predict length of cutting trajectory till critical bluntness period.

At the beginning of the cutting process, radius of edge of tip ρ is from 4 to 5 μm , while at the end of the initial bluntness period it increases almost three times – 13 to 14 μm . However, at the beginning of the critical bluntness period of the tip, the radius ρ increases till 41 to 43 μm . By comparing the increase in radius ρ , it may be concluded that the length of the cutting trajectory is different after the critical bluntness period has started – the critical bluntness period starts 33.6 % later if the cutting velocity is increased from 20 to 50 m s⁻¹. The same coherence may be seen in the comparison between the cutting velocities of 20 ... 35 m s⁻¹ and 35 ... 50 m s⁻¹, while cutting trajectory decreases when comparing the cutting velocity of 50 and 75 m s⁻¹.

It has been ascertained that the rake angle of the cutter γ linearly impacts the beginning of the critical bluntness period. By increasing the angle γ from 15 to 20 degrees, the critical bluntness period starts by 10 % later comparing to if the angle γ is left at 15 degrees and by 7 % later if the angle γ is increased from 20 to 25 or 25 to 30 degrees respectively. It proves the fact the most optimal angle γ is 30 degrees as it not only decreases the power consumption but also increases the period between sharpening.

According to the regression, the feed per tooth u_z , what is an indicator describing the character of the feed movement, impacts the beginning of the critical bluntness period linearly. By increasing the u_z values the critical bluntness period begins earlier as the load working on the tip increases as well – the tip needs to cut off larger volume of wood within the same time period. By increasing u_z from 0.251 to 0.503 mm, the critical bluntness period starts by 4.5 % earlier comparing to feed per tooth 0.251 mm, by 10 % earlier in respect to $u_z = 0.503$ mm if the feed per tooth is increased from 0.503 to 0.754 mm, and by 14 % earlier in respect to $u_z = 0.754$ mm if u_z is increased from 0.754 to 1.005 mm.

The critical bluntness period starts earlier by increasing value of the mean angle between the direction of the cutting and feed movement φ_{vid} . This is similar to the impact caused by u_z as increase in both of these indicators also increase thickness of chip and thus volume of chip cut off within a unit of time increasing the power consumption and facilitating bluntness of the tip. By increasing angle φ_{vid} from 18.2 to 25.8 degrees, length of cutting trajectory decreases by 6.5 % until the beginning of the critical bluntness period; by increasing angle φ_{vid} from 25.8 to 31.8 degrees, length of cutting trajectory decreases by 7.1 %; and by increasing angle φ_{vid} from 31.8 to 36.9 degrees, length of cutting trajectory decreases by 10.2 %.

Based on the obtained regularities between the main cutting regime parameters and length of cutting trajectory at the beginning of the critical bluntness period, it may be concluded that the results may be used in predicting bluntness of the tip by applying the Taylor's equation.

KOKSNES MATERIĀLU UGUNSAIZSARDZĪBAS EFEKTIVITĀTE ĀRA EKSPLUATĀCIJAS APSTĀKĻOS

FIRE PROTECTION EFFICIENCY OF WOODEN MATERIALS IN EXTERIOR CONDITIONS

Edgars Bukšāns*, Andris Morozovs, Nauris Grandāns, Vilnis Jakovļevs

Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

**edgars.buksans@e-koks.lv*

Kopsavilkums: Koksnes izmantošana būvniecībā ir ierobežota ar ugunsdrošības kritēriju izpildi. Koksne ir degošs materiāls ar dabisko ugunsreakcijas klasi D-s2-d0, kas saskaņā ar daudzu valstu būvnormatīviem ir nepietiekama ugunsreakcijas klase ēku ekspluatācijā. Augtākas ugunsreakcijas klases var sasniegt ar antipirēnu palīdzību, kas ierobežo koksnes degšanas procesu. Šāda pieeja labi strādā sausos ekspluatācijas apstākļos, bet, līdzko šādi kokmateriāli tiek pakļauti āra ekspluatācijas apstākļiem, tad antipirēni tiek pakļauti dabiskiem koksnes novecināšanas procesiem un izskalošanai no koksnes. Darbā risināti jautājumi par dažādu antipirēnu un sistēmu noturību dabiskos ekspluatācijas apstākļos laika periodā no 1 līdz 4 gadiem. Darba izstrādē izmantota galvenokārt maza mēroga ugunsreakcijas testēšanas iekārta – koniskais kalorimetrs, kas sniedz plašu informāciju par materiālu degšanas procesa norisi. Kā arī liela mēroga tests saskaņā ar NE 13823 metodiku. Pētījuma rezultātā ir iegūti dati par antipirēnu efektivitātes zudumu dabiskās novecināšanas laikā.

Ugunsdrošības uzlabošana koka izstrādājumiem āra ekspluatācijas apstākļos

Antipirēnu izmantošana koka izstrādājumu izmantošanai āra ekspluatācijas apstākļos ir saistīta ar ugunsdrošības īpašību pasliktināšanos laika gaitā, turklāt antipirēnu izmantošana var izraisīt sliktāku koksnes izstrādājumu bioloģisko noturību. Klimatisko apstākļu ietekmē norisinās koksnes materiālu īpašību izmaiņas, kas var izraisīt nevēlamu nolietojanos vai funkciju nepildīšanu. Šo procesu dēvē par novecošanos. Galvenie novecināšanās faktori āra ekspluatācijas apstākļos ir Saules starojums (gaismas enerģija), temperatūra un mitrums. Sākotnēji novecināšana izraisa materiāla krāsas toņa maiņu, tam seko arī plaisāšana un virsmas raupjuma palielināšanās. Lignīna degradēšanās pavājina saites starp koksnes šūnām, bet celulozes degradēšanās izraisa koksnes virsmas noārdīšanos. Būtiskākās saules staru un mitruma sekas ir plaisu veidošanās uz koksnes virsmas. Tās rodas no straujās žūšanas intensīvos saules staros.

Krāsas toņa raksturošanai tiek izmantoti trīs parametri – L, a un b. Parametrs „L” raksturo gaišumu, bet parametri „a” un „b” – krāsainumu. Parametrs „L” var variēt no 0 (melns) līdz 100 (balts). Parametri „-a” un „+a” atbild par toņa zaļumu vai sarkanumu, bet „-b” un „+b” par zilumu un dzeltenumu.

Materiāli un metodes

Viss pētījums ir sadalīts trīs galvenajās daļās – antipirēnu vizuālo izmaiņu noskaidrošanā pēc dabiskās novecināšanas, antipirēnu ugunsreakcijas izmaiņu noskaidrošanā pēc dabīgās novecināšanas koniskā kalorimetra testos (LVS ISO 5660-1:2015) un antipirēnu ugunsreakcijas izmaiņu noskaidrošanā pēc dabiskās novecināšanas pilna izmēra ugunsreakcijas testos (LVS EN 13823:2010).

Vizuālo izmaiņu un ugunsreakcijas izmaiņu noskaidrošanā ar konisko kalorimetru ir izmantoti parastās priedes (*Pinus Sylvestris* L.) koksnes paraugi, kas izgatavoti saskaņā ar standarta LVS EN 927-3:2012 noteiktajiem izmēriem, veicot koriģējumus, lai varētu tikt izpildīti darba uzdevumi. Parauga platums ir palielināts līdz 105 mm, lai no tā būtu iespējams izžāgēt paraugus priekš koniskā kalorimetra testiem. Paraugu dimensijas ir 375×105×19 mm. Paraugi ir apstrādāti ar antipirēnu MPFR Texterior, antipirēnu MPFR Texterior, kas pārklāts ar eļļu Osmose Protim Träolja, antipirēnu MPFR Texterior, kas pārklāts ar lazūru Remmers HK-LASUR un antipirēnu MPFR Ultra.

Visi paraugi ir novietoti speciāli izgatavotos stendos. Stendi atrodas vertikālā stāvoklī, vērsti dienviņu virzienā (Zim. 1).



Zīmējums 1. Paraugi novecināšanas stendā.

Paraugi antipirēnu vizuālo izmaiņu noteikšanai pēc dabiskās novecināšanas

Krāsas tonis paraugiem ir noteikts pirms novecināšanas, 3 mēnešus un 12 mēnešus pēc novecināšanas sākšanas. Krāsas tonis ir noteikts, izmantojot spektrofotometru „Konica Minolta CM-2500d”. Pirms mērījumu veikšanas paraugi nedēļas garumā ir nokondicionēti kondicionēšanas kamerā. Mērījums katru reizi tika veikts vienā parauga vietā.

Paraugi antipirēnu ugunsreakcijas izmaiņu noteikšana pēc dabīgās novecināšanas koniskajā kalorimetrā

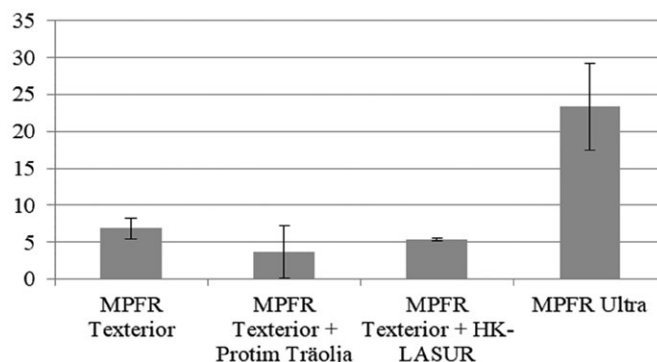
Trīs viena veida paraugi ir testēti, izmantojot konisko kalorimetru, bez novecināšanas, trīs paraugi 3 mēnešus pēc novecināšanas uzsākšanas un trīs paraugi 12 mēnešus pēc novecināšanas uzsākšanas. Visi paraugi pirms uguns testu veikšanas tika kondicionēti 23°C gaisa temperatūrā un 50 % gaisa relatīvajā mitrumā, lai nodrošinātu veikto testu objektivitāti. Koniskā kalorimetra testi tiek veikti 50 kWm⁻² siltuma starojumā. Testējot dotos paraugus, vērā tiek ņemta maksimālā siltuma izdalīšanās jauda (HRRmax, kWm⁻²) un kopējais izdalītā siltuma daudzums 600 s (THR600, MJm⁻²).

Paraugi antipirēnu ugunsreakcijas izmaiņu noteikšana pēc dabiskās novecināšanas pilnizmēra paraugos

Tika izgatavoti trīs pilna ugunsreakcijas testa paraugi saskaņā ar standartā LVS EN 13823:2010 noteiktajiem izmēriem. Paraugi ir izgatavoti no 24 mm bieziem egles (*Picea Abies*) koksnes dēļiem, kas vērsti vertikālā virzienā. Tie ir apstrādāti ar Latvijā ražotu antipirēnu FAP. Antipirēns tika uzklāts trīs kārtās ar kopējo patēriņu 350 g m⁻². Viens no paraugiem ir testēts bez novecināšanas saskaņā ar standartu LVS EN 13823:2010. Atlikušie divi paraugi ir izlikti novecināties vertikālā stāvoklī un vērsti dienvidu virzienā. Pēc 1 gada novecināšanas otrs paraugs ir nokondicionēts kondicionēšanas kamerā un atkārtoti testēts. Tas pats ir izdarīts ar trešo paraugu pēc 4 gadu dabiskās novecināšanas.

Rezultāti

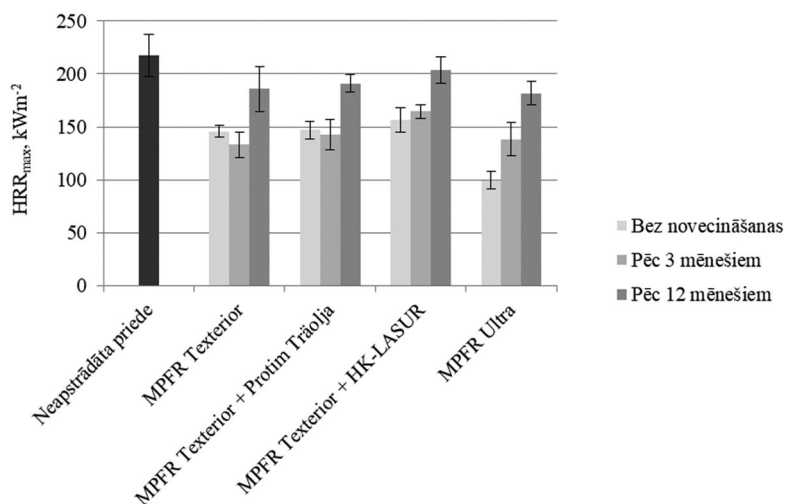
Pēc 12 mēnešu dabiskās novecināšanas visi paraugi ir mainījuši savu krāsas toni. Visizteiktāk tas ir redzams uz paraugiem, kas ir apstrādāti ar antipirēnu MPFR Ultra. Uz visiem paraugiem ir novērojamas nelielas plaisas. Ar antipirēnu MPFR Ultra apstrādātajiem paraugiem pēc 12 mēnešu novecināšanas uz paraugu virsmas ir novērojami izteikti pelējuma sēņu radīti bojājumi. Acīmredzot, kāda viela šī antipirēna sastāvā veicina pelējuma sēņu attīstību, jo uz paraugiem, kas apstrādāti ar antipirēnu MPFR texterior sēņu bojājumi nav novērojami vispār. Zīmējumā 2 var redzēt krāsas toņa izmaiņas parametra ΔE aprēķinātās vērtības. Visbūtiskākās krāsas toņa izmaiņas ir notikušas ar paraugiem, kas ir apstrādāti ar antipirēnu MPFR Ultra. Visiem ar antipirēnu MPFR Texterior apstrādātajiem paraugu veidiem šīs izmaiņas ir ievērojami mazākas.



2. att. Krāsas toņa izmaiņa ΔE .

Antipirēnu ugunsreakcijas izmaiņas pēc dabiskās novecināšanas

Viens no svarīgākajiem ugunsreakcijas rādītājiem ir maksimālā siltuma izdalīšanās jauda (HRR_{max} , kWm^{-2}). Tas parāda materiāla izdalītā siltuma jaudu kW uz $1 m^2$ laukuma vienību visintensīvākajā tā degšanas brīdī. Maksimālā degšanas jauda ierasti tiek sasniegta neilgi pēc materiāla aizdegšanās, kad intensīvi deg visa materiāla virsma. Materiālam degot, tā virsma sāk pārklāties ar ogles kārtiņu, kas aiztur materiāla uzkaršanu un degšanu, tādējādi arī samazinot siltuma izdalīšanās jaudu. Zīmējumā 3 ir redzams, ka, izmantojot antipirēnus ir iespējams ievērojami samazināt maksimālo siltuma izdalīšanās jaudu. Papildus eļļas apdare uz šī antipirēna principā neizmaina maksimālo siltuma izdalīšanās jaudu. Lazūras apdare nedaudz palielina šo rādītāju. Vislielāko efektu parāda antipirēns MPFR Ultra, kas samazina maksimālo siltuma izdalīšanās jaudu vairāk nekā divas reizes salīdzinājumā ar neapstrādātu priedes koksni.



Zīmējums 3. Maksimālās siltuma izdalīšanās jaudas salīdzinājums starp dažādiem apdares veidiem.

Trīs mēnešu novecināšana nav īpaši ietekmējusi visus ar antipirēnu MPFR Exterior apstrādātos paraugus. Tika novērots, ka ar antipirēnu MPFR Exterior un antipirēna kombināciju ar eļļu apstrādātie, paraugi pēc 3 mēnešu novecināšanas pat uzrāda labākus rādītājus nekā sākotnēji.

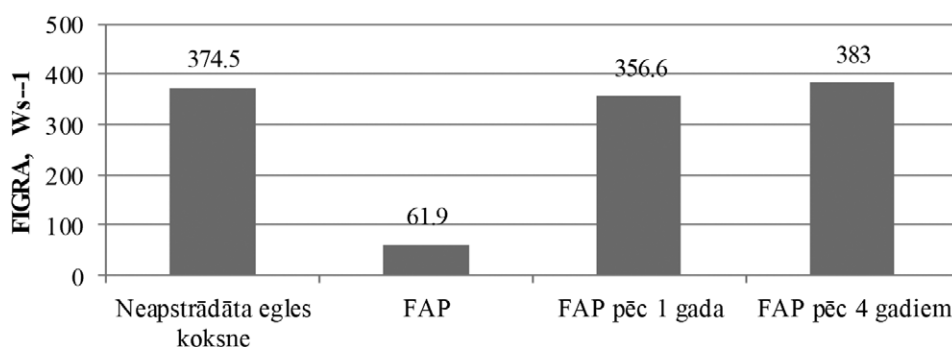
12 mēnešu novecināšana ir būtiski palielinājusi maksimālo siltuma izdalīšanās jaudu visiem paraugiem. Lai gan antipirēns MPFR Ultra joprojām uzrāda labāko rādītāju, tomēr tā vērtība ir palielinājusies gandrīz divas reizes. Vissliktāko rezultātu uzrāda antipirēna MPFR Exterior un lazūras Remmers HK-LASUR kombinācija. Šiem paraugiem maksimālā siltuma izdalīšanās jauda ir pieaugusi līdz vidēji $204 kWm^{-2}$.

Izvērtējot kopējā izdalītā siltuma daudzuma kritēriju, labākos rezultātus uzrāda ar antipirēnu MPFR Ultra apstrādātie paraugi. Ar antipirēnu MPFR Exterior un lazūru apstrādātie paraugi uzrāda stabilāko kopējā izdalītā siltuma daudzuma vērtību novecināšanas gaitā. Pēc 12 mēnešu novecināšanas tie, kā arī tikai ar antipirēnu MPFR Exterior apstrādātie paraugi uzrāda zemākos kopējā izdalītā siltuma daudzumus jeb vidēji $55 MJm^{-2}$.

Salīdzinot vidējā mēroga testa rezultātus ar antipirēnu FAP apstrādātai koksnei pēc viena un 4 gadu dabiskās novecināšanas procesa, var novērot būtiskas atšķirības starp paraugu vizuālo izskatu novecināšanas iespaidā un to, kā paraugi ir reaģējuši ar uguni. Paraugs, kas nav ticis novecināts, pēc testa nav caurdedzis un neturpina degt pēc gāzes degļa izslēgšanas. 1 gadu novecinātajam paraugam pārņēģotās koksnes apjoms ir ievērojami palielinājies, tas ir caurdedzis un turpina degt arī pēc gāzes degļa izslēgšanas. Paraugam, kas novecināts 4 gadus, salīdzinājumā ar 1 gadu novecināto paraugu pārņēģotās koksnes apjoms ir palielinājies, tas ir ievērojamāk caurdedzis un pēc testa beigām turpina degt ar intensīvāku liesmu. Vizuāli spriežot, var secināt, ka pēc 1 gada novecināšanas antipirēns ir būtiski pasliktinājis savas ugunsreakcijas īpašības, bet joprojām dod uzlabojumu ugunsreakcijas samazināšanā, bet pēc četrus gadus novecināšanas ugunszaīgsardzības efekts ir pilnībā zudis. Salīdzinot nenovecinātā parauga un 1 gadu novecinātā parauga dinamiku, var secināt, ka tā pēc novecināšanas siltuma izdalīšanās jauda maksimālajā punktā ir pieaugusi vairāk nekā sešas reizes, jeb no apmēram $16 kW$ līdz $100 kW$. Var secināt, ka lielākas izmaiņas antipirēna FAP ugunsreakcijā ir notikušas jau pirmajā novecināšanas gadā.

Zīmējumā 4 ir attēlota ugunsgrēka attīstības ātruma indeksa (FIGRA) salīdzinājumu starp neapstrādātu egles koksni, egles koksni, kas apstrādāta ar antipirēnu FAP, kā arī 1 un 4 gadus novecinātu egles koksni, kas apstrādāta ar antipirēnu FAP.

Kā redzams attēlā, tad antipirēns FAP samazina ugunsgrēka attīstības ātruma koeficientu sešas reizes jeb no $375 Ws^{-1}$ līdz $62 Ws^{-1}$. Pēc 1 gada novecināšanas koeficients gandrīz ir sasniedzis neapstrādātas koksnes līmeni jeb $357 Ws^{-1}$. Pēc 4 gadu novecināšanas ugunsgrēka attīstības ātruma koeficients jau ir pārsniedzis neapstrādātas koksnes līmeni jeb $383 Ws^{-1}$.



Zīmējums 4. Ugunsgrēka attīstības ātruma indekss.

Salīdzinot kopējā izdalītā siltuma daudzuma kritēriju starp neapstrādātu egles koksni, egles koksni, kas apstrādāta ar antipirēnu FAP, kā arī 1 un 4 gadus novēcinātu egles koksni, kas apstrādāta ar antipirēnu FAP, antipirēns FAP ir samazinājis kopējo izdalītā siltuma daudzumu 600 sekundēs apmēram 2,6 reizes jeb no 15,2 MJ līdz 5,7 MJ. Jau pēc 1 gada novēcināšanas šis rādītājs pārsniedz neapstrādātas koksnes līmeni, sasniedzot 17 MJ. 4 gadu novēcināšana kopējo izdalītā siltuma daudzumu 600 s ir palielinājusi līdz 23,3 MJ.

Tas, ka gan ugunsgrēka attīstības ātruma koeficients, gan kopējā izdalītā siltuma daudzums 600 s pēc novēcināšanas pārsniedz neapstrādātas koksnes līmeni, ir skaidrojams gan ar antipirēna izskalošanos no koksnes, gan izmaiņām pašas koksnes struktūrā.

Secinājumi

- Dabiskās novēcināšanas process būtiski samazināja visu izvēlēto antipirēnu darbības efektivitāti un aizsardzības īpašību zudums ir novērojams jau pirmajā ekspluatācijas gadā.
- Mazākā krāsas toņa izmaiņa ir notikusi paraugiem, kas apstrādāti ar antipirēnu MPFR Texterior un eļļu Osiose Protim Träolja, jeb koeficients ΔE ir izmainījies par 3,7 vienībām.
- Daži antipirēni var radīt pastiprinātu bioloģisko noārdīšanas risku koka izstrādājumiem.

Pateicības

- Autori pateicas SIA "Meža un koksnes produktu attīstības un pētniecības institūts" par tehnisko atbalstu.

Rezultatīvie indikatori

- Izstrādāts un aizstāvēts 1 maģistra darbs.
- Izstrādāta tehnoloģija koksnes antipirēnu darbības efektivitātes novērtēšanai.

Publikācijas

1. Spulle U., Bukšāns E., Iejavs J., Roziņš R. Reaction of door constructions made of cellular wood material to fire, *Drewno* 2016, Vol. 59, No. 198 DOI: 10.12841/wood.1644-3985.159.03
2. Morozovs A., Laiveniece L., Bērziņš A., Buksans E., Spulle U. (2015) Several Challenges of Wood Modification In: *Proceeding of The Eighth European Conference on Wood Modification ECWM8 Helsinki, Finland*, P.436-443.
3. Buksans E., Iejavs J., Rudzītis E. (2015) Reaction to fire performance of cellular wood materials. *Proceedings of the 1st European Workshop Fire Safety of Green Buildings*. Shaker Verlag, Berlin. 13-16 p.
4. Buksans E., Jakovļevs V., Grandāns N. (2015) Study of wood cladding surface finishing systems performance in outdoor conditions In: *Proceedings of the Knowledge Based Forest Sector (Zināšanās balstīta meža nozare) Rīga*. 19 p.

FIRE PROTECTION EFFICIENCY OF WOODEN MATERIALS IN EXTERIOR CONDITIONS

Edgars Bukšāns*, Andris Morozovs, Nauris Grandāns, Vilnis Jakovļevs

Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

* *edgars.buksans@e-koks.lv*

Changes of properties of wooden materials are affected by climatic conditions. It may cause undesired wear or functional defaults. This process is known as weathering. The main factors of weathering in exterior conditions are solar radiation, temperature and humidity. Weathering initially causes colour change of the material. It is followed by cracking and increase of surface roughness.

Bonds between wood cells are weakened due to degradation of the lignin. Degradation of wooden surfaces is caused by the degradation of the cellulose. Cracks are the most significant consequence of solar radiation. Cracks appear in the process of drying of wet surface in intense solar radiation. Dark coloured coating materials are contributing this process because they absorb more energy from the sunlight. Wooden surfaces can be protected from the consequences made by solar radiation by using appropriate coating materials or providing shelter to them.

In order to do the analysis of the weathering specimens the intensity and specify of weathering affecting factors need to be taken into account as well as secondary factors like location of sample or air pollution.

This study is divided into three main parts – determination of flame retardant visual changes after natural weathering, determination of flame retardant fire reaction changes after natural weathering by cone calorimeter tests (ISO 5660-1:2015) and determination of flame retardant fire reaction changes after natural weathering by full-size fire reaction tests (SBI) (EN 13823:2010).

Wooden specimens of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) is used to determine visual changes and fire reaction changes by cone calorimeter. Specimens are made according to standard LVS EN 927-3:2012 with some corrections to execute all the tasks. The specimen width is increased to 105 mm in order to make 100x100 mm cone calorimeter specimens out of them after natural weathering. Dimensions of the specimens are 375x105x19 mm. The specimens are treated with flame retardant MPFR Texterior, flame retardant MPFR Texterior covered with oil Protim Träolja, flame retardant MPFR Texterior covered with lasure Remmers HK-LASUR and flame retardant MPFR Ultra.

12 months after inception of the natural weathering all of the specimens have changed their colour tone. The most notable changes have occurred on specimens that were treated with flame retardant MPFR Ultra. All specimens have small cracks on their surfaces.

The most significant colour tone changes have occurred with flame retardant MPFR Ultra treated specimens. For all specimens treated with flame retardant MPFR Texterior these changes are much lower.

3 months of weathering has not particularly affected performance of flame retardant MPFR Texterior treated specimens. Flame retardant and flame retardant combination with oil treated specimens after 3 months weathering show even better performance than initially. Flame retardant MPFR Ultra treated specimens have significantly increased maximum heat release rate from average of 100 kWm⁻² to average of 138 kWm⁻² but it is still lower than all rates of specimens treated with flame retardant MPFR Texterior.

12 months of weathering has significantly increased maximum heat release rate for all specimens. Even though specimens treated with flame retardant MPFR Ultra show the best performance its value of this parameter has increased almost twice. Flame retardant MPFR Texterior treated specimens that are combined with lasure Remmers HK-LASUR show the worst results.

It can be concluded that the most remarkable changes of the flame retardant FAP has already occurred in the first year of the weathering. Flame retardant FAP reduces fire growth rate 6 times from 375 Ws⁻¹ to 62 Ws⁻¹. After 1 year of weathering fire growth rate of the flame retardant FAP treated spruce wood has reached the level of untreated wood or 383 Ws⁻¹. Both the fire growth rate and the total heat release in 600 s after 4 years of weathering exceed the level of untreated wood.

MINERĀLO PIEMAIŠĪJUMU NOTEIKŠANAS EKSPRESMETODE UN PELNU SATURA PROGNOZĒŠANAS METODIKA KOKSNES BIOMASAI (KURINĀMAJAM)

EXPRESS METHOD FOR DETERMINATION OF MINERAL IMPURITIES AND METHODOLOGY OF ASH CONTENT FORECASTING IN WOOD BIOFUEL

Andris Dekšnis*, Kārlis Būmanis, Jānis Mickevičs un Uldis Spulle

*Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija
Latvia Iniversity of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
* andris.deksnis@e-koks.lv*

Koksnes biokurināmajam ar pelnu saturu >3% pelnu veidošanā piedalās nekoksnes minerāli, piemēram, smiltis, akmeņi, māls, metāliski priekšmeti. Atkarībā no mizas un koksnes proporcijas var vizuāli novērtēt un prognozēt pelnu saturu, bet minerālu klātbūtni un daudzumu vizuāli novērtēt šķeldās nevar. Šim nolūkam minerāli ir jāatdala no kopējās šķeldu masas un skaitliski jānovērtē to masas attiecība pret kopējo parauga daudzumu. Mērķa sasniegšanai ir nepieciešams atrast vienkāršu un efektīvu minerālu atdalīšanas un noteikšanas metodi, kā arī jānosaka kritēriji, kurus izmantot biokurināmā vizuālajā novērtēšanā. Izmantojot aprēķinu algoritmu, iegūtos rezultātus izsakot ar skaitliskām vērtībām, var noteikt pelnu satura prognozi.

Apskatot līdzīgu pētījuma [1] metodiku, kur minerālu atdalīšanai izmanto sietus, tas attaisnojas tikai tad, ja minerālu daļiņas nav lielākas par sieta acs izmēru jeb 2 mm. Lielākas daļas ir jāidentificē vizuāli, kas prasa vairāk laika un neizslēdz iespēju tās nepamanīt. Ekspresmetodei ir jābūt vienkāršai un aprīkojumam viegli pieejamam, lai to būtu ērti lietot jebkuram biokurināmā piegādātājam vai patērētājam, noprognozējot vienu no kvalitāti raksturojošiem parametriem jeb pelnu saturu.

Pelnu satura noteikšanā lietotā standartizētā metodika [5] sniedz precīzus un salīdzināmus rezultātus, taču pavadītais laiks, no paraugu sagatavošanas līdz pārbaudes izpildei ir aptuveni 30 stundas. Biokurināmā ražotājam, piegādājot to tieši no šķeldošanas vietas, vai, veidojot maisījumus no dažādu veidu un kvalitātes izejmateriāliem, tik ilgs laika intervāls nesniedz iespēju operatīvi reaģēt uz nepieciešamās kvalitātes nodrošināšanu. Patērētājam apmaksu veicot pēc fiksētām pelnu satura kvalitātes prasībām, biokurināmā ražotājs ekonomiski ir motivēts piegādāt tādas kvalitātes kurināmo materiālu.

Vērtējot minerālpiemaisījumu parametrus, kas tieši ir saistīts ar pelnu satura daudzumu, iespējams, skaitliski novērtēt katras piegādātās kravas kvalitāti laika intervālā, kas nepārsniedz 30 minūtes. Tādā laika intervālā, veidojot biomasas maisījumus, ir iespējams mainīt jau nākamās kravas kvalitāti nepieciešamajā virzienā. Izstrādātās metodes efektivitāte un precizitāte ir pārbaudīta reālos apstākļos, sniedzot biokurināmā patērētājam un piegādātājam nepārtrauktu datu plūsmu par katras piegādātās kravas kvalitāti.

Materiāli un metodes

Minerālpiemaisījumu un pelnu satura prognozēšanas pētījums veikts koģenerācijas stacijā, iesaistot divus šķeldu piegādātājus. Paraugu iegūšana nodrošināta katlumājā ar automātisko paraugu ņemšanu. Atlase veikta noteiktos laika periodos. No katras kravas atlasītie paraugi sadalīti divos identiskos paraugos ar 12 sekciju birstošo materiālu dalītāju pēc standartmetodikas prasībām [3]. Viena parauga daļa pārbaudīta ar ekspresmetodi, par noteiktu laika periodu, nosakot vidējo vērtību un statistiskos rādītājus. Ar ekspresmetodi noteiktais rezultāts salīdzināts ar tā paša perioda visu kravu kombinēto parauga pelnu saturu, kas iegūts izmantojot standartmetodi [5]. Paraugu ņemšana ir veikta jūlija un augusta mēnešos, kopā atlasot 56 paraugus.

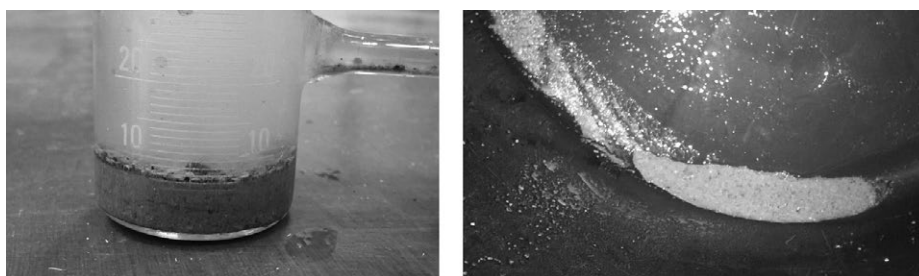
Minerālu noteikšanas sistēmas kalibrēšana

Mērcilindru (600 ml) līdz pusei piepilda ar ūdeni, novieto uz svariem, nonullē. Mērcilindrā ieber 100 g smilšu un grants maisījumu samaisa un ļauj nostāties aptuveni vienu minūti, tad nolasa rādījumus no svariem un smilšu līmeni mērcilindrā,

aprēķina iedaļas vērtību g. Pēc tam darba traukā ieber šķeldu paraugu no 1 līdz 2 kg, pievieno ūdens smilšu maisījumu no mērcilindra, pielej 10 litrus ūdens, visu rūpīgi samaisa, ļauj nostāvēties 1 minūti. No darba trauka ar rokām rūpīgi izņem visas peldošās un nogrimušās šķeldu daļas, nolej lēnām ūdeni, lai izvairītos no minerālu izliešanas. Ja ir nepieciešams, pievieno tīru ūdeni un veic parauga skalošanu, līdz pilnībā atdalītas šķeldu daļas. Vēlams atkārtoti izskalot šķeldu paraugu, lai pārlicinātos, ka minerālās daļiņas nav palikušas šķeldu masā. Izskalotos minerālus rūpīgi ar ūdeni iepilda mērcilindrā, nolasa iedaļu skaitu, aprēķina izskaloto minerālu masu un zudumus minerālu atdalīšanas laikā. Visas iepriekšminētās operācijas atkārtoti vismaz divas reizes, aprēķina vidējo iedaļas vērtību un minerālu zudumu koeficienta vērtību skalošanas laikā, ko turpmāk izmanto faktiskā minerālu satura vērtības koriģēšanai.

Minerālu noteikšana reālos apstākļos

No katras kravas paņemtam paraugam [2,3] veic minerālpiemaisījumu noteikšanu. Darba trauku uzliek uz svāriem un nonullē, ieber šķeldu paraugu aptuveni 1 kg, pielej 10 litrus ūdens, visu rūpīgi samaisa, ļauj nostāvēties 1 minūti. No darba trauka ar rokām rūpīgi izņem visas peldošās un nogrimušās šķeldu daļas, nolej lēnām ūdeni, lai izvairītos no minerālu izliešanas. Ja ir nepieciešams, pievieno tīru ūdeni un veic parauga skalošanu, līdz pilnībā atdalītas šķeldu daļas. Vēlams izskalot atkārtoti šķeldu paraugu, lai pārlicinātos, ka minerālās daļiņas nav palikušas šķeldu masā. Izskalotos minerālus rūpīgi ar ūdeni iepilda mērcilindrā (Zīm. 1), nolasa iedaļu skaitu, aprēķina minerālu saturu.



Zīmējums 1. Izskaloto minerālu daudzuma noteikšana ar mērcilindru.

Biomases vizuālā novērtēšanā ir jāņem vērā vairāki kritēriji, pēc kuriem veikt tās novērtēšanu. Atkarībā no mizas un koksnes, skuju un lapu proporcijas būs atkarīgs arī pelnu satura daudzums. Katras komponentes vidējais pelnu saturs dažādām koka biomasas daļām ir atšķirīgs un variē zināmās robežās, kas arī ir uzrādīts sekojošā tabulā.

Tabula 1. Pelnu saturs atkarībā no biomasas daļas [6]

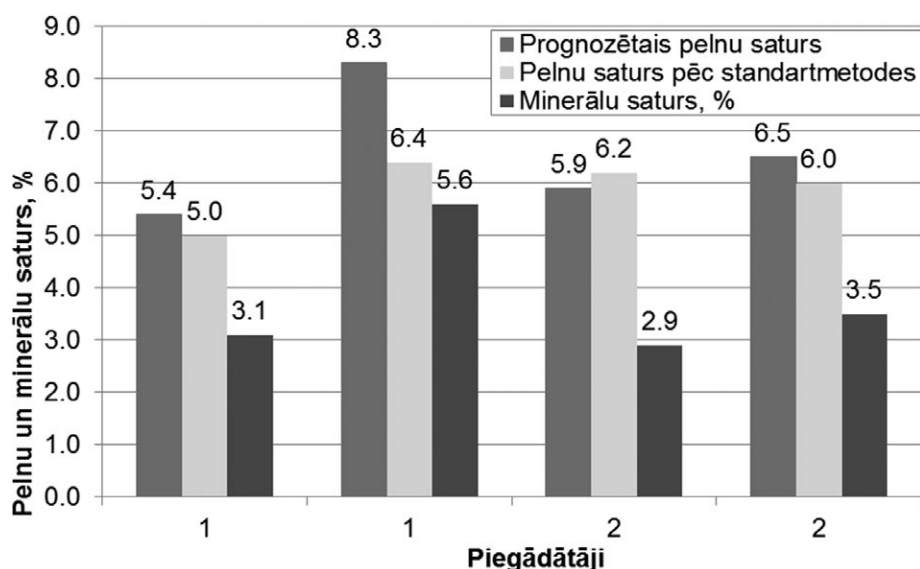
Materiāls	Pelnu satura tipiskā vērtība	Pelnu satura variēšanas diapazons
Tīra koksne	0,3%	no 0,1 līdz 1,0%
Mizas	4%	no 1 līdz 5%
Skujas, lapas	6%	no 2 līdz 10%
Ciršanas atlikumi, koksne vismaz 85% mizas līdz 10% un skujas līdz 3% maisījums	3,0%	no 1 līdz 5%

Aprēķinu veikšanai ir ievākti visi paraugu raksturojošie parametri - parauga masu, mitrumu, minerālu daudzumu, izcelsmi.

Rezultāti un diskusija

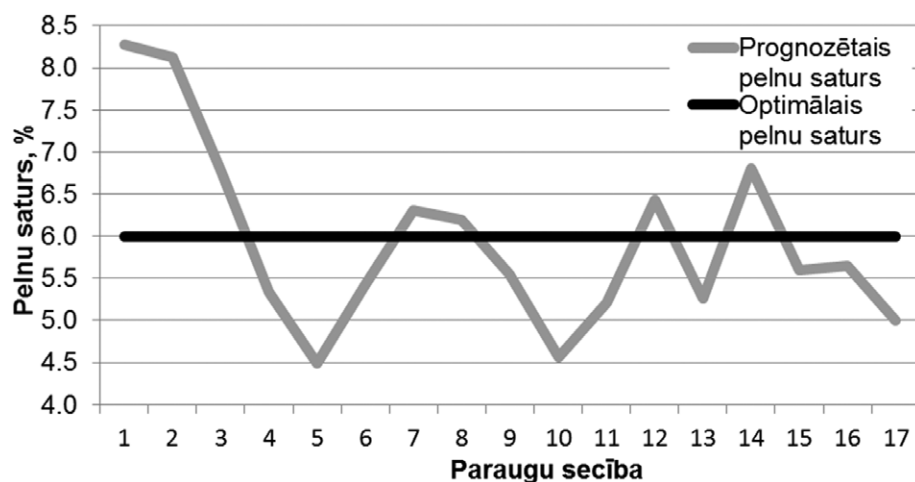
Veicot sistēmas kalibrēšanu, izskalojot minerālus no references materiāla, noteiktais minerālpiemaisījumu zuduma koeficients sastādīja 21%. Koeficienta vērtību izmantota minerālu satura aprēķināšanai paraugiem no piegādātāju kravām. Izmantojot kalibrētu sistēmu, noteikta katras kravas parauga minerālpiemaisījumu saturs. Perioda beigās kombinētajam paraugam, kas izveidots no visiem attiecīgā periodā iegūtiem paraugiem noteikts pelnu saturs pēc standartmetodes [5]. Iegūtie rezultāti ir apskatāmi 2. zīmējumā.

Veicot prognozēšanas sistēmas pārbaudi ar reāliem paraugiem (Zīm. 2), ievērtējot minerālu zudumu, prognoze pēc standartmetodes noteiktā pelnu satura neatšķirās trijās no četrām pārbaudēm vairāk nekā par 0,5% pelnu satura. Ekspresmetodes lietošana biokurināmā ražošanā sniedz iespēju optimizēt izmaksas šķeldu ražošanas procesā.



Zīmējums 2. Pēc standartmetodes noteiktais, prognozētais pelnu saturs, minerālpiemaisījumu daudzums: 1 – SIA “Vīgranti”; 2 - Reinpaul” OŪ.

Uzsākot katras kravas kvalitātes uzraudzību un, sniedzot operatīvu informāciju, koksnis biokurināmā ražotājs, izmainot maisījuma sastāvu, var uzlabot šķeldu maisījuma kvalitāti [6]. Veikto darbību rezultāts atspoguļots 3. zīmējumā.



Zīmējums 3. Potenciālā piegādātāja koksnis biokurināmā rīcības plāns attiecībā uz pelnu satura prognozi.

Secinājumi

1. Lielzīmēra minerālu daļas akmeņu un rupjas grants veidā izskalošanas laikā rada mazākus zudumus, nekā tas ir ar smalkas frakcijas minerālu daļām. Nekoriģējot minerālu izskalošanas koeficientu, aprēķins uzrāda lielāku pelnu saturu, nekā tas ir patiesībā.
2. Veicot eksperimentus ar references materiālu konstatēti smalkās frakcijas minerālu zudumi 21% apmērā, kas jāņem vērā, veicot pelnu satura prognozi.
3. Ekspresmetodes izpildei nepieciešamais laiks ir 15 min uz vienu paraugu, bet standartmetodes izpildes gadījumā sasniedz pat 30 stundas.
4. Veicot ātru piegādātās koksnis biokurināmā kravu novērtēšanu, piegādātājs var optimizēt biomasas kvalitāti un izvairīties no patērētāja sankcijām par neatbilstošas kvalitātes koksnis biokurināmā piegādi.
5. Atbilstošas kvalitātes koksnis biokurināmā piegāde patērētājam var samazināt pelnu utilizācijas un apkures katla uzturēšanas izmaksas.

Rezultatīvie rādītāji

- I. Izstrādāta un uzņēmumā aprobēta ekspresmetode koksnes biokurināmā pelnu satura prognozēšanai un kvalitātes noteikšanai.

Pateicība

Pētījums tapis sadarbībā ar koģenerācijas staciju Latvijā SIA „Fortum Jelgava”, šķeldu piegādātāju Latvijā SIA „Vigranti” un šķeldu piegādātāju Igaunijā un Latvijā „Reinpaul” OÜ.

Literatūras saraksts

1. BioNorm II, Pre-normative research on solid biofuels for improved European standards.
2. LVS EN 14778 Cietās biodegvielas. Paraugu ņemšana.
3. LVS EN 14780 Cietās biodegvielas. Paraugu sagatavošana.
4. LVS EN 14774-2 Cietās biodegvielas. Mitruma satura noteikšana. Vienkāršotā metode
5. LVS EN 14775 Cietās biodegvielas. Pelnu satura noteikšana.
6. LVS EN ISO 17225-1 Cietās biodegvielas. Degvielu specifikācijas un klases 1. Daļa: Vispārīgās prasības.

EXPRESS METHOD FOR DETERMINATION OF MINERAL IMPURITIES AND METHODOLOGY OF ASH CONTENT FORECASTING IN WOOD BIOFUEL

Andris Dekšnis*, Kārlis Būmanis, Jānis Mickevičs and Uldis Spulle

Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

** andris.deksnis@e-koks.lv*

High ash content >3% in wood biomass usually is created by mineral impurities, e.g., sand, stone, clay, metal pieces. Depending on the proportion of bark and wood it is possible to evaluate and forecast ash content visually, but determination of minerals presence and quantity in wood chips is not possible. For this reason minerals should be separated from wood chips and their proportion of total sample weight calculated.

Express method should be simple and equipment available for wide range of solid biofuel producers and users to evaluate its quality. By assessing mineral content parameters directly related to the amount of ash content it is possible to quantify the quality of each load within an interval of time not exceeding 30 minutes. During this time interval, making biomass mixtures, it is possible to change the quality for the next delivery at the required level.

Results and discussion

Calibration of mineral content determination with reference samples gives opportunity to evaluate potential minerals losses which depends on total minerals content amount during washing out. It is experimentally determined that losses during washing out draws up 21% of initially added sand and gravel mixture amount. The result obtained is used as a factor for the minerals content determination. During testing forecasting system with actual samples were taking into account minerals content losses results of ash content determined according to the standard method do not differ from the forecasted values more than 0,5% in nine cases out of ten. Application of express method in wood biofuel production gives opportunity to improve biofuel quality parameters and optimize production costs.

Quality of the chips mixture was improved due the starting of monitoring of each load quality and sharing of operational information on changing of the composition of the mixture by energy chips manufacturer.

Conclusions

1. Large parts of minerals in form of stones and coarse gravel during rinsing resulting in smaller losses than fine fractions of minerals components. Adjustment of minerals rinsing loss coefficient calculation shows a higher ash content than it is.
2. When carrying out experiments with reference materials minerals loss of 21%, were found in the fine fraction which should be taken into account in ash content forecast.
3. Required time for the express method performance was 15 minutes per sample, but reference method execution requires up to 30 hours.
4. By conducting a quick delivered loads assessments biomass supplier can optimize biomass quality and avoid of consumer sanctions of inadequate biomass quality supply.
5. Appropriate quality biomass supply to the consumer reduces ash utilization and boiler maintenance costs.

Recommendations

For improvement of quality of biomass mixture formation it is necessary to create a modelling system for two or more biomass components. By determination of the quality characteristics it will be possible to prepare a recipe for optimal quality mixture for biomass production.

KOKSNES UN TĀS MATERIĀLU EKSPLOUATĀCIJAS ĪPAŠĪBAS

PERFORMANCE PROPERTIES OF WOOD AND WOOD BASED MATERIALS

Jānis Iejavs*, Rihards Roziņš, Uldis Spulle, Vilnis Jakovļevs, Oskars Ruļuks

Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija

Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia

*janis.iejavs@e-koks.lv

Atskaites periodā veikti četri pētījumi, lai noskaidrotu un apkopotu koksnes un tās materiālu fizikālās un mehāniskās īpašības. No veiktajiem pētījumiem var izdalīt divus galvenos pētījumu virzienus: vieglo plātņu (KŠM - koksnes šūnveida materiāla un LSB - *Lightweight Stabilized Blockboard*) īpašību izpēti un apkopšanu, kā arī koksnes apdares materiālu efektivitātes novērtēšanu pret ūdens absorbciju. Koksnes šūnveida materiāla izgudrošana tiek uzskatīta par vienu no nedaudzajām pēdējās desmitgades kokapstrādes industrijas inovācijām. Tādējādi sākotnējā pētījuma mērķis bija apkopotas desmit gadu laikā gūtās atziņas par koksnes šūnveida materiāla īpašībām un to uzlabošanas iespējām ar aplīmēšanas paņēmieni. Otrā pētījuma mērķi - noskaidrot koksnes šūnveida materiāla ūdens tvaika pārvades raksturlielumus un analītiski novērtēt no KŠM izgatavotu ārsienas paneļu kondensācijas risku būvniecības vajadzībām. Trešā pētījuma mērķis – jauna tehnoloģiskā risinājuma vieglo plātņu LSB īpašību novērtēšana un salīdzināšana ar citiem koksnes bāzes plātņu materiāliem. Pēdējā pētījumā apskatīts jautājums par tirdzniecībā pieejamo apdares materiālu efektivitāti pret ūdens absorbciju. Pētījumu paraugu izgatavošana veikta galvenokārt rūpnieciski. Paraugu pārbaudes veiktas, balstoties uz standartizētām, Eiropā atzītām testēšanas metodēm.

Koksnes šūnveida materiāla īpašības – apskats

Masīvkoksne ar rievām tiek izmantota kā izejmateriāls koksnes šūnveida materiāla, vēlāk arī dažādu koksnes šūnveida materiāla plātņu izgatavošanai (Zīm. 1.2.). Kopš 2007. gada, kad tika izstrādāta un patentēta koksnes šūnveida materiāla un inovatīvā plātņu materiāla izgatavošanas tehnoloģija, vairāki pētnieki iesaistījušies koksnes šūnveida materiāla īpašību analītiskā un eksperimentālā izpētē ar mērķi noskaidrot materiāla īpašības pielietošanai būvniecībā. Pētījumā apkopotas būtiskākās atziņas par koksnes šūnveida materiāla īpašībām un to uzlabošanas iespējām ar aplīmēšanas paņēmieni. Pētījuma rezultāti apkopoti publikācijā [1].

Secinājumi

1. Pēc priedes KŠM kondicionēšanas standarta atmosfērā pie 20 ± 2 °C temperatūras un pie 65 ± 5 % relatīvā gaisa mitruma iegūts koksnes šūnveida materiāls ar vidējo mitrumu 12.5 % (robežās no 11.9 līdz 13.6 %).
2. Koksnes šūnveida materiāla blīvuma vērtībās ir robežās no 277 līdz 332 kg·m⁻³ (vidēji 307 kg·m⁻³) KŠM blīvums ir par 38 % zemāks salīdzinot ar priedes masīvkoksnes blīvumu 510 kg·m⁻³.
3. Koksnes šūnveida materiāla uzbūve, koksnes mitruma izmaiņu ietekmē, nodrošina mazākas izmēru izmaiņas, salīdzinot ar priedes masīvkoksni. KŠM izmēru izmaiņas pa materiāla garumu un platumu raksturo vidējais rukšanas un briešanas koeficienta rādītājs 0.021. Materiāla izmaiņas biezumā raksturo rukšanas un briešanas koeficienta vērtība 0.25 un tā ir salīdzināma ar priedes masīvkoksnes tangenciālā un radiālā virziena vidējo rukšanas koeficientu 0.22.
4. KŠM paralēlā virzienā raksturo siltumvadītspējas koeficients λ_0 0.0977 W·m⁻¹·K⁻¹ un tas ir par 34 % zemāks kā materiāla perpendikulārā virziena koeficients λ_{90} 0.148 W·m⁻¹·K⁻¹. Salīdzinājumam masīvkoksni šķērsām šķiedrām raksturo siltumvadītspējas koeficients 0.13 W·m⁻¹·K⁻¹.
5. Pārbaudītajiem KŠM durvju paneļiem iegūtas sekojošas skaņas izolācijas indeksu vērtības 26 dB (25 mm panelim) un 31 dB (60 mm panelim). Sienu paneļu skaņas izolācijas indeksu vērtība ir 33 dB 92 mm biežajam panelim, 35 dB 108 mm panelim un 37 dB 148 mm panelim. Paneļi ar biežumu 92 un 108 mm nodrošina līdzīgus skaņas izolācijas indeksu rādītājus kā četru kārtu krustām līmēto kokmateriālu paneļi ar 100 mm biežumu, kuru skaņas izolācijas indekss ir 34 dB.

6. Koksnes šūnveida materiāls paralēlajā virzienā klasificējams D-s2-d0 ugunsreakcijas klasē neskatoties uz to ka ugunsreakcijas rādītāji – ugunsgrēka attīstības ātruma indekss (FIGRA) un kopējā siltuma izdalīšanās (THR_{600s}) bija divas reizes augstāki, kā tas ir masīvkoksnes dēļiem. Perpendikulārā virzienā materiāla uguns reakciju raksturo E klase.
7. Iegūtie vidējie koksnes šūnveida materiāla robežstiprības rādītāji ir robežās no 0.217 MPa (robežstiprība bīdē materiāla paralēlā virzienā) līdz 2.15 MPa (robežstiprība liecē materiāla perpendikulārajā virzienā). Vidējie elastības moduļi rādītāji ir robežās no 5.87 MPa (elastības modulis bīdē materiāla paralēlā virzienā) līdz 179 MPa (lokālais lieces elastības modulis materiāla paralēlajā virzienā).

KŠM ūdens tvaika pārvades raksturlielumi un no KŠM izgatavotu sienas paneļu kondensācijas riska analīze

Veiktā pētījuma mērķi ir noskaidrot koksnes šūnveida materiāla ūdens tvaika pārvades raksturlielumus un analītiski novērtēt no KŠM izgatavotu ārējo paneļu kondensācijas risku. Kopā pētījumam izgatavoti un pārbaudīti 18 paraugi, pa trim katrai no sešās paraugu grupās. KŠM ūdens tvaika pārvades raksturlielumi tika noteikti saskaņā ar standarta LVS EN 12086:2014 pārbaudes metodiku. Paraugi izgatavoti no trīs dažādas uzbūves priedes (*Pinus sylvestris* L.) koksnes šūnveida materiāliem, kuri atšķiras ar ražošanā izmantoto lameļu biezumiem un materiālā saklāto kārtu skaitu. Rādītāji noteikti abiem atšķirīgajiem KŠM virzieniem. Paraugu izgatavošanai izmantota vienkomponta polivinilacetāta līme Cascol 3353.

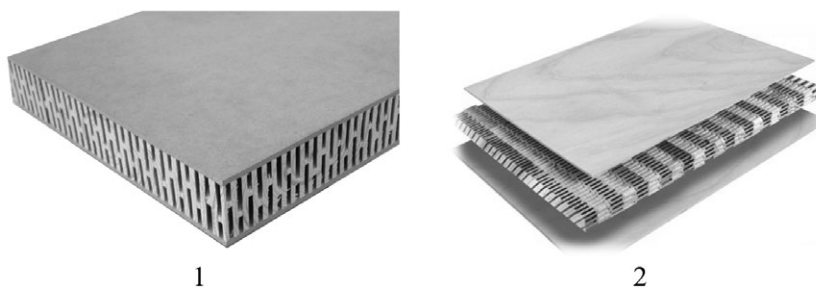
Katrā paraugu grupā indikatīvi novērtēta lameļu biezuma, lameļu skaita un KŠM virziena ietekme uz materiāla ūdens tvaika pārvades raksturlielumiem. Atšķirīgās uzbūves KŠM ārējo paneļu kondensācijas riska analīze veikta saskaņā ar standarta LVS EN 13788:2012 aprēķinu metodiku. Pētījuma galvenie rezultāti apkopoti publikācijā [2].

Secinājumi

1. Pētījumā noteikts, ka koksnes šūnveida materiāla virzienam ir būtiska ietekme uz ūdens tvaika pārvades raksturlielumiem. Pētījumā noteikta KŠM ūdens tvaika difūzijas pretestības koeficientu vērtība 6.53 materiāla perpendikulārā virzienā un 2.4 reizes augstāka vērtība 15.5 materiāla paralēlā virzienā.
2. Koksnes šūnveida materiāla uzbūvei (kārtu skaitam un kārtu biezumam) nav būtiskas ietekmes uz materiāla paralēlā virziena ūdens tvaika difūzijas pretestības koeficientu. Pieaugot koksnes šūnveida materiāla paralēlā virziena kārtu skaitam divas reizes un materiāla biezumam 2.2 reizes. KŠM ūdens tvaika pretestības difūzijas ekvivalentā gaisa slāņa biezums pieaug būtiski jeb 2.5 reizes.
3. Noteiktā koksnes šūnveida materiāla ūdens tvaika pretestība ir būtiski zemāka, salīdzinot ar būvniecībā plaši izmantoto plātņu materiālu un masīvkoksnes ūdens tvaika pretestību.
4. Iegūtie koksnes šūnveida materiāla ūdens tvaika pārvades raksturlielumi ir izmantojami no koksnes šūnveida materiāla izgatavotu konstrukciju iekšējās kondensācijas riska novērtēšanai.
5. Neizolētu KŠM paneļu sienu var pielietot tikai ēkās, kurām nav reglamentētas augstas energoefektivitātes prasības. Šādas sienas iespējams lietot ēkās, kuras netiek lietotas nepārtraukti – ziemā, kad kondensācijas riski ir visaugstākie. Tāpēc šādu paneļu sienas varētu tikt lietotas sezonālām ēkām, namiņiem un vasaras mājām.
6. Ar masīvkoksnes kārtām izolētu KŠM paneļu sienu var pielietot kā daļu no būvniecības sistēmas dažādu ēku un būvju būvniecībā. Izmantojot šāda veida sienas konstrukciju iespējams nodrošināt gan LBN. Pozitīva nianse izvēloties šāda veida sienas konstrukciju ir fakts, ka sienā nebūtu jāiestrādā tvaika izolācijas plēve, kas nozīmē, ka ēkas mikroklimata regulācijā, kā dabīgs kondicionieris varētu funkcionēt ēkas koka sienas.

LSB plātņu īpašības

LSB (Lightweight Stabilized Blockboard) plātne ir jauns produkts, kuru Latvijā patentējis uzņēmums SIA "ARB Pope". Šāda veidam plātnes tiek izgatavotas no priedes (*Pinus sylvestris* L.) masīvkoksnes dēļiem iekšējā kārtā un augsta blīvuma koksnes šķiedru plātnēm (HDF) ārējās kārtās. Plātņu masa tiek samazināta pateicoties dēļu garenvirzienā iestrādātām abpusējām rievām. Dotos dēļus orientējot 45° leņķi pret plātnes garenvirzienu un abpusēji aplīmējot ar HDF plātnēm, tiek iegūtas LSB plātnes (Zīm. 1).



Zīmējums 1. 1- LSB un 2 - KŠM plātnes (www.dendrolight.lv).

LSB plātnes ir jauns produkts, kura īpašības un to ietekmējošie faktori līdz šim nav pētīti. LSB plātņu potenciālais pielietojums ir lielizmēra korpusa mēbeļu un bīdāmo vai veramo iekšdurvju izgatavošanai. Tādēļ izvirzīts pētījuma mērķis noskaidrot galvenos LSB plātņu fizikālos un mehāniskos rādītājus, kā arī novērtēt plātnes virziena un mitruma ietekmi uz minētajiem rādītājiem.

Pētījumā tika noteikti un analizēti sekojoši LSB plātņu rādītāji: mitrums (saskaņā ar standartu LVS EN 322); blīvums (LVS EN 323); izmēru izmaiņas, rukšanas un briešanas koeficienti (LVS EN 318); uzbriešana biezumā pēc 24 h izturēšanas ūdenī (LVS EN 317); iekšējo slāņu stiprība (LVS EN 319); skrūvju izraušanas pretestība (LVS EN 320); robežstiprība un elastības modulis trīspunktu liecē (LVS EN 310).

Secinājumi

1. No priedes dēļiem un augsta blīvuma koksnes šķiedru plātnēm izgatavotās LSB plātnes pēc kondicionēšanas standarta atmosfērā raksturo sekojoši vidējie fizikālie rādītāji: mitrums 8.6 %; blīvums $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; rukšanas koeficients plātnes biezumā $0.361 \text{ \%}\cdot\text{\%}^{-1}$, rukšanas koeficients plātnes garumā un platumā $0.0245 \text{ \%}\cdot\text{\%}^{-1}$; uzbriešana biezumā pēc 24 h izturēšanas ūdenī 6.3 %. Plātnei noteikti sekojoši mehāniskie rādītāji: stiepes stiprība perpendikulāri pret plātnes plakni 0.51 MPa; skrūvju izraušanas pretestība 1076 N no plaknes un 553 N no malām; robežstiprība trīspunktu liecē 13.4 MPa un elastības modulis 1754 MPa.
2. Pētījumā noskaidrots, ka LSB plātņu ekspluatācijas mitrumam un ar to saistītajām plātnes mitruma izmaiņām ir būtiska ietekme uz plātnes uzbriešanas rādītājiem pēc 24 h izturēšanas ūdenī un plātņu stiepes stiprības rādītājiem perpendikulāri pret plātnes plakni, savukārt būtiska ietekme uz blīvuma un skrūvju izraušanas pretestības rādītājiem netika novērota. Būtiska plātņu virziena ietekme tika novērota gan uz skrūvju izraušanas pretestības rādītājiem, gan uz robežstiprības un elastības moduļa rādītājiem liecē.
3. LSB plātnēm salīdzinot ar *DendroLight* plātnēm un tradicionālām koksnes plātnēm var minēt sekojošas priekšrocības: samazinātas ražošanas izmaksas, pateicoties mazākam izgatavošanas operāciju skaitam; pateicoties plātnes simetriskajai uzbūvei tās īpašības plātnes garenvirzienā un platumā ir vienādas; plātnes izmēru izmaiņas biezumā atkarībā no mitruma var prognozēt, izmantojot masīvkoksnes un HDF plātnes rukšanas briešanas rādītājus. Pateicoties dēļos iestrādātajām abpusējām rievām, tiek samazināti dēļa iekšējie spriegumi, kā rezultātā tiek iegūts materiāls ar augstāku formas stabilitāti.
4. Atsevišķos gadījumos LSB plātnes ar samazināto svaru un blīvumu spēj nodrošināt tādu pašu vai augstākus mehāniskos rādītājus kā atsevišķiem plaši izmantotiem plātņu materiāliem.

Apdares materiālu efektivitāte pret ūdens absorbciju koksnē

Latvijas tirgū tie piedāvāti dažādi koksnes apdares materiāli, kuri piemēroti koksnes aizsardzībai izmantošanai āra ekspluatācijas apstākļos. Tai pašā laikā, pieejamā informācija par apdares materiālu efektivitāti pret tiešu ūdens iedarbību ir nepietiekama. Tādēļ veikts pētījums ar mērķi novērtēt Latvijas tirgū piedāvāto koksnes apdares materiālu efektivitāti pret ūdens absorbciju.

Pētījumā izmantoti ar sešiem dažādiem apdares materiāliem apstrādāti 162 egles un priedes koksnes paraugi. Apdares materiālu efektivitāte novērtēta izmantojot divas modificētas standartu LVS EN 382-2 un LVS EN 927-5 pārbaudes metodes, nosakot apstrādātas koksnes virsmas ūdens absorbciju pēc 24 h ūdens iedarbības un apstrādātu līmēto konstrukciju kokmateriālu ūdens absorbcijas dinamiku 696 h, jeb 29 diennaktis izturot ūdenī.

Secinājumi

1. Priedes un egles koksnes tangenciālās virsmas apstrādes procesā novērots, ka apdares materiāla patēriņš otrajam apdares slānim, salīdzinot ar pirmo apdares slāni, atkarībā no apdares materiāla veida, nemainās vai samazinās līdz pat 81 %. Visbūtiskāk apdares materiāla patēriņš samazinās, apstrādājot priedes aplievas koksnes virsmas.
2. Visi pētījumā izmantotie apdares materiāli būtiski (par 16 līdz 93 %) samazina priedes un egles koksnes tangenciālās virsmas ūdens absorbcijas spējas ($p < 0.05$).
3. Vislielākais ūdens absorbcijas rādītāju samazinājums novērots apstrādātai priedes aplievas koksnei. Izmantojot eļļas bāzes apdares materiālus virsmas ūdens absorbcija samazinās par 79 līdz pat 86 %, savukārt apdares materiāliem uz šķīdinātāju bāzes, ūdens absorbcija samazināt pat par 92 līdz 93 %.
4. No eļļas bāzes apdares materiāliem būtiski zemākus virsmas ūdens absorbcijas rādītājus uzrādījis PROTIM eļļas apdares materiāls ($p < 0.05$). Materiāliem uz organisko šķīdinātāju bāzes (TEKSTUR DEKOR; REMMERS HK lasur) nav konstatēta būtiska virsmas ūdens absorbcijas rādītāju atšķirības ($p > 0.05$). Apdares materiāli uz eļļas bāzes ir ar zemāku efektivitāti pret īslaicīgu koksnes virsmas ūdens uzsūkšanu, salīdzinot ar apdares materiāliem uz organisko šķīdinātāju bāzes.
5. Apdares materiāla patēriņš apstrādājot līmēto konstrukciju kokmateriālu gala plaknes pieaug no 3 (STAFOR zviedru krāsai no 190 līdz 495 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) līdz pat 7 (TEKSTUR DEKOR no 60 līdz 421 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) reizēm, salīdzinot ar patēriņu līmēto konstrukciju kokmateriālu sānu plakņu apstrādei.
6. Apstrādātus egles un priedes līmētos konstrukciju kokmateriālus ilglaicīgi izturot ūdenī, līmēto konstrukciju kokmateriālu paraugu ūdens absorbcija visstraujāk notiek pirmo 288 h laikā, kad paraugu masas vidējais pieaugums ir no 23 līdz pat 34 % un mitrums palielinās no 47 līdz pat 75 %. Laika periodā no 288 līdz 696 h uzņemtā ūdens masa palielinās lēnāk sasniedzot maksimālo paraugu mitrumu no 55 līdz 80 %.
7. Ar eļļas bāzes apdares materiāliem apstrādātajiem līmēto konstrukciju kokmateriālu paraugiem augstākos ūdens absorbcijas rādītājus uzrādījusi STAFOR zviedru krāsa, savukārt efektīvākais ar zemāko ūdens absorbciju ir TEKSTUR DEKOR. Arī ilglaicīgas ūdens iedarbības rezultātā materiāli uz eļļas bāzes ir ar zemāku efektivitāti pret koksnes virsmas ūdens uzsūkšanu, salīdzinot ar apdares materiāliem uz organisko šķīdinātāju bāzes.
8. Apkopojot koksnes virsmas un līmēto konstrukciju kokmateriālu pārbaudes rezultātus, var secināt, ka abu pārbauzu gadījumā efektīvākais no pētījumā apskatītajiem apdares materiāliem ir TEKSTUR DEKOR, otrajā vietā ierindojaš REMMERS HK lasur, trešajā vietā PROTIM eļļa, ceturtajā STAFOR lineļļ, piektajā ADLER PULLEX bodenol un ar zemākā efektivitāti pret ūdens absorbciju ir STAFOR zviedru krāsai.

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāti un aizstāvēti 4 maģistra darbi.
- II. Iejavs J., Spulle U. Cellular wood material properties - review. *Drewno-Wood*. Poznan: Institut Technologii Drewno, Vol. 59, No. 198, 2016. p. 5-18. *Publikācija pieejama: <http://drewno-wood.pl/pobierz-268>*
- III. Iejavs J., Rozins R. Water vapour permeability properties of cellular wood material and condensation risk of composite panel walls. *International Journal in the Field of Wood Engineering ProLigno*. Braşov: Editura Universităţii „Transilvania” din Braşov, Vol. 12, No. 3, 2016. p. 3-11. *Publikācija pieejama: <http://www.proligno.ro/en/articles/2016/3/iejavs.pdf>*
- IV. *Lightweight Stabilized Blockboard* plātņu īpašību novērtēšanas metodika.

Publikācijas

1. Iejavs J., Spulle U. Cellular wood material properties - review. *Drewno-Wood*. Poznan: Institut Technologii Drewno, Vol. 59, No. 198, 2016. p. 5-18.
2. Iejavs J., Rozins R. Water vapour permeability properties of cellular wood material and condensation risk of composite panel walls. *International Journal in the Field of Wood Engineering ProLigno*. Braşov: Editura Universităţii „Transilvania” din Braşov, Vol. 12, No. 3, 2016. p. 3-11.

PERFORMANCE PROPERTIES OF WOOD AND WOOD BASED MATERIALS

Janis Iejavs*, Rihards Rozins, Uldis Spulle, Vilnis Jakovlevs, Oskars Ruluks

Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia

** janis.iejavs@e-koks.lv*

Four research topics were discussed in the last reporting period to obtain new knowledges about wood and wood based products. Two main study directions can be derived: wood bases light weight panel (CWM – Cellular Wood Material and LSB – Lightweight Stabilized Block board) design and properties and effectiveness of locally available wood coating systems against water absorption.

Timber with grooves is a raw material for cellular CWM and further for various sandwich panel design. Since 2007 when cellular wood material production technology and furniture panels were patented several researchers work with experimental, analytical and numerical analyses of the cellular wood material properties for structural application. The goal of the initial study was to summarize main knowledges about cellular wood material physical and mechanical properties and their potential improvement possibilities.

Significant amount of studies were carried out to determine physical and mechanical properties of cellular wood material and cellular wood material products to estimate cellular wood material as structural material. Since significant decrease of mechanical and some physical properties were observed, compared to solid timber, CWM covering with to layer material and supplementation with other building materials was found as effective method for CWM property improvement [1].

To evaluate the water vapour permeability properties of CWM panel walls second study were carried out. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cellular wood material was used to create test specimens to determine water vapour permeability properties. First step of the research was to determine water vapour permeability properties of cellular wood material and estimate does the material structure (lamellas and material thickness) influence water vapour permeability properties of the material. The second step was to evaluate the condensation risk of cellular wood material wall constructions.

The following conclusions were highlighted: CWM in parallel direction is characterized with water vapour resistance factor μ from 14.4 for material made of two 25 mm thick lamellas; 15.5 for material made of four 18 mm thick lamellas. Material in perpendicular direction is characterized with water vapour resistance factor μ 5.44 for material made of two 25 mm thick lamellas; 4.31 for material made of four 18 mm thick lamellas. The uninsulated CWM panels used during winter months will pose the risk of condensation damage to structure but insulated CWM panel walls combined with mineral wood prevent the risk of water condensation in the wall structure [2].

One of newly developed products is the Lightweight Stabilized Block board (LSB) panel, patented in Latvia by “ARB Pope” ltd. This panel is made of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) solid timber boards and high density fibreboard panels. Double-sided longitudinal grooves cut in the timber makes it approximately 40 % lighter. LSB panel are new product in the market therefore the research on LSB panel has been initiated. The aim of the research was to determine main physical and mechanical properties of panels.

LSB panels produced from pine solid timber core and high density fibreboard skins can be characterized by the following physical properties: average moisture content 8.6 %, density 450 kg·m⁻³; shrinkage coefficients 0.36 %·%⁻¹ in thickness direction and 0.25 %·%⁻¹ in longitudinal and width directions; thickness swelling 6.3 % after 24 hour immersion in water; mechanical properties: internal bond 0.51 MPa; screw withdrawal resistance 1076 N from plane and 553 N from edge; bending strength 13.4 MPa and modulus of elasticity in bending 1754 MPa.

In Latvia there is a wide range of coating systems available for timber treatment for outdoor application, but at the same time there is a lack of information about the coating system effectiveness against direct water influence. Therefore study on coating system effectiveness was carried out in short and long term water exposure. In the research was observed that timber treated with solvent based coating systems has significantly lower water absorption compared to oil base coating systems, in both long term and short term water exposure.

DABĪGĀS UN MODIFICĒTĀS KOKSNES CIKLISKA MIJIEDARBĪBA AR ŪDENI

NATURAL AND MODIFIED WOOD CYCLIC INTERACTION WITH WATER

Andris Morozovs*, Lita Fišere, Anete Keķe, Edgars Bukšāns, Uldis Spulle

Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija
Latvia University of Life Science and Technologies, Jelgava, Latvia
*andris.morozovs@llu.lv

Koksnes briešanas un bioloģiskās noārdīšanās mitrā vidē cēlonis ir koksnes īpašība saistīt ūdeni. Ūdens saistīšanās ar koksni var samazināt ar koksnes impregnēšanu ar ūdeni atgrūdošām vielām vai modifikāciju, kas būtu mazāk kaitīgas videi. Dotā pētījuma ar mērķis bija novērtēt apses (*Populus tremula*) koksnes kompleksas modificēšanas, apvienojot acetilēšanu un hidrofobizāciju ar rapša (*Brassica napus*) eļļu, ietekmi uz modificētās koksnes spēju saistīt ūdeni. Tam nolūkam apses koksni gan acetilēja un pēc tam impregnēja ar rapša eļļu, gan acetilēja ar etiķskābes anhidrīdu un rapša eļļas maisījumu. Modificētās koksnes ūdens absorbciju un uzbriešanu pārbaudīja ar ciklisku hidrotermisko pārbaudi (CHT). Katrā ciklā koksnes paraugus izturēja 75 °C karstā ūdenī, tad tos sasaldēja -20 °C un pēc tam strauji izžāvēja 103 °C. Katras cikla stadijas ilgums 3 diennaktis. Kombinētās modifikācijas ietekmes novērtēšanai izmantoja nemodificētas, acetilētas un ar rapša eļļu impregnētas koksnes CHT rezultātus. Pārbaudīto koksnes modifikācijas veidu ietekme uz tās ilgizturību hidrotermiskā iedarbībā izmainās rindā: acetilēšana \geq impregnēšana ar rapša eļļu $>$ acetilēšana ar sekojošu impregnēšanu ar rapša eļļu \cong acetilēšana ar etiķskābes anhidrīdu un rapša eļļas maisījumu. Izteiktu sinerģētisko efektu etiķskābes anhidrīdam ar rapša eļļu konstatēja, koksnes modifikācijā ar etiķskābes anhidrīdu un rapša eļļas maisījumu.

Dzīvojamo un rūpniecības ēku kalpošanas laikam pēc Eiropas ēku koda jābūt vismaz 50 gadi, bet monumentālām būvēm, kā tiltiem jākalpo divreiz ilgāk [1]. Bez pārseguma koksnes konstrukcijas ilgstoši ir pakļautas lietum un sniegam. Ūdens iesūkšanās koksne cēlonis ir hidroskopiskums, ko nosaka koksnes ķīmiskais sastāvs. Koksnes sastāvdaļas celuloze un hemicelulozes satur daudz polāro hidroksilgrupu (-OH), kuras koksne veido daudzās, kaut gan vājākas ūdeņraža saites. Tās veidojas starp vienas hidroksilgrupas skābekļa atomu un otras hidroksilgrupas ūdeņraža atomu. Ūdeņraža saites nodrošina hidroksilgrupu saturošo koksnes komponentu savstarpējo saistību. Koksne iekļuvušām ūdens molekulām ir liela ķīmiskā līdzība ar koksnes hidroksilgrupām, tāpēc tās arī veido ūdeņraža saites ar koksnes hidroksilgrupām, iespējoties starp tām un, samazinot to savstarpējo mijiedarbību, tādejādi tās attālinot. Ārēji tas izpaužas kā koksnes uzbriešana. Ūdens ir arī reaģents koksnes komponentu hidrolītiskas sašķelšanas reakcijās. Koksne absorbētais ūdens nepieciešams arī koksni noārdošiem organismiem. Koksnes izstrādājuma virsmas aizsardzība ar ūdeni atgrūdošiem pārklājumiem ir tikai īslaicīgs risinājums, jo ūdens koksne iekļūst caur pārklājuma defektiem vai izveidojušajām plaisām, kas ir vēl sliktāk, jo iekļuvušais ūdens nevar izžūt, kas rada labvēlīgu vidi mikroorganismu attīstībai. Ideāli būtu katru ūdenim ieejamo koksnes hidroksilgrupu reakcijā hidrofobu grupu pārveidot ūdeni nesaistošā formā. Tā ir koksnes ķīmiskās modifikācijas būtība. Diemžēl visu hidrofobu grupu izmēri ir telpiski lielāki par ūdens molekulām, tādēļ ne visas koksnes ūdeni saistīt spējīgās hidroksilgrupas iespējams modificēt. Rezultātā iegūstam tikai daļēju modificētās koksnes ūdens saistīšanas un uzbriešanas ierobežojumu, tai nonākot saskarē ar ūdeni. Šobrīd rūpnieciski koksni ķīmiski modificē ar divām tehnoloģijām: koksnes acetilēšana ar etiķskābes anhidrīdu un koksnes furfurilēšana ar furfurilspirtu [2, 3].

Pētījuma mērķis bija samazināt apses (*Populus tremula*) koksnes ūdens absorbciju un uzbriešanu, apvienojot koksnes acetilēšanu ar etiķskābes anhidrīdu un impregnēšanu ar rapša (*Brassica napus*) sēklu eļļu, pielietojot divas metodes: 1) koksnes acetilēšana ar etiķskābes anhidrīdu (Ac) un secīgu impregnēšanu ar rapša eļļu (Ac+RE), 2) koksnes secīga impregnēšana ar etiķskābes anhidrīdu un rapša eļļu ar acetilēšanu paaugstinātā temperatūrā (EA+RE) Modificētās koksnes mijiedarbību ar ūdeni novērtēja ar ciklisku hidrotermisku testu (CHT), secīgi koksnes paraugus izturot karstā ūdenī, sasaldējot un žāvējot. Kontrolei paralēli veica CHT nemodificētai (Dab), acetilētai (Ac) un ar rapša eļļu impregnētiem (RE) paraugiem. Modifikācijas ietekmi novērtēja, salīdzinot ūdens absorbciju, masas zudumu, uzbriešanu, rukumu, ūdens absorbcijas samazinājuma un uzbriešanai efektivitāti, indukcijas periodu līdz paraugu sabrukšanai un sabrukšanas intensitāti salīdzinājumā ar nemodificēto, acetilēto un ar rapša eļļu impregnēto apses koksni.

Materiāli un metodes

Materiāli: apses koksnes paraugi bez redzamām vainām 100 mm x 100 mm x 20 mm (šķiedru, tangenciālā un radiālā virzienā), pirms izmantošanas izžāvēti pie 103 °C līdz konstantai masai. Etiķskābes anhidrīds „Chemapur” (Polija), rapša eļļa „Dolores” (Lietuva) un destilēts ūdens.

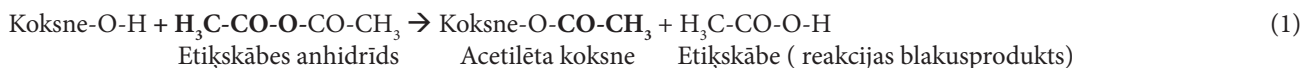
Iekārtas: termostats ar ventilatoru „Memmert” (Vācija), reaktors ar elektrisku apsildi un temperatūras regulāciju (tilpums 14 L) „Adrona” Latvija, ledusskapis ar saldētavu „LG Express cool”, elektroniskie sviri „Kern EG”(Vācija) un digitālais bīdmērs „Limit” (Somija).

Koksnes modifikāciju veica pēc metodēm un parametriem, kas doti [4, 5].

Cikliska hidrotermiskā testēšana (CHT) veikta pēc [5], kurā izmatotas četras modificēto koksnes paraugi sērijas: a) Ac (20 gab.); b) Ac+RE (10 gab.); c) Ac2O+RE (7 gab.); RE (6 gab.) un Dab (10 gab.) paraugu sērijas. Eksperimentālo datu izlīdzināšana atrodama [5].

Rezultāti

Modifikācijas mērķis bija palielināt koksnes hidrofobitāti – spēju atgrūst ūdeni ne tikai no virsmas, bet arī iekšēji visā koksne. Daba jau pielieto šo paņēmieni ar koksnes lignīna sastāvdaļu, kas ir visumā nepolārs hidrofobs savienojums. Dzīvā koksne hidrofoabās daļas palielināšanu ierobežo nepieciešamība nodrošināt koksnes bioķīmiskās reakcijas, kas notiek tikai ūdens vidē. Praksē izmanto nevis dzīvo, bet gan bioķīmiski mirušu koksni. Tāpēc ūdens satura samazināšana un zema tā satura uzturēšanai koksne ir praktiska nozīme. Vielas īpašības var izmainīt, izmainot tās sastāvu un uzbūvi. Ūdens satura samazināšana koksne izmanto acetilēšanu, kuras pētījumiem ir jau gandrīz gadsimtu ilga vēsture [6]. Tā būtība ir koksnes savstarpējā saistībā neiesaistītās un ūdeni absorbējošās grupas reakcijā ar etiķskābes anhidrīdu pārvērst mazāk polārā koksnes un etiķskābes esterī pēc reakcijas 1.



Koksni acetilējot, tās brīvās un ūdeni saistīt spējīgās hidroksilgrupas ūdeņraža atomu aizvieto ar acetilgrupu (-CO-CH₃) no etiķskābes anhidrīda (parādīta ar trekniem burtiem), kam spēja veidot ūdeņraža saites ir mazāka. Acetilgrupa ir vairāk reizu lielāka par tās aizvietoto ūdeņraža atomu, tāpēc acetilā koksne ir nepārejošā uzbriedušā stāvoklī atkarībā no ievadīto aizvietoto hidroksilgrupu daudzuma līdz pat 70% no koksnes uzbriešanas spējas ūdenī. Tāpēc acetilētas koksnes izmēri mazāk mainās, absorbējot ūdeni. Ja koksnes masas palielinājums ar acetilēšanu ir lielāks par 20%, tad to nebojā koksni noārdošie mikroorganismi, sēnes un insekti. iz trūkums ir, ka saskaņā ar reakcijas vienādojumu 1, veidojas etiķskābe, un tāpēc reakcijas teorētiskais iznākums, rēķinot pēc etiķskābes anhidrīda, ir tikai 42 %, kas reāli ir vēl mazāks pirms reakcijas koksne esošā ūdens dēļ, kas aktīvi reaģē ar etiķskābes anhidrīdu, veidojot divas molekulas etiķskābes.

Koksnes acetilēšanas mērķis ir palielināt modificētās koksnes hidrofobitāti, ar ķīmiski saistītām mazāk polārām acetilgrupām. Dotā pētījuma mērķis bija samazināt etiķskābes anhidrīda patēriņu stabilā koksnes hidrofofizācijā, aizstājot ievadāmo acetilgrupu daudzumu ar hidrofofu savienojumu – augu eļļu. Augu eļļa ir glicerīna un nepiesātināto taukskābju esterī. Tieši augu eļļas taukskābju radikāli var mijiedarboties ar acetilētās koksnes acetilgrupu nepolāro daļu – metilgrupu (-CH₃), nodrošinot impregnētās eļļas saistību ar koksni un tās hidrofofizāciju. Ir daudz veiksmīgu pētījumu par koksnes impregnēšanu ar lineļļu, kas ir žūstošā eļļa. Tā koksne polimerizējas un tāpēc neizskalojas. Lineļļas sastāva galvenās sastāvdaļas linolskābe ar divām un linolēnskābe ar trim divkārsajām saitēm ir ar lielu tieksmi polimerizēties, veidojot telpisku režģi, bet tā veidošanās ir jo blīvāka, jo vairāk ir eļļa vairākas divkārsas saites saturošu taukskābju. Ilgstošā laikā veidojas stings, neelastīgs režģis, kas mehāniskās iedarbības, piem., koksnei briestot un rūkot. Uzskatāmi to var redzēt uz eļļas gleznām muzejos. Tas bija teorētiskais apsvērum koksnes hidrofofizācijai kopā ar acetilēšanu izvēlēties rapša eļļu, kas ir daļēji žūstošā eļļa – sabiezē, bet neveido stingu polimerizētās eļļas režģi.

Nākamais pētījuma uzdevums bija pārbaudīt modificēto koksni, par modifikācijas indikatoru izvēloties ūdens molekulas un to mijiedarbību ar koksni. kas atbilstu Eiropas ēku koda [1] norādītam ekspluatācijas laikam, kas praktiski nav realizējams, tāpēc pielietojām ekspresmetodi. Ķīmiskās reakcijas vai mijiedarbības ātrums palielinās vidēji par divām reizēm paaugstinot vides temperatūru par katriem desmit grādiem, kam izvēlējamies koksnes izturēšanu destilētā ūdenī pie 75 °C 3 diennaktis. Sala iedarbību pārbaudījām izturot koksnes paraugus saldētavā pie -20 °C. Koksnes paraugos mehānisko stresu radījām strauji žāvējot ventilējamā termostātā pie 103 °C, kas kopā veido CHT ciklu. Tos atkārtoja līdz parauga sabrukšanai plaisāšanas dēļ.

Koksni modificējot, tā uzbriest un masa palielinās, tāpēc efektu salīdzināšanai starp dažādi modificētām koksne izmantojām attiecīgi normēto masu vai tilpumu pēc vienādojuma 2:

$$nP_i = \frac{P_i}{P_n} \times 100 \quad nP_i = \frac{P_i}{P_n} \times 100 \quad (2)$$

kur: nP_i – normētais parametrs (masa vai izmērs), %; P_i – parametra empīriskā vērtība, g vai mm;
 P_0 – parametra empīriskā dotajam koksnē paraugam pirms modifikācijas, g vai mm.

Modifikācijas efektivitāte novērtēja pēc attiecīgā parametra izmaiņas CHT saskaņā ar vienādojumu 3.

$$Ef(\%) = \left(1 - \frac{P_j^i}{P_j^{Ref}}\right) \times 100 \quad Ef(\%) = \left(1 - \frac{P_j^i}{P_j^{Ref}}\right) \times 100 \quad (3)$$

kur Ef – efektivitāte, %; P_j^i – modifikācijas veida i parauga parametrs sausam (d) vai uzbriedušam (s) paraugam $j = d$ vai s ; P_j^{Ref} – salīdzinoša koksnē veida parametrs sausam vai uzbriedušam paraugam $j = d$ vai s .

Interesanti ir noskaidrot, vai pastāv sinerģiska mijiedarbība starp rapša eļļu un ar acetilēšanu ievadītām hidroksilgrupām koksnē hidrofozbizācijā. Sinerģiska efekta konstatēšanai ar kombinētas modifikācijas metodēm apstrādātos koksnē paraugus, to masas un tilpuma izmaiņas CHT, salīdzināja ar analogiem rezultātiem ar dabīgo, acetilēto vai ar rapša eļļu impregnēto koksnē.

Koksnē modifikācijas efektu salīdzinājumu ar dabīgo koksnē varēja veikt tikai līdz 12. CHT ciklam dēļ dabīgās koksnē sabrukšanas. Tālākajos CHT ciklos salīdzināšanai izmantoja tikai modificētās koksnē. Modifikācijas metodes ietekmes efektivitāte uz koksnē masas zudumu CHT salīdzinājumā ar dabīgo koksnē samazinājās: $RE \gg Ac+RE > EA+RE \cong Ac$. Modifikācijas ietekmes efektivitāte un koksnē hidrofobitāti samazinājās: $EA+RE > Ac+RE > RE > Ac$, un izmaiņai bija nelineārs raksturs. Gan $Ac+RE$, gan $EA+RE$ ietekmes efektivitātes izmaiņai bija sigmoidāls raksturs ar acetilēšanas ietekmes dominanci CHT ciklu pirmajā daļā un impregnēšanas ar rapša eļļu ietekmes dominanci otrajā daļā, ko var attiecināt uz sinerģētisko efektu. $EA+RE$ un mazāk izteikti $Ac+RE$ modifikācijas efekta ietekmes uz koksnē masas zuduma un ūdens absorbcijas izmaiņai CHT ir līdzīgs raksturs.

Modifikācijas metodes ietekmes efektivitātes uz koksnē uzbriešanas izmaiņu CHT ir nelineārs raksturs, izņemot RE. Koksnē rukums CHT palielinājās visiem pārbaudītajiem koksnē veidiem. Ac tas bija divas reizes mazāks un RE mazāks par 18% nekā dabīgai koksnē, bet tas palielinājās $Ac+RE$ par 40% un $EA+RE$ – par 49%. Pārbaudīto koksnē modifikācijas veidu ietekme uz modificētās koksnē ilgizturību hidrotermiskā iedarbībā izmainās rindā: $Ac \geq RE > Ac+RE \cong EA+RE \gg$ dabīgā koksnē. Izteiktu sinerģētisko efektu etiķskābes anhidrīdam ar rapša eļļu konstatēja $EA+RE$.

Secinājumi

Pārbaudīta iespēja acetilēšanas un hidrofozbizācijas ar rapša eļļu metožu apvienošanas lietderība gan acetilējot un pēc tam, impregnējot ar rapša eļļu, gan veicot acetilēšanu ar etiķskābes anhidrīda un rapša eļļas maisījumu. Modifikācijas efektivitātes novērtēšanai nemodificētas, acetilētas un impregnētas ar rapša eļļu koksnē paraugi kopā ar kombinētā modifikācijā iegūtajiem tika pārbaudīti karsta ūdens – sasaldēšanas un straujas žāvēšanas cikliskiem testiem. Pārbaudīto koksnē modifikācijas veidu ietekme uz tās ilgizturību hidrotermiskā iedarbībā izmainās rindā: acetilēšana \geq impregnēšana ar rapša eļļu $>$ acetilēšana ar sekojošu impregnēšanu ar rapša eļļu \cong acetilēšana ar etiķskābes anhidrīda un rapša eļļas maisījumu. Izteiktu sinerģētisko efektu etiķskābes anhidrīdam ar rapša eļļu konstatēja, modifikācijā ar etiķskābes anhidrīda un rapša eļļas maisījumu.

Pateicības

Autori pateicas COST aktivitātei FP 1407 par iespēju piedalīties tās darbībā.

Rezultatīvie indikatori

1. Laiveniece, L. Paaugstināta mitruma koksnē saistīšanās spējas ar vienkomponenta poliuretāna limēm prognozēšana = Prediction of Bonding of Wood with Elevated Moisture Content Using One Component Polyurethane Glues: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai materiālzinātņu nozares koksnē materiālu un tehnoloģiju apakšnozarē / romocijas darba vadītājs Dr.chem. Andris Morozovs ; Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Meža fakultāte. Kokapstrādes katedra. Jelgava: LLU, 2017. 143 lpp. URL: http://llufb.llu.lv/dissertation-summary/wood-technology/Laura-Laiveniece-Promocijas_darba_kopsavilkums_2017-LLU_MF.pdf

- II. Šāble, Inese. Koksnes šķiedru saistišanās spēju uzlabošana: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai materiālzinātņu nozarē, koksnes materiālu un tehnoloģiju apakšnozarē / Inese Šāble; promocijas darba zinātniskie vadītāji: A. Treimanis, A. Morozovs; promocijas darba zinātniskais konsultants U. Grīnfelds ; Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Meža fakultāte. Kokapstrādes katedra. Jelgava, 2016. 138 lp. URL: http://llufb.llu.lv/dissertation-summary/woodworking/Inese_Sable_prom_darba_kopsav2016_LLUMF.pdf
- III. Izstrādāts un aizstāvēts viens bakalaura un viens maģistra darbs.

Publikācijas

1. EN 1990:2002+A1 Eurocode – Basis of Structural Design. <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf> skatīts 29.04.2018.
2. Homan W.J. and Jorissen A.J.M. Wood modification developments, <http://heronjournal.nl/49-4/5.pdf> skatīts 2.05.2018.
3. Sandberg D., Kutnar A, Mantanis .Wood modification technologies - a review. *iForest / Biogeosciences and Forestry*, 2017, Vol 10, pp. 895-908, <http://www.sisef.it/forest/contents/?id=ifor2380-010>
4. Morozovs, Andris. Wood durability enhancement by acetylation and impregnation with vegetable oil / A. Morozovs, L. Laiveniece // Proceedings of the 12th meeting of the Northern European network for Wood Science and Engineering (WSE). Wood science and engineering – a key factor on the transition to bioeconomy, Riga, Latvia, September 12-13, 2016 / Latvian State Institute of Wood Chemistry. Riga, 2016. p. 178-183 , URL: <http://www.kki.lv/dokumenti/WSE2016.pdf>.
5. Wood modification efficiency evaluation with cyclic hydrothermal treatment / A. Morozovs, A. Keke, L. Fisere, U. Spulle // Proceedings of the 13th annual meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE2017), Copenhagen, Denmark, September 28-29, 2017 / University of Copenhagen, Department of Geosciences and Natural Resource Management Section for Forest, Nature and Biomass. Copenhagen, 2017. 157.-162. lpp.
6. Hill, C.A.S. 2006. Wood modification. Chemical thermal and other processes. Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Chippingham, Wilshire, 239 p.
7. Berzins A, Morozovs A, Gross U., Iejavs J. Mechanical properties of wood-geopolymer composite. 16th International scientific conference “Engineering for rural development”: proceedings, Jelgava, Latvia, May 24 - 26, 2017, Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering, Latvian Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Jelgava, 2017, vol.16, pp. 1167-1173 , URL: <http://tf.llu.lv/conference/proceedings2017/Papers/N251.pdf> , URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85033359831&doi=10.22616%2fERDev2017.16.N251&partnerID=40&md5=cd3edf49ed4d99f98e51de88337f520b> , URL: <http://gateway.webofknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=Alerting&SrcApp=Alerting&DestApp=WOS&DestLinkType=FullRecord;UT=WOS:000416378300179> ISSN 1691-5976.
8. Berzins A, Morozovs A, Van den Bulcke J., Van Acker J. Softwood surface compatibility with inorganic geopolymer. *Advanced Materials Proceedings*, Vol. 2(12), 2017, pp. 793.-798. URL: https://www.vbripress.com/amp/uploads/5a2b05225573e1512768802_fullabstratct.pdf ISSN 2002-4428.
9. Morozovs A., Keke A., Fisere L., Spulle U. Wood modification efficiency evaluation with cyclic hydrothermal treatment. Proceedings of the 13th annual meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE2017), Copenhagen, Denmark, September 28-29, 2017, University of Copenhagen, Department of Geosciences and Natural Resource Management, Section for Forest, Nature and Biomass, Copenhagen, 2017, pp. 157.-162.
10. Morozovs A., Laiveniece L., Bērziņš A., Bukšāns E., Spulle U. Several challenges on wood modification. Proceedings of the eighth European conference on wood modification, Helsinki, Finland, 26-27 October, 2015, Aalto University, Department of Forest Products Technology, Helsinki, 2015, pp.436-443.
11. Morozovs A., Bukšāns E., Spulle U. Koksnes aizsardzības ar modificēšanu ķīmija. Zinātniski praktiskā konference “Zinātne un prakse nozares attīstībai” veltīta augstākās mežizglītības 95. un Meža fakultātes 75. gadskārtai tēzes, Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija, Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultāte, Jelgava: LLU, 2014. 76.-80. lpp.

NATURAL AND MODIFIED WOOD CYCLIC INTERACTION WITH WATER

Andris Morozovs*, Lita Fisere, Anete Keke, Edgars Buksans, Uldis Spulle

Latvia University of Life Science and Technologies, Jelgava, Latvia

andris.morozovs@llu.lv

Wood application as a construction material has restrictions in the environment with changing humidity. Wood acetylation is well accepted method to diminish water influence. Woods hydroxyl group hydrogen atoms are replaced by acetyl group that decreases possibility of hydrogen bond formation with absorbed water. Substitution of the one hydrogen atom in each wood's hydroxyl group with spatially greater acetyl group having six atoms creates wood cell wall permanent swelling that decreases wood possibility to swell with water. Wood impregnation with oil is often used to increase its hydrophobic properties. It might be used as simpler and un-expensive alternative of acetylation to protect wood against humid environment. The more spacious triglycerides molecules fail to penetrate into cell wall and they might to form only hydrophobic barrier against water molecules. Acetylated wood cell walls having more pronounced hydrophobic properties than natural one might be more tightly associated with vegetable oil molecules, and it might be highlighted as synergetic effect. The first objective of presented work was to decrease acetic anhydride consumption in the wood hydrophobization with the replacement of acetyl groups with hydrophobic substance – vegetable oil. Fatty acid radicals of the vegetable oil might interact with introduced by acetylation into wood acetyl group non-polar methyl group with hydrophobic interaction. The tighter bonding might be achieved with this interaction. The rapeseed oil was used due to, its semi-hardening feature, that protect formation of fragile polymer network during oil curing. Such gel like polymerised oil will resist mechanical stresses originated by wood swelling and shrinking in the changing humidity. The introduced by acetylation acetyl groups will act as anchors of polymerized rapeseed oil.

The two approaches of combined modification methods were used: 1) acetylation of wood with acetic anhydride (AA) and then consecutive impregnation with rapeseed oil (Ac+RSO) and 2) impregnation of wood consecutively with acetic anhydride and rapeseed oil with following acetylation at elevated temperature (AA+RSO). The second objective was to investigate modified wood modification sustainability with cyclic hot water- freezing-drying treatment (CHT). Wood mass increase by modification and volume increase by permanent swelling will impede evaluation of different modification methods effects and comparison with non-modified natural wood. To overcome this drawback the empirical values of mass and volume of modified wood sample was rationed with the wood sample mass or volume before modification. Acetylated wood (Ac) and impregnated with rapeseed oil wood (RSO) were used for comparison to ascertain synergetic effect between rapeseed oil and introduced into wood acetyl groups. The cyclic hydrothermal treatment was carried out until each wood sample collapse. The efficiency of wood modification on the mass loss in the CHT decreased in the row: RSO >> Ac+RSO > AA+RSO \cong Ac. Hydrophobic properties of modified woods decreased in the row: AA+RSO > Ac+RSO > RSO > Ac with non-linear feature. Both Ac+RSO and AA+RSO efficiency alterations correspond to sigmoidal shape curve with pronounced acetyl groups influence in the first half of cycle and the predominance of rapeseed oil properties in the second one that might be accessed to synergetic effect. The wood modification method efficiency comparison with the natural wood was possible only till the 12-th CHT cycle. To evaluate modification efficiency in the further CHT cycles were possible only by comparison with (Ac) or RSO. Mass loss and water absorption had alterations correspond to sigmoidal shape for AA+RSO and lesser with the Ac+RSO wood. Efficiencies of wood modification influence on the wood swelling had un-linear feature except RSO. The shrinkage of wood samples after hot water treatment during CHT increased for all kinds of woods. The shrinkage of Ac was two times and RSO wood was 18% lesser than natural wood, but it increased for Ac+RSO by 40% and AA+RSO by 49%. Modified wood durability decreases in the row: acetylated > impregnated with rapeseed oil > acetylated and then impregnated with rapeseed oil \approx impregnated consecutively with acetic anhydride and rapeseed oil and then acetylated increased temperature. The remarkable synergetic effect between AA and RSO was ascertained in the swelling of AA+RSO wood.

**BIOMATERIĀLI UN BIOPRODUKTI
NO MEŽA RESURSIEM AR
DAUDZPUSĪGU PIELIETOJUMU**

**BIOMATERIALS AND PRODUCTS
FROM FOREST RESOURCES WITH
VERSATILE APPLICABILITY**

BIOMATERIĀLI UN BIOPRODUKTI NO MEŽA RESURSIEM AR DAUDZPUSĪGU PIELIETOJUMU

BIOMATERIALS AND PRODUCTS FROM FOREST RESOURCES WITH VERSATILE APPLICABILITY

Aivars Žūriņš*

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija
Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia
* aivarsz@edi.lv

Projekta vispārējais mērķis bija ilgtspējīga dabas resursu izmantošana, palielinot to izmantošanas pievienoto vērtību, racionāli nodrošinot Latvijas mežsaimniecības resursu ilgtspēju un izmantošanu globālajā tirgū konkurētspējīgu produktu ražošanai, izstrādājot jaunas tehnoloģijas koksnes pārstrādei ar minimizētu ietekmi uz apkārtējo vidi un pēc iespējas pilnīgāku ražošanas blakusproduktu izmantošanu vai utilizāciju, piegādājot nepieciešamo enerģiju tehnoloģisko procesu nodrošināšanai.

Projekta galvenie uzdevumi bija un to ietvaros tika veiktas sekojošas darbības:

- 1. izpētīt koksnes materiālu konkurētspējas palielināšanas iespējas būvniecībā, uzlabojot koksnes ilgizturības īpašības ar pārklājumiem un modifikācijas paņēmieniem;**
 - izstrādātas jaunas metodes izstrāde koksnes ilgizturības īpašību uzlabošanai ar kombinētiem piesūcināšanas un termiskās modifikācijas paņēmieniem, lai paaugstinātu tās stiprību;
 - veikta pārklājumu sastāvu optimizēšana hidrotermiski modificētai lapkoku koksnei atkarībā no lietojumklases, kā arī pārklājuma izstrāde hidrotermiski modificētai koksnei dekoratīvo īpašību saglabāšanai;
 - izstrādāti poliuretānu pārklājumi ar samazinātu degamību uz fosforu saturošu poliolu, kas sintezēti uz atjaunojamo izejvielu bāzes koksnes aizsardzībai;
 - veikta dažādu sugu koksnes pārstrādes blakus produktu funkcionalizēšana un izmantošana daudzfunkcionāliem polimēru kompozītmateriāliem uz reciklēta polimēra bāzes ar uzlabotām ekspluatācijas īpašībām, īpaši pret atmosfēras iedarbību.
- 2. novērtēt lapkoku koksnes bezatlikuma izmantošanu Latvijas ekonomikā vajadzīgu produktu iegūšanai, izmantojot progresīvas ķīmiskās un termiskās priekšapstrādes metodes un mūsdienīgas pētniecības iekārtas;**
 - veikta izpēte par daudzfunkcionālu oglekļa materiālu ieguves iespējām no koksnes un pārbaudes to pielietošanai gāzu sorbcijai un jaunākās paaudzes superkondensatoros;
 - veiktas koksnes hidrotermālās apstrādes, lai izdalītu hemicelulozes, un izmainītu lignocelulozes matricu tālākai pārstrādei, iegūstot nišas ķīmiskos savienojumus, kā arī karbonizācijas procesa priekšizpēte, ietverot procesa pētījumus pie augstām temperatūrām un spiedieniem šķidrā (ūdens) vidē;
 - izpētīts torificētas koksnes ieguves process, ka arī veikta pirmējā potenciālo tehnoloģisko režīmu un optimālo procesa parametru izvēle;
 - iegūti pēc tvaika sprādziena pirmāpstrādes jauni siltumizolācijas un elektrovērpšanas materiāli no lignocelulozes šķiedrām mikro- un nanotekstilmateriāliem, izmantošanai viedos kompozītmateriālos un biomedicīniskajos pārklājumos.
- 3. meklēt risinājumus produktu kompleksai izstrādei no mizām un koksnes komponentiem ar sintētiskiem vai rūpnieciskiem analogiem salīdzināmām vai labākām īpašībām un plašu pielietošanas spektru dažādās tautsaimniecības nozarēs, paātrinot un ekonomiski uzlabojot tehnoloģiskos procesus.**
 - veikta mikroviļņu priekšapstrādes efektivitātes izpēte un šķidrums ekstrakcijas paņēmiena izstrāde produktu kaskādes ieguvei no lapkoku mizām biorafinēšana procesā, kā arī ekstrakcijas atlikuma konversija par kurināmo materiālu;
 - izstrādāta jauna nanodaļiņu iegūšanas metode no modificētām koku mizām un to iedarbības mehānisma izpēte attiecībā uz rūpnieciski pielietojamā šķiedru materiāla (papīrs, kartons) stiprību un barjerīpašībām.

BIOMATERIALS AND PRODUCTS FROM FOREST RESOURCES WITH VERSATILE APPLICABILITY

Aivars Žūriņš*

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

* aivarsz@edi.lv

The project's general aim was the sustainable and rational use of natural resources, increasing their added value, rational ensuring of Latvia's forestry resources' sustainability and applicability for producing products, competitive in the global market, developing new technologies for wood processing with the minimised effect of the production process on the environment and as much as possible more complete use or utilisation of the production by-products, supplying the necessary energy for ensuring the technological processes. The project's definite aims were to promote the enhancement of the **wood materials' competitiveness in building, to improve the wasteless use of hardwood and to offer solutions for the complex development of products from bark and from wood components.**

The project's main tasks and the following activities were realised in the framework of the project:

- 1. to investigate the wood materials' competitiveness enhancement potentialities in building, upgrading the wood sustainability properties by coatings and modification methods:**
 - Upgrading of the developed new methods to improve the durability properties of wood by combined impregnation and thermal modification methods so that to improve its strength;
 - Optimisation of the coating compositions for hydrothermally modified hardwood, depending on the application class, also development of a coating for retaining the decorative properties of hydrothermally modified wood;
 - Polyurethane coatings with decreased flammability have been developed on the basis of phosphorus-containing polyols, synthesised on the basis of renewable raw materials, for wood protection;
 - Functionalisation of processing by-products of wood of different species, and their use for multifunctional polymer composite materials on the recycled polymer base with improved service properties, especially against the atmospheric action, are performed.
- 2. to assess the hardwood wasteless applicability for obtaining products, needed for Latvia's national economy, using advanced chemical and thermal pre-treatment methods and research appliances:**
 - A study of the obtaining possibilities of multifunctional carbon materials from wood, and for test application for gas sorption and in new generation supercapacitors will be carried out;
 - Preliminary studies of wood hydrothermal treatment so that to isolate hemicelluloses and to change the matrix for the further processing, obtaining niche chemical compounds, as well as that of the carbonisation process, including the studies of the process at elevated temperatures and pressure in a liquid (water) medium, were carried out;
 - The torrefied wood production process was investigated, and the first choice of the potential technological regimes and optimal process parameters was carried out;
 - After steam explosion pre-treatment, new heat-insulating and electrospinning materials from lignocellulose fibre micro- and nanotextile materials are obtained for use in smart composite materials and biomedical coatings.
- 3. to look for solutions for products' complex development from bark and from wood components with properties, compatible with those of synthetic or industrial analogues, and a wide application range in different fields of the national economy, accelerating and economically upgrading the technological processes:**
 - A study of the efficiency of microwave pre-treatment and development of a liquid extraction method for cascade obtaining of products from hardwood bark in the biorefinery process, as well as the conversion of the extraction residue into a fuel material was carried out;
 - A new method for obtaining nanoparticles from modified bark was developed, and a study of the mechanism of its effect relative to the strength and barrier properties of the commercially usable fibre material (paper, cardboard) was carried out.

HIDROTERMISKI MODIFICĒTAS KOKSNES ILGTSPĒJAS RISINĀJUMI

Ingeborga Andersone*, Dace Cīrule, Ilze Irbe, Anete Meiija-Feldmane, Erry Sansonetti, Bruno Andersons, Juris Grīniņš, Ņina Kurnosova, Edgars Kuka, Andis Antons

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

*i.andersone@edi.lv

Kopsavilkums

Termiski modificētas koksnes lietošanas paplašināšanai celtniecībā pētīti priedes optimālie hidrotermiskās modifikācijas (HTM) režīmi, koksnes ķīmiskā sastāva pārvērtības un iegūtā materiāla īpašības. Izvērtējot HTM temperatūras ietekmi uz koksnes svarīgākajām lietošanās īpašībām robežās no 160°C līdz 180°C, kā optimāli detalizētai izpētei izvēlēti režīmi 160°C/3 h un 170°C/1 h. Šie režīmi ir kompromiss, nodrošinot pieņemamas HTM priedes stiprības un bioizturības īpašības, par vairāk nekā 40% uzlabojot pretuzbriešanas efektivitāti. Izstrādāti divu veidu pārklājumu sastāvi HTM koksnes virsmas aizsardzībai: alkīdu-lineļas pārklājumi uz šķīdinātāju bāzes un alkīdu ūdens emulsijas. Koksnes krāsas stabilitāte novērtēta laboratorijas un āra novecināšanas testos.

Projekta mērķis: palielināt koksnes materiālu konkurētspēju būvniecībā, uzlabojot koksnes ilgizturības īpašības ar hidrotermiskās modifikācijas paņēmieni un pārklājumiem. Priedes koksnes HTM izpētes aktualitāti pamato tās plašais pielietojums būvniecībā. Termiskā modifikācija pēdējos 20 gados rūpnieciski attīstās kā alternatīva bioizturības uzlabošanai ar biocīdu preparātiem. Pašlaik koksnes aizsardzībai izmantotie otrās paaudzes preparāti satur vara savienojumus un organiskas izcelsmes fungicīdus. Katrai no koksnes ilgizturību uzlabojošām metodēm – termiskai modificēšanai un impregnēšanai - ir savas priekšrocības un trūkumi. To salīdzinājums no materiāla īpašību un vides aspektu viedokļa paplašina koksnes izmantotāja izvēles iespējas konkrētam materiāla pielietojumam. Modificētas koksnes dekoratīvo īpašību saglabāšana ir viens no konkurētspējas aspektiem, šim nolūkam nepieciešams izveidot pārklājumu sastāvus tieši HTM koksnei.

Materiāli un metodes

Hidrotermiskā modifikācija (HTM) veikta pie paaugstināta spiediena ūdens tvaika vidē, izmantojot WTT firmas daudzfunkcionālo koksnes modifikācijas pilotiekārtu. HTM režīmi (°C/h): 160/3; 170/1; 170/3; 180/1; 180/3. Koksnes komponentsastāvs noteikts ar ķīmiskās analīzes metodēm: celuloze ar slāpekļskābes (Kiršnera-Hofera), lignīns - ar Klāsona, holoceluloze ar peretiķskābes metodi. α -celoluze noteikta pēc hemiceluložu izšķīdināšanas no holocelulozes. Koksnes ūdens ekstrakti un kondensāti analizēti titrimetriski un spektroskopiski. Statiskā lieces stiprība noteikta atbilstoši DIN 52186. Pretuzbriešanas efektivitāte (PUE) noteikta piecos ūdens piesūcināšanas-žāvēšanas ciklos. Formaldehīda emisijas no HTM koksnes noteiktas atbilstoši standartam EN 717-2 (kamaras metode). Koksnes bioizturības novērtēšanai āra apstākļos izveidots paraugu laukums, paraugi izvietoti uz betona blokiem novietotām egles brusām. Katram apstrādes variantam 33 paraugi izvietoti trīs kaudzēs divās kārtās. Paraugu varianti: HTM priede 170/1, 170/3, 180/1; apse 170/1, bērzs 170/1; kontroles priede un egle. Reizi gadā izvērtēja paraugu stāvokli un trapes apjomu pēc atzīmju skalas no 0 (vesels) līdz 4 (pilnīgs bojājums). Sēņu identifikācija veikta mikroskopiski laboratorijā. Ietekmes uz vidi salīdzināšanai izvēlēts rūpnieciski plaši izmantots CA tipa vara savienojumus saturošs preparāts. Vara daudzumi koksne un ūdens ekstraktos analizēti ar atomabsorbcijas spektroskopijas metodi. Pārklājumu optiskās īpašības analizētas ar Konica Minolta spektrofotometru CM-2600d (Xenon lampa), izvērtētas ar CIELAB krāsu modeli. Paraugu novecināšana veikta kamerā (EN 927-6) un āra apstākļos (EN 927-3).

Rezultāti

I HTM priede īpašības un salīdzinājums ar impregnētu koksni

Svarīgākie rādītāji koksnes izmatošanai celtniecībā ir stiprības īpašības un bioloģiskā izturība vidē. Optimālo priedes HTM parametru noskaidrošanai, balstoties uz priekšizpētes datiem, veikta priedes dēļu HTM pie sekojošiem režīmiem (°C/h): 160/3; 170/1; 170/3; 180/1; 180/3, kas izvēlēti, lai izvērtētu bioizturību pret trapes sēnēm un stiprības īpašības. Kā maksimāli

pieļaujama stiprības samazinājums noteikti $\leq 40\%$ no nemodificētas koksnes stiprības. Statiskā lieces stiprība, salīdzinot ar nemodificētu (NM) priedi (103 MPa), apstrādes intensitātei pieaugot no 160/3 līdz 180/3, eksponenciāli samazinās par 17% līdz 49% HTM koksnei. Krasāko stiprības samazinājumu (par 36%) dod apstrāde 170/1. Tā kā HTM režīmā 170/3 modificētas priedes lieces stiprības zudumi ir lielāki par pieļaujamiem 40%, sīkāka izpēte veikta režīmos 160/3 un 170/1 modificētai koksnei. Paaugstināta temperatūra un tvaika vide ietekmē koksnes ķīmisko sastāvu [1]. Salīdzinājumā ar NM priedi, HTM rezultātā par 3% līdz 5% pieaug ar acetonu ekstrahējamo savienojumu daudzums, par 3% Klāsona lignīna un par 4% α -celulozes saturs (Tabula 1).

Tabula 1. HTM priedes ķīmiskais sastāvs, % (iekavās standartnovirzes, SD)

	NM priede	160/3	170/1
Pelni	0,4 (0,1)	0,3 (0,2)	0,16 (0,0)
Ekstraktvielas	3,3 (0,6)	5,2 (0,7)	5,0 (0,0)
Klāsona lignīns	29,9 (0,1)	32,6 (0,1)	32,7 (0,0)
Kiršnera celuloze	50,0 (2,8)	57,1 (1,1)	58,3 (0,6)
Holoceluloze	61,5 (0,3)	60,1 (0,8)	62,4 (0,1)
Hemicelulozes	13,4 (0,4)	9,0 (1,1)	10,2 (1,1)
α -celuloze	48,1 (0,3)	51,1 (0,7)	52,2 (1,0)

Hemiceluložu saturs samazinās par 33% režīmā 160/3 un par 23% režīmā 170/1 modificētai priedei. Tas liek domāt, ka šinī temperatūru intervālā hemiceluložu degradācija intensīvāk norit, ilgāk izturot pie piķa temperatūras, un par 10°C augstākai piķa temperatūrai ir mazāka nozīme. Neskatoties uz gandrīz divas reizes lielākiem masas zudumiem modificējot (attiecīgi 4,2% un 7,5%), nav konstatētas būtiskas atšķirības starp abos režīmos modificētas priedes komponentsastāviem pēc acetona šķīstošo savienojumu aizvākšanas.

HTM rezultātā, degradējoties koksnes komponentiem, tiek uzlabotas koksnes hidrofobās īpašības un izmēru stabilitāte. Ar apstrādes intensitātes pieaugumu samazinās priedes līdzsvara mitrums (LM) un lineārā uzbrišana (LU) pie relatīvā gaisa mitrumiem (RH) 45%, 65% un 85%. LM vērtību samazinājums pret nemodificētu priedi atkarībā no gaisa RH un HTM režīma sasniedz 30-50%. LU tangenciālā virzienā ir lielāka nekā radiālā, taču procentuālais LU samazinājums HTM priedei pret NM ir līdzīgs abos virzienos un lielākais ir pie zemākām RH vērtībām. Līdzīgi LU, arī kapilārā ūdens uzsūkšana (KŪU) ir ātrāka tangenciālā virzienā, bet, atšķirībā no lineārās uzbriešanas, modificēšana ne tikai nepalēnina, bet gan paātrina KŪU. Tikai pie 180°C modificētai priedei KŪU radiālā virzienā ir lēnāka nekā nemodificētai koksnei. Pretuzbriešanas efektivitātes (PUE) vērtības parāda, par cik procentiem, salīdzinot ar NM koksni, uzlabojas izmēru stabilitāte koksnes pilnīgas piesūcināšanas/žāvēšanas ciklos. PUE pieaug ar apstrādes intensitāti [2]. Par modifikācijas mērķi bieži pieņem koksnes PUE vērtību $>40\%$, mūsu gadījumā priedei HTM apstrādē to sasniedz, modificējot režīmā 170/3.

Sēņu testā režīmā 170/1 modificēta priede atbilstoši EN 15083 uzrādīja vidēju izturību (slightly durable) (masas zudumi (MZ) $>15\%$). HTM paraugiem pēc sēnes iedarbības bija salīdzinoši zems mitrums (vidēji 12-17%, minimālais 8-10%), kas var būt viens no termokoksnes bioizturības iemesliem, tomēr nav atrasta cieša korelācija starp paraugu MZ un koksnes mitrumu pēc sēnes. Augstākā izturība pret brūnās trupes sēni Coniophora puteana bija režīmā 180/3 modificētai priedei (MZ $<2\%$), tā līdzīga Thermowood "D" izturības klases (modificēta pie 212°C) koksnes bioizturībai. Vidējie MZ $<5\%$, kas atbilstoši EN 15083 klasificē koksni kā izturīgu (durable), ir HTM priedei, sākot ar režīmu 170/3.

HTM režīmos 170/1, 170/3, 180/1 modificētas priedes bioizturības izvērtēšanai āra apstākļos bez kontakta ar augsni (3. lietojumklase, EN 335:2013), 2015.g. jūlijā uzsāka t.s. dubultslāņa testu. Pēc pirmā un arī otrā ekspozīcijas gada HTM priedes testa paraugiem netika konstatētas trupes sēņu izraisītas bojājumu pazīmes. Dažiem HTM 180/1 paraugiem virsma bija kļuvusi mīksta 1 mm dziļumā, bet to nebija izraisījuši trupes sēņu bojājumi, bet, iespējams, ka paraugu pārmitrināšanās un/vai zemāks blīvums. Visām testa grupām (kontroles un HTM paraugiem) tika identificēta zilējuma sēne Aureobasidium pullulans, tās sporas un hifas tika atrastas kaudžu ārpusē un iekšpusē. Neapstrādātiem references paraugiem (priede un egle) tika konstatētas trupes pazīmes - priedei trupes bojājumi pēc vērtību skalas no 0 līdz 2 (vidējs bojājums), bet eglei - no 1 līdz 2. Bojājumu veids visos gadījumos – brūnā trupe. Uz dažiem priedes un egles paraugiem bija izveidojušies brūngani gēļveida auglīķmeņi, kas identificēti kā brūnās trupes sēne Exidia saccharina.

Ar mērķi salīdzināt HTM koksni un ar aizsardzības līdzekli impregnētu koksni no vides aspektu viedokļa, veikti ar varaazolu (CA) tipa aizsardzības līdzekli piesūcinātu paraugu sēņu testi. Sēņu testa rezultāti parādīja, ka bioizturība pret trupes sēnēm ir salīdzināma režīmā 180/3 HTM koksnei un impregnētai priedei ar ievadīto CA tipa preparāta daudzumu 6 kg/m³. Lieces stiprības atšķirības ar šādu preparāta daudzumu impregnētai koksnei un HTM režīmā 170/3 modificētai priedei bija dažu procentu robežās. Gan impregnēta, gan termiski modificēta koksne satur ūdenī šķīstošus savienojumus, kuri var nonākt vidē. Analizējot rūpnieciski impregnētā koksne ievadītos un ar ūdeni izskalotos preparāta CA biocīda (vara, Cu) daudzumus noteikts, ka izskalojas 44% Cu no sākotnēji ievadītā un intensīvākā izskalošanās notiek pirmo 5 dienu laikā.

Izskalošanās apjoms un dinamika liecina par nepilnīgu un salīdzinoši lēnu Cu savienojumu fiksēšanos koksnē un vides piesārņojuma riskiem. No HTM koksnē ar ūdeni izskalojas fenoliski savienojumi (tanīni), cukuri, skābes un aldehīdi [3]. Maksimālie to daudzumi ir 0,5-2% no a.s. koksnē svara. No koksnē izdalījušies gaistošie savienojumi veido kondensātus, kas pārsvarā satur etiķskābi (85%), aldehīdus (10%), kā arī cukurus. Noteiktas formaldehīda (Fa) emisijas no HTM priedes. Pieļaujамie Fa emisijas lielumi koksnē materiāliem (saplāksnim), testējot kamerā, E1 klases nodrošināšanai ir $\leq 3,5$ mg/m³h. HTM priedei Fa emisijas vērtības ir ievērojami zemākas (vidēji 0,6 mg/m³h), bet Fa izdalīšanās samazināšanās ir salīdzinoši lēna, un pēc 3 nedēļām koksnē izdala līdzīgu Fa daudzumus.

II Pārklājumi HTM koksnē

Termiski modificētas koksnē dekoratīvitate tiek vērtēta kā viena no pievilcīgām īpašībām. Vides, īpaši UV starojuma ietekmē HTM koksnē krāsa mainās. Pieaugot HTM intensitātei, samazinās gaišuma vērtības un pieaug kopējās krāsas (ΔE_{ab}) izmaiņas. Pēc 500 stundām novecināšanas kamerā kopējās krāsas izmaiņas lielākās ir nemodificētai priedei (23 ΔE_{ab} vienības), bet HTM priedei pieaug no 2,4 vienībām režīmam 160/1 līdz 7,3 vienībām režīmam 180/1. HTM koksnē krāsu stabilizēšanai izstrādāti alkīdu-lineļas pārklājumi uz šķīdinātāju un ūdens bāzes.

1. Alkīdu-lineļas pārklājumi HTM koksnē uz šķīdinātāju bāzes

HTM koksnē izstrādāti alkīdu un lineļas pārklājumu sastāvi uz šķīdinātāju bāzes [4]. Sastāvos ietilpst sikatīvs žūšanas paātrināšanai, pretplēves reaģents un biocīdi produkta un koksnē aizsardzībai pret mikroorganismu attīstību. Pārklājumu veido gruntējošais un virsslānis. Gruntējošais slānis satur vairāk šķīdinātāja, lai nodrošinātu labāku iesūkšanos un adhēziju ar koksnē. Virsslāņa sastāva optiskās stabilitātes uzlabošanai pārbaudīta virkne rūpniecisku UV absorbējošo piedevu (cinka oksīds, titāna oksīds, Tinuvin preparāti) un pigmentu (Sicoflush sarkanais un dzeltenais). Pētīta iespēja uzlabot HTM priedes, apses un baltalkšņa krāsas stabilitāti, koksnē pirms pārklāšanas apstrādājot ar dzelzs(II) sāļu un ūdeņraža peroksīda šķīdumiem. Pēc 200 h UV un 1000 h pilna cikla novecināšanas kamerā (EN 927-6) ar rūpniecisko krāsu pārklātiem paraugiem ar priekšapstrādi kopējās krāsas izmaiņas bija zemākas [5]. Noskaidrots, ka dzelzs sāļi kavē tieši saules UV starojuma iedarbību uz pārklājumu. Pēc pilna cikla novecināšanas priekšapstrādes efekts ir mazāks, kas skaidrojams ar dzelzs sāļu daļēju izskalošanos ar ūdeni.

2. Pārklājumi HTM koksnē uz ūdens bāzes

HTM koksnē izstrādāts alkīda ūdens emulsijas pārklājums ar uzlabotu iesūkšanās dziļumu. Izpēte ietvēra sekojošus uzdevumus: individuālu komponentu un to nepieciešamo daudzumu izvēle stabilu emulsiju iegūšanai; piemērotu aditīvu izvēle pārklājuma īpašību uzlabošanai (sastāva stabilitāte, samitrināšanās, uznešanas īpašības, reoloģija u.c.); pārklājumu koksnē aizsargājošo īpašību izpēte (hidrofobitāte, atmosfēras izturība, ūdens uzsūkšana, izturība pret bioloģiskiem noārdītājiem u.c.) [6, 7]. Emulsijas pamatkomponenti: ūdens kā šķīdinātājs, saistviela un virsmas aktīva viela (VAV). Kā saistvielas izmantotas vidēja garuma alkīds (ALK) un lineļas (LE). Gaistošo organisko savienojumu emisiju samazināšanai sastāvam netiek pievienots parasti lietotais ko-solvents. Iesūkšanās dziļuma uzlabošanai un stabilas emulsijas iegūšanai pārbaudītas deviņas dažādu ķīmisko struktūru VAV. Labākos rezultātus uzrādīja ne-jonu etoksilētie spirti. Izpētītas komponentu pievienošanas secences stabilu emulsiju izveidošanai un kompozīcija optimizēta ar mērķi palielināt saistvielu un samazināt VAV daudzumu, ierobežojot putu veidošanos. Emulsijas stabilizēšanai izvēlēta ar anjonu stabilizētā hibrīda polimēra ūdens bāzes dispersija nodrošināja labas samitrināšanas, adhēzijas, barjeras un filmas īpašības. Aditīvi tiek pievienoti ļoti mazos daudzumos, tomēr tiem ir milzīga ietekme uz pārklājumu lietošanas īpašībām un ilgtspēju. Izpēte pārbaudīta dažādu aditīvu piemērotība, noskaidrota optimālā pievienošanas secība, laiks un daudzums, lai nodrošinātu vienmērīgu pārklājuma sadalījumu uz virsmas, samazinātu fāzu atdalīšanos un virsmas spraigumu (palielinātu slapināšanos) uznešanas procesā, optimizētu adsorbīciju un difūziju. Bezkrāsaini pārklājumi neefektīgi aizsargā koksnē no saules starojuma iedarbības. Neorganisko pigmentu izmantošanai ir divas funkcijas: dekoratīvā optiskā funkcija un aizsardzības funkcija substrāta virsmai un pārklājuma saistvielai, kas arī var tikt pakļauta UV degradācijai. Dzelzs oksīdi tiek plaši lietoti, ir salīdzinoši lēti un izturīgi. Eksperimentus veica ar nanoizmēra dzelteniem un sarkaniem dzelzs oksīdiem ar daļiņu diametru no 1 līdz 100 nm, t.s. caurspīdīgiem dzelzs oksīda pigmentiem. Nanodaļiņu ievadīšanai ūdens emulsijās tika pārbaudītas divas pieejas. Tika pārbaudīta iespēja kā UV absorberu alternatīvu un videi draudzīgāku aditīvu pievienot divu tipu lignīnus. Lignīna pulvera pievienošanai bija nepieciešama ultrasonifikācija, emulsijās lignīni veidoja suspensijas, taču ilgstoši suspensijā nesaglabājās un veidoja nosēdumus.

Veikta pārklājuma īpašību izpēte. Nemodificēta un HTM koksnē tika pārklāta trīs kārtās ar 24 h intervālu starp kārtām. Pārklājuma absorbīciju ietekmēja kā substrāts, tā arī emulsijas kompozīcija. Visas LE un ALK saturošās emulsijas HTM koksnē iesūcās dziļāk (no 5 līdz 15 mm), salīdzinot ar NM koksnē (no 1 līdz 4 mm), kas daļēji skaidrojams ar HTM zemāku blīvumu un augstāku porainību. LE sekmēja pārklājuma absorbīciju un iesūkšanās dziļumu. Izstrādātie pārklājumi pārbaudīti

āra novecināšanas testā HTM priedei (180/1) un HTM apsei (170/1), ar un bez priekšapstrādes ar dzelzs šķīdumiem. Testā salīdzināja trīs pārklājumus: alkīdu uz ūdens bāzes, alkīdu uz šķīdinātāja bāzes un lineļļu uz šķīdinātāja bāzes ar vienādām saistvielu (25%) un pigmentu (8%) koncentrācijām. Izmantoti sarkanais vai sarkanais/dzeltenais (1:1) pigmenti. Atkarībā no viskozitātes bezplēves pārklājuma izveidošanai virs bezpigmentu bāzes slāņa uzklātas 2 vai 3 pigmentētas virskārtas. Testa sākumā pēc 30, 60 un 90 dienām starpkontrolēs noteiktas krāsas un virsmas slapināšanas leņķa izmaiņas, turpmāk ar gada intervālu. Gan ekspozīcijas sākuma periodā (90 dienās), gan pēc 640 dienām labāku krāsas stabilitāti nodrošināja priekšapstrāde ar dzelzs sāļiem, sarkanais pigments un lielāks virskārtu skaits. Pēc 640 dienu ekspozīcijas mazākās krāsu izmaiņas bija paraugiem, kuriem kā pārklājums bija izmantota lineļļa ar caurspīdīgo sarkanā dzelzs oksīda pigmentu. Paraugiem ar priekšapstrādi netika novērotas būtiskas krāsas noturības atšķirības atkarībā no izmantotā pigmentu sastāva. Priekšapstrādei ir būtisks pozitīvs efekts uz krāsas saglabāšanos āra apstākļos bezplēves pārklājuma gadījumos, bet gadījumos, kad pārklājums veidoja plēvi, efekta nebija vai tas bija neliels. Paraugiem ar priekšapstrādi tika novērots būtiski lielāks spīdums, kas netieši norāda uz biežākas pārklājuma plēves veidošanos.

Secinājumi

- Optimālo režīmu noteikšanai priedes koksne hidrotermiski modificēta vienu stundu temperatūru intervālā 160°C-180°C un noteiktas svarīgākās lietošanas īpašības – stiprība un bioizturība. Kā kompromiss starp bioizturības uzlabošanu un stiprības samazināšanu detalizētākai izpētei HTM priedei izvēlēti režīmi 160/3 un 170/1. HTM rezultātā uzlabojas koksnes fizikālās īpašības, izturība pret noārdošām sēnēm āra apstākļos.
- Izstrādāti pigmentēti alkīdu-lineļļas pārklājumi uz šķīdinātāju bāzes un alkīdu ūdens emulsijas pārklājumu kompozīcijas HTM koksnei. Ūdens emulsijas optimālo sastāvu veido vidēja un augsta garuma alkīda sveķi, daļēji polimerizēta lineļļa, UV absorberi, caurspīdīgie dzelzs oksīda pigmenti un aditīvi nepieciešamo reoloģisko un tehnoloģisko īpašību nodrošināšanai. Sastāva kompozīcija un izgatavošana aizsargāta ar Latvijas patentu.
- Divu gadu āra testā konstatēts, ka pārklātas HTM koksnes krāsas stabilitāti uzlabo sarkanais dzelzs pigments un lielāks virskārtu skaits. Priekšapstrādei ar dzelzs sāļiem ir būtiski pozitīvs efekts uz krāsas saglabāšanos āra apstākļos bezplēves pārklājuma gadījumos.

Publikācijas

1. Andersons B., Noldt G., Koch G., Andersone I., Meija-Feldmane A., Biziks V., Irbe I., Grinins J. Scanning UV microspectrophotometry as a tool to study the changes of lignin in hydrothermally modified wood. *Holzforschung*, 2016, Vol.70, No.3, pp. 215–221.
2. Biziks V., Andersons B., Sansonetti E., Andersone I., Militz H., Grinins J. One stage thermo-hydro treatment (THT) of hardwoods: an analysis of form stability after five soaking-drying cycles. *Holzforschung*, 2015, Vol. 69, No.5, pp. 563-571.
3. Meija-Feldmane A. Leachates of thermally modified pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*, 2015, Vol.34, No.329, pp. 26-31.
4. Cirule D., Sansonetti E., Meija-Feldmane A., Andersone I., Andersons B. Coatings improving resistance of thermally modified wood to discoloration. Book of Abstracts 10th Coatings Science International 2014, COSi 2014, pp. 97-100.
5. Cirule D., Kuka E., Antons A. Disparity in discolouration of thermally modified wood exposed to solar and artificial ultraviolet irradiation. *Rural Sustainability Research*, 2015, Vol.34, No.329, pp. 12-20.
6. Sansonetti E., Grinins J., Andersons B., Andersone I. Novel linseedoil-alkyd emulsion formulations for wood coatings. Proceedings of 11th Meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE), Edinburg, Scotland, 13-14 October, 2014, pp. 1-6.
7. Sansonetti E., Andersons B., Andersone I. Formulation of an alkyd emulsion suitable as a wood paint. Proceedings of the 12th Meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE), Riga, Latvia, 12-13 September 2016, pp. 87-93.

PERFORMANCE SOLUTIONS OF THERMO-HYDRO MODIFIED WOOD

Ingeborga Andersone*, Dace Cīrule, Ilze Irbe, Anete Meija-Feldmane, Erry Sansonetti,
Bruno Andersons, Juris Grīniņš, Nina Kurnosova, Edgars Kuka, Andis Antons

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

** i.andersone@edi.lv*

Objective of the study: to increase the wood-based materials' competitiveness in the construction industry, improving the wood durability properties by the thermo-hydro (THT) modification technique and coatings. The topicality of the pine wood THT research is justified by its broad application in different fields of construction. Thermal modification has developed industrially in the last 20 years as an alternative to the improvement of biodurability with biocide containing wood preservatives. Each of the wood durability enhancing methods – thermal modification and impregnation – has its advantages and drawbacks. Their comparison, from the viewpoint of the material's properties and environmental aspects, expands the opportunities of the wood user's choice for the application of a definite material. The preservation of the decorative properties of modified wood is one of the competitiveness aspects. Due to the different surface properties of thermally modified wood, it is necessary to develop special coating compositions.

In the framework of the Project, the optimum pine wood THT regimes, and the transformations of the wood chemical composition and the properties of the obtained material were studied. The most important pine wood performance properties (biodurability and strength) within the THT temperature range of 160°C to 180°C were evaluated. Modifying in the regime 170°C/3 h, the allowable bending strength loss of 40% was exceeded. For the detailed study, the regimes 160°C/3 h and 170°C/1 h were chosen, which is a compromise providing acceptable THT pine wood strength and biodurability properties and improving the anti-swelling efficiency by more than 40%. The changes in the THT pine wood chemical composition are analysed, and equilibrium moisture, linear swelling, anti-swelling efficiency and resistance against wood fungi in laboratory and outdoor conditions were determined. Performance properties (biodurability, strength) and environmental pollution risks for THT pine wood and that impregnated with CA type wood preservatives were compared.

Two types of coating compositions for THT wood surface protection are developed: solvent-based alkyd-linseed oil coatings and alkyd water emulsions. Wood colour stability was evaluated in laboratory and outdoor weathering tests. It is found that the wood pre-treatment with iron salts substantially improves the stability of filmless coatings' colour in outdoor conditions.

KOKSNES POLIMĒRU KOMPOZĪTI AR TERMISKI MODIFICĒTU KOKSNI

Edgars Kuka, Ingeborga Andersone*, Bruno Andersons, Ilze Irbe, Dace Cīrule,
Nina Kurnosova, Anna Janberga, Juris Grīniņš, Andis Antons

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

* i.andersone@edi.lv

Kopsavilkums

Paplašinoties rūpnieciskai koksnes termiskai modifikācijai, pieaug utilizējamu modificētas koksnes atlikumu resursi, kas pieejami augstākas pievienotās vērtības produktu ražošanai. Izpētītas pie dažādiem hidrotermiskās modifikācijas (HTM) režīmiem modificētas bērza un priedes koksnes atlikumu izmantošanas iespējas koksnes polimēra kompozītu (KPK) izgatavošanā, kuros kā matrica izmantots polipropilēns (PP). Noteikts koksnes skaidu frakciju sastāvs, garuma/diametra (L/D) attiecība un ķīmiskais sastāvs. Pētīta HTM režīma ietekme uz KPK īpašībām (kausējuma tecētspēju, lieces īpašībām, triecienizturību, bioloģisko izturību, ūdens absorbciju un virsmas īpašībām) un atrasti optimālie koksnes modificēšanas režīmi. Analizēta koksnes daļiņu izmēra ietekme uz KPK īpašībām un atrasts, ka daļiņu izmērs, atšķirībā no nemodificētas koksnes, maz ietekmē īpašības kompozītiem ar HTM koksni. Izpētītas KPK īpašību uzlabošanas iespējas, izmainot sastāvu. Ar SEM pētīts KPK sagraušanas mehānisms.

Darba mērķis: Termiski modificētas koksnes utilizācijas iespēju izpēte koksnes polimēru kompozītiem. Koksnes polimēru kompozīti (KPK) tiek uzskatīti par ekoloģiskiem produktiem sekojošu iemeslu dēļ: 1) vismaz 50 mas.% no kompozīta satur dabas šķiedras (atjaunojami resursi), turklāt visbiežāk tiek izmantoti atlikuma produkti (piemēram, skaidas); 2) kā saistvielu (matricu) var izmantot otrreiz pārstrādātu termoplastu; 3) KPK ir otrreiz pārstrādājami. Termiski modificētas (TM) koksnes izmantošana polimēru kompozītos ir perspektīva izejmateriāla – TM koksnes atlikumu - pieejamības dēļ, jo TM rūpnieciskās ražošanas apjomiem ir neliels, bet stabils pieaugums, tuvojoties 150 000 m³/gadā. Otrs aspekts – TM koksnes hidroforās īpašības, padarot to saderīgāku ar nepolāro polimēra matricu.

Materiāli un metodes

KPK izveidoti no sekojošām sastāvdaļām: termoplastiska polimēra, koksnes daļiņām, termooksidatīva stabilizatora, ar vai bez starpfāžu modifikatora.

Bērza (*Betula* spp.) un priedes (*Pinus sylvestris*) dēļu (1000×100×25 mm) hidrotermiskā modifikācija (HTM) veikta WTT eksperimentālā iekārtā paaugstināta ūdens tvaika spiediena apstākļos pie trim iepriekšējos eksperimentos izpētītiem režīmiem (°C/h): 160/1, 170/1, 170/3 ar temperatūras celšanas ātrumu 0.24- 0.28°C/min. Katrā režīmā tika modificēti 5 dēļi no katras koka sugas, 5 dēļi izmantoti kā references paraugi nemodificētu (NM) skaidu ieguvei. Dēļus sasmalcināja mazākos paraugos, tad samala caur 1 mm sietu Retsch lieljaudas dzirnavās un ar sijāšanu noteica skaidu izmēru (frakciju) sastāvu. Katrai frakcijai noteica garuma/diametra attiecību (L/D) - frakcijām ar daļiņu izmēru <200 μm izmantoja šķiedru izmēru mērīšanas iekārtu (Lorentzen & Wettre), bet frakcijām ar daļiņu izmēriem 200-400 μm un >400 μm - portatīvo digitālo mikroskopu (DigiMicro Mobile) un PortableCapture programmatūru.

Noteikts NM un HTM koksnes ķīmiskais sastāvs: acetona šķīstošās ekstraktvielas, holoceluloze (peretišķābes metode), α-celuloze, izšķīdinot holocelulozē esošās hemicelulozes ar 5% un 24% NaOH ūdens šķīdumu. Hemiceluložu daudzumu aprēķināja kā holocelulozes un α-celulozes masas starpību.

Kā KPK polimēra matricu izmantoja polipropilēnu (PP), jo tam piemīt labas fizikāli mehāniskās īpašības un laba kausējuma tecētspēja, turklāt lieli tā daudzumi nonāk atkritumu plūsmās. Izvēlētai PP markai Mosten MA-712 ir laba deformēšanas spēja un liela pārstrādes termiskā stabilitāte. PP raksturots ar DSK līknēm. Kā termooksidācijas stabilizators izmantots fenola tipa antioksidants Hostanox O3 P, bet kā starpfāžu modifikators maleinizētais polipropilēns (MAPP) Licocene PP MA-7452.

HTM režīma un skaidu izmēru ietekme pētīta KPK sastāvam, (mas. %): skaidas – 50; polipropilēns - 49,2; termooksidatīvs stabilizators (Hostanox O3 P) - 0,8. Iegūti KPK ar blīvumu 1,070 ± 0,005 g/cm³. Receptūra optimizēta KPK īpašību uzlabošanas iespēju izpētei. Kompozīciju sajaukšana veikta uz *Labtech Engineering* laboratorijas tipa valčiem. Ar vertikālo

laboratorijas tipa spiedliešanas mašīnu izgatavoti stieņveida paraugi ar izmēriem 4×10×70 mm lieces, triecienizturības, ūdens absorbcijas, bioloģiskās izturības un dimensionālās stabilitātes pārbaudēm. Mikrociētības, stiepes un maksīgās novecināšanas eksperimentiem Carver laboratorijas presē izgatavotas 1,5 mm biezas KPK plēves bez redzamiem defektiem.

KPK paraugiem noteica tecētspēju (kapilārā viskozimetrija, ASTM D 1238), lieces izturību (Zwick/Roell Z100, EN ISO 178), triecienizturību (Zwick-24, EN ISO 179), mikrociētību (Vickers M-41 mikroskops), blīvumu (Precisa XT 220A), ūdens absorbciju, dimensionālo stabilitāti (ASTM D 570-88), bioloģisko izturību (modificēts CEN/TS 15083-1). Pirms sēņu testa vienu KPK paraugu grupu mērcēja ūdenī līdz līdzsvara mitruma sasniegšanai, otru - mērcēja ūdenī 2 nedēļas. KPK mākslīgo novecināšanu veica ~1.5 mm biežām plēvēm QUV kamerā ar UVA-340 tipa fluorescentām lampām, neizmantojot ūdens smidzināšanu. Krāsas izmaiņas noteica ar Konica Minolta CM-2500d spektrofotometru (CIELab krāsu sistēma), plēvju virsmas izmaiņas novērtēja ar atstarotās gaismas mikroskopu Leica MZ6. Ar SEM (TESCAN TS 5136 MM, datorprogramma VEGA TC) tika iegūti attēli triecienizturības pārbaudēs sagrauto KPK paraugu lūzuma vietu izpētei.

Rezultāti

Skaidu izmēru sadalījums pa frakcijām un garuma/diametra attiecības (L/D). Koksnes pildviela lielā mērā ietekmē KPK īpašības. Daļiņu izmēri ir viens no pildvielas raksturlielumiem. Frakcionējot sasmalcinātas skaidas, NM un HTM paraugiem iegūst atšķirīgus skaidu izmēru sadalījumus. NM bērzam ir līdzīgi mazāko un lielāko frakciju daudzumi, turpretī NM priedei visu frakciju sadalījums ir līdzīgs. HTM apstrāde izmaina koksnes ķīmisko sastāvu un ietekmē struktūras stiprību. Smalcināšanas rezultātā, līdz ar HTM temperatūras pieaugumu, pieaug mazāko frakciju īpatsvars. Patērējot tikpat enerģijas, no HTM koksnes iegūst mazāka izmēra skaidas.

Būtisks šķiedru raksturlielums ir garuma/diametra (L/D) attiecība. Lielākā L/D attiecība gan NM, gan HTM koksnei ir mazākā izmēra koksnes daļiņām jeb smalkumiem (<0,4 mm), tās ir garenas, un tām ir arī lielāka īpatnējā virsma, kas sekmē mijiedarbību starp polimēru un koksni un spriegumu pārnesi uz armējošo komponenti. Palielinoties skaidu izmēram, L/D attiecība samazinās. L/D attiecība lielāka HTM skaidām, kas ir viens no faktoriem to labākai mijiedarbībai ar matricu.

Koksnes ķīmiskais sastāvs nosaka koksnes skaidu un, līdz ar to, KPK īpašības. HTM koksnei, salīdzinot ar nemoģificētu, ir lielāks ekstraktvielu un α -celulozes īpatsvars, un būtiski (līdz pat 3 reizēm) mazāks hemiceluložu saturs. HTM skaidas ir hidrofobākas, tādēļ tām ir labāka mijiedarbība ar nepolāro polimēra matricu.

Kausējuma indekss (KI) raksturo KPK kausējuma reoloģiskās īpašības, un tā vērtības nosaka rūpnieciskās pārstrādes metožu izvēli. KPK ar NM koksnes skaidām KI ir salīdzinoši mazs, bērza un priedes gadījumā līdz 0,3 g/10 min, līdz ar to pārstrādes iespējas šiem kompozītiem bez papildus piedevām ir ierobežotas. KPK ar HTM skaidām KI vērtības ir vairāk nekā 10 reizes lielākas, kas ļauj pārstrādei izmantot gan ekstrūzijas metodi, gan spiedliešanu, ievērojami paplašinot produkcijas sortimentu. KI vērtības liecina par HTM skaidu labāku mijiedarbību ar PP matricu un labāku disperģēšanas polimērā. Iespējams, ka KI pozitīvi ietekmē augstāks mazmolekulāru ekstraktvielu saturs koksne.

KPK stiprības īpašības ir ļoti būtiskas, jo lielākā daļa produktu ekspluatācijas laikā tiek pakļauti mehāniskai slodzei. Visos gadījumos KPK ar HTM koksnes skaidām ir lielāka lieces stiprība, mazāka relatīvā deformācija pie maksimālās stiprības un lielāks lieces modulis, salīdzinot ar atbilstošajiem KPK ar NM skaidām, kas skaidrojams ar uzlabotu adhēziju starp HTM pildvielu un PP matricu [1-2]. Skaidu izmēriem un L/D attiecībai ir maza ietekme uz kompozīta lieces īpašībām, labākās bija KPK ar režīmā 170°C/1h modificētu bērzu un 170°C/3h priedi. Turpretī triecienizturīgākie izrādījās ar NM bērza skaidām pildītie kompozīti, jo adhēzijas uzlabošanās ar modificētu koksni materiālu padara stingāku un trauslāku, mazāk spējīgu deformēties. Triecienizturību gan NM, gan HTM skaidu gadījumā būtiski ietekmēja skaidu izmēri un L/D (attiecīgi cieša un vidēji cieša negatīva korelācija). KPK ar HTM skaidām ir labāka mikrociētība.

Ūdens absorbcija PP pēc 150 dienām ūdenī tikai ~0,2 %. Ievadot PP matricā koksnes skaidas, ūdens absorbcija palielinās līdz ~15% NM bērzam un priedei, tātad koksnes daļiņas nav pilnībā iekapsulētas polimēra matricā, turklāt ūdens ilgākā laika periodā spēj difundēt cauri polimēra kārtiņai. KPK ar HTM koksnes skaidām ūdens absorbcijas ātrums un absorbtā ūdens daudzums ir 2-4 reizes mazāks, resp., šie KPK ir izturīgāki pret ūdens iedarbību, kas skaidrojams gan ar HTM koksnes mazāku ūdens absorbciju, gan tās labāku mijiedarbību ar PP. KPK ar HTM skaidām tilpuma izmaiņas (6-4%) ir 2-3 reizes mazākas nekā kompozītiem ar NM koksni.

Izturība pret trupes sēnēm ir būtisks rādītājs āra vai augsta mituma apstākļos izmantotiem materiāliem. Pārbaudot KPK bioizturību, tika veikta priekšapstrāde, paraugus mērcējot ūdenī, lai varētu spriest par KPK bioizturību pastāvīgi mitrās vietās. HTM koksnes ievadīšana PP matricā samazināja masas zudumus (MZ) biodegradācijas dēļ salīdzinājumā ar NM koksnes pildvielu [3]. Ilgāka KPK izturēšana ūdenī palielināja MZ visiem variantiem. Lieces testi parādīja, ka sēņu iedarbības rezultātā samazinās KPK lieces modulis. Mazākais samazinājums bija kompozītiem ar pie stingrākiem režīmiem modificētu koksni (~2%; NM gadījumā 20%).

Estētisko īpašību saglabāšanās materiāla ekspluatācija laikā ir būtiska produkta vērtība. KPK saskarē ar saules starojumu maina krāsu, tāpēc to sastāvā ievada UV absorberus vai stabilizatorus. Izvērtējot KPK krāsas izmaiņu dinamiku UV ietekmē mākslīgās novicināšanas kamerā atrasts, ka krāsas izmaiņas KPK ar HTM koksni bija lielākas nekā ar KPK ar NM skaidām, kas skaidrojams ar šo materiālu tumšāko krāsu [4-5]. HTM režīms optiskās izmaiņas būtiski neietekmē. Lielākās izmaiņas ir gaišuma parametra vērtību palielināšanās, ko rada PP caurspīdīguma samazināšanās kristalizēšanās dēļ. Virsmas izpēte ar atstarotās gaismas mikroskopu parāda lielāku virsmas eroziju KPK ar NM skaidām. PP degradācijas rezultātā koksne tiek atsegta un pakļauta tālākai vides iedarbībai.

Koksnes daļiņu izmēra ietekme uz koksnes polimēra kompozītu īpašībām. Izgatavoti KPK, izmantojot dažāda izmēra skaidu frakcijas – smalkumus (< 0.2 mm), vidēja izmēra (0.2 – 0.4 mm) un lielizmēra (0.4 – 1.0 mm) skaidas. Koksne kompozītiem tika modificēta pie optimāliem režīmiem (170°C/1 h bērzam un 170°C/3h priedei) mitrumizturīgu KPK iegūšanai. Noteiktas KPK stiprības īpašības. Sliktākā triecienizturība bija KPK ar koksnes smalkumiem, bet nebija statistiski būtisku atšķirību starp KPK ar vidēja izmēra un lielizmēra skaidām, ko var skaidrot ar līdzīgām L/D attiecībām (L/D 3-4). Smalkumiem ir ievērojami lielāka L/D attiecība (L/D 7-11) un lielāka īpatnējā virsma, kas veido lielāku robežvirsmu ar polimēra matricu, tādēļ KPK ir mazāk spējīgi deformēties un lielāka daļa trieciena enerģijas tiek patērēta materiāla sagraušanai. Atšķirībā no NM koksnes, HTM bērza un priedes skaidu izmēri būtiski neiespaidoja KPK lieces stiprību un elastības moduli. Tas nozīmē, ka nav nozīmes skaidu sijāšanai noteikta izmēra skaidu iegūšanai.

Tilpuma izmaiņas KPK ar NM skaidām pēc 200 dienu izturēšanas ūdenī ir ~2 reizes lielākas nekā kompozītiem ar HTM koksni. KPK ar NM smalkumiem ir straujāka ūdens absorbcija lielākas virsmas dēļ, bet līdzīgs maksimālais uzsūktais ūdens daudzums. Kompozītiem ar HTM koksni skaidu izmēram nav nekādas ietekmes uz ūdens absorbcijas dinamiku un maksimālo uzņemto ūdens daudzumu. Pēc mērcēšanas noteiktās izžāvētu kompozītu lieces īpašības parāda, ka KPK ar HTM skaidām lieces īpašību izmaiņas ir būtiski mazākas nekā kompozītiem ar NM koksni. Rezultāti apstiprina viedokli par HTM skaidu sijāšanas nelietderību.

Kompozīcijas sastāva ietekme uz KPK īpašībām. Nemot vērā pētījumos konstatētās līdzīgās tendences bērza un priedes koksnei, detalizēta izpēte veikta KPK ar priedes skaidām ar frakciju 0,2-0,4 mm. Kā starpfāžu modifikators izmantots maleinizēts polipropilēns MAPP (3%), skaidu:PP attiecība izvēlēta 50:50 un 40:60. Rezultāti doti Tabulā 1.

Tabula 1. KPK lieces īpašībām (lieces stiprība (σ_L), relatīvā deformācija pie maksimālās stiprības liecē (ϵ_L), lieces elastības modulis (E_L) atkarībā no KPK sastāva

Apzīmējums	σ_L (MPa)	ϵ_L (%)	E_L (GPa)
NM (50:50)	37.1 ± 0.9	1.9 ± 0.1	3.53 ± 0.15
NM (50:47:3)	58.6 ± 1.4 (+58 %)	2.3 ± 0.1 (+21 %)	4.07 ± 0.16 (+ 15 %)
HTM (50:50)	39.5 ± 0.9	1.3 ± 0.1	4.20 ± 0.16
HTM (50:47:3)	66.3 ± 4.2 (+68 %)	2.2 ± 0.2 (+ 69 %)	4.80 ± 0.38 (+14 %)
HTM (40:60)	42.2 ± 1.6	1.8 ± 0.1	3.70 ± 0.17
HTM (40:57:3)	61.8 ± 3.5 (+46 %)	2.6 ± 0.1 (+ 44 %)	3.85 ± 0.25 (+ 4 %)

KPK ar HTM koksni MAPP pievienošana uzlaboja triecienizturību par ~80% un lieces stiprību par vairāk nekā 50%, ko var skaidrot ar būtisku adhēzijas palielināšanos starp koksnes daļiņām un PP matricu. SEM lūzumvietu mikrofotogrāfijas parādīja, ka triecienslodzes rezultātā skaidas ir pārrautas vai izrautas, kas liecina par KPK ir jaukta tipa sagraušanas mehānisms, kā arī apstiprina MAPP pozitīvo ietekmi uz skaidas un PP matricas savstarpējo mijiedarbību [6]. MAPP izmantošana būtiski neietekmēja KPK mikrociētību un blīvumu, bet par 40-60% samazināja KPK ūdens absorbciju un nozīmīgi uzlaboja KPK dimensionālo stabilitāti (tilpuma izmaiņas atsevišķos gadījumos samazinājās pat uz pusi). MAPP efektīvāk uzlabo īpašības KPK ar HTM skaidām, salīdzinot ar kompozītiem ar NM koksni.

Samazinot HTM skaidu īpatsvaru no 50 mas.% uz 40 mas.%, lieces stiprība palielinās par 7 %, relatīvā deformācija pie maksimālās stiprības par 38 % un lieces modulis samazinās par 12 %; triecienizturību palielinās par 18%; samazinās mikrociētība un blīvums, kā arī samazinās ūdens absorbcijas spēja un tilpuma izmaiņas pēc izturēšanas ūdenī. Iegūtie rezultāti parāda, ka, izmantojot HTM skaidas bez MAPP, varam iegūt tikpat ūdens izturīgu KPK, kā izmantojot NM skaidas un MAPP. Tas ļautu samazināt kopējās izmaksas un konkurēt ar šiem materiāliem, jo MAPP ir dārgākā no visām izmantotajām komponentēm. No pārbaudītajiem KPK visoptimālākais sastāvs mitruma izturīgiem KPK ir HTM (50:47:3), jo tam ir labas ūdens izturības īpašības un laba mehāniskā stiprība.

Secinājumi

1. HTM režīmi būtiski ietekmē modificētas koksnes ķīmisko sastāvu. Palielinot HTM režīma stiprību, hemiceluložu īpatsvars koksnē ievērojami samazinās, koksne kļūst hidrofofāka, tādēļ uzlabojas mijiedarbība ar nepolāro polimēra matricu.
2. Līdz ar HTM intensitātes pieaugumu, smalcināšanas rezultātā pieaug mazāko frakciju īpatsvars. Patērējot vienādu enerģijas daudzumu, no HTM koksnes iespējams iegūt mazāka izmēra skaidas, salīdzinot ar nemodificētu koksnī. HTM skaidām ir lielāka L/D attiecība, tādēļ tās ir piemērotākas KPK izgatavošanai salīdzinājumā ar NM skaidām.
3. KPK ar HTM koksnes skaidām KI vērtības ir vairāk nekā 10 reizes lielākas, kas ļauj pārstrādei izmantot gan ekstrūzijas metodi, gan spiedlīšanu, ievērojami paplašinot produkcijas sortimentu.
4. NM koksnes skaidas aizstājot ar HTM skaidām, uzlabojas KPK lieces īpašības, palielinās mikrociētība, samazinās ūdens absorbcija, uzlabojas dimensionālā stabilitāte, samazinās virsmas erozija UV starojuma ietekmē, palielinās kausējuma tecētspēja un uzlabojas bioloģiskā izturība, bet pasliktinās triecienizturība un palielinās krāsas izmaiņa mākslīgās novecināšanas rezultātā. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, kā optimālie HTM režīmi izvēlēti 170°C/1 h bērzam un 170°C/3 h priedei.
5. Pievienojot kā starpfāžu modifikatoru maleinizēto polipropilēnu (MAPP), KPK ar NM un HTM koksnī uzlabojas lieces īpašības, palielinās triecienizturība, samazinās ūdens absorbcija un palielinās dimensionālā stabilitāte, bet nav novērojama būtiska ietekme uz kompozīta blīvuma un mikrociētības rādītājiem. MAPP efektivitāte ir būtiski lielāka KPK ar HTM koksnes skaidām, salīdzinājumā ar NM koksnes skaidām. Optimālais komponentu sastāvu mitruma izturīgiem KPK ir sekojošs: 50 mas.% HTM 170/3 priedes skaidas (nesijātas), 47 mas.% PP un 3 mas.% MAPP. Šim KPK piemīt izcila ūdens izturība un dimensionālā stabilitāte, salīdzinājumā ar NM koksnes kompozītiem, un relatīvi augstas mehāniskās stiprības īpašības.

Publikācijas

1. Kuka E., Cirule D., Kajaks J., Andersons B. Thermally modified wood by-products as a filler for production of wood plastic composites. 3rd Biopolymers International Conference Book of Abstracts, 14th, 15th & 16th December 2015, Nantes, France, p.71.
2. Kuka E., Cirule D., Kajaks J., Andersone I., Andersons B. 2016. Wood plastic composites made with thermally modified birch wood residues. *International Wood Products Journal*, 2016, Vol.7, No.4, pp. 225-230. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20426445.2016.1214439?journalCode=yw pj20>
3. Kuka E., Cirule D., Kajaks J., Janberga A., Andersone I., Andersons B. Fungal degradation of wood plastic composites made with thermally modified wood residues. *Key Engineering Materials*, 2016, Vol.721, pp. 8-12. <https://www.scientific.net/KEM.721.8>
4. Kuka E., Cirule D., Kajaks J., Andersone I., Andersons B. Artificial weathering (QUV) of wood plastic composites made with thermally modified wood residues. Book of abstracts of the 2nd Workshop on application of NIR spectroscopy for wood science and technology research, NIR & WOOD – SOUNDS GOOD! #2, April 19-21, 2016, San Michele all' Adige, Italy, pp. 46-47.
5. Kuka E., Cirule D., Kajaks J., Andersone I., Andersons B. Surface changes of artificially weathered polypropylene-thermally modified wood flour composites. In: Proceedings of the 12th meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE), September 12-13, 2016, Riga, Latvia, 233-239.
6. Kuka E., Cirule D., Kajaks J., Andersone I., Andersons B. Wood plastic composites made with thermally modified birch wood residues. International Panel Products Symposium IPPS 2015, 7th & 8th October 2015, Llandudno, UK, pp. 241-251.

WOOD POLYMER COMPOSITES WITH THERMALLY MODIFIED WOOD

Edgars Kuka, Ingeborga Andersone*, Bruno Andersons, Ilze Irbe,
Dace Cīrule, Ņina Kurnosova, Anna Janberga, Juris Grīniņš, Andis Antons

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

**i.andersone@edi.lv*

With the expansion of industrial wood thermal modification, the resources of utilisable modified wood residues available for the production of higher value added products increase.

Aim of the work: Study of the thermally modified wood utilisation feasibility for wood-polymer composites. Wood polymer composites (WPC) are considered to be eco-friendly products, because at least 50 mass% of the composite contain natural fibres; as a binder (matrix) for WPC recycled thermoplastics can be used; WPC are recyclable. The use of thermally modified (TM) wood in wood polymer composites is promising due to the availability of TM wood residues, since the TM industrial production volume has a stable annual growth.

Utilisation possibilities of birch and pine wood, modified at various thermo-hydro treatment (THT) regimes, for manufacturing wood polymer composites, in which polypropylene (PP) is used as the matrix, were investigated. The composition of unmodified (UM) and THT wood particles fractions, L/D ratio and chemical composition were determined. The effect of the THT regime on the WPC properties (melt flow index, bending properties, impact resistance, biological durability, water absorption and surface properties) was studied, and the optimal wood modification regimes were found. The effect of the wood particle size on the WPC properties was analysed; it is found that the particle size, unlike the case of unmodified wood, has little effect on the properties of composites with THT wood. The WPC properties' improvement possibilities, changing the composition, were studied. The WPC fracture mechanism in the impact strength tests was studied by SEM.

The obtained results show that, as a result of THT, the proportion of hemicelluloses in wood considerably decreases, and the wood becomes more hydrophobic; therefore, the interaction with the nonpolar polymer matrix improves. With the THT intensity growth, as a result of milling, the proportion of small size fractions increases; respectively, consuming the same amount of energy, it is possible to obtain smaller size particles from the THT wood, compared to the case of unmodified wood. Compared to unmodified wood, THT particles are more suitable for WPC manufacture, because they have a higher L/D ratio, the melt flow index values of WPC with THT particles are more than 10 times higher, which enables the use of both the extrusion method and injection moulding for processing, significantly expanding the products' assortment. Replacing unmodified wood particles with THT wood particles, the WPC bending properties improve, micro hardness increases, water absorption decreases, dimensional stability improves, the surface erosion under the action of UV radiation decreases, the melt flow index increases and biological resistance improves, but the impact strength decreases and the colour change as a result of artificial weathering increases. Based on the results obtained, 170°C/1 h for birch and 170°C/3 h for pine were chosen as the optimal HTM regimes. By adding maleated polypropylene (MAPP) as a coupling agent to the WPC with unmodified and THT wood, the bending properties improve, impact resistance increases, water absorption decreases and dimensional stability increases, but no significant effect on the composite's density and micro hardness indicators is observed. The MAPP efficiency is significantly higher for WPC with THT wood particles, compared with the case of unmodified wood particles. The optimal component composition of the moisture-resistant WPC is as follows: 50 mass% THT 170/3 pine wood particles, 47 mass% PP and 3 mass% MAPP. These WPC have excellent water resistance and dimensional stability, compared with unmodified wood composites, and relatively high mechanical properties.

POLIURETĀNA PĀRKLĀJUMI AR SAMAZINĀTU DEGAMĪBU UZ FOSFORU SATUROŠU POLIOLU BĀZES

POLYURETHANE COATINGS WITH REDUCED FLAMMABILITY BASED ON PHOSPHORUS-CONTAINING POLYOLS

Vladimirs Jakušins*, Arnis Āboliņš, Marija Misāne, Dzintra Vilsone,

Irīna Sevastjanova, Andris Avots

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija
Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

* yakushin@edi.lv

Lai samazinātu poliuretānu pārklājumu degamību, izpētīta un izstrādāta metodika fosfātu grupu saturošu poliolu sintēzei no rapšu un linellās. Fosfātu grupu klātbūtne poliolā ir apstiprināta ar IS un ³¹P KMR spektru datiem. No sintezētajiem polioliem izgatavoti poliuretānu pārklājumi. Pārklājumu raksturošanai izmantoti stiepes mehāniskie testi, termogravimetriskā analīze, diferenciāli skanējošā kalorimetrija un koniskā kalorimetra testi. Salīdzinot mehāniskās, termiskās un degamības īpašības poliuretānu pārklājumiem no polioliem, kas tika iegūti pie dažādiem sintēžu parametriem, konstatēts, ka, pateicoties fosfātu triesteru un pirofosfāta monoestera klātbūtnei, pārklājumiem uz linellās poliola bāzes ir labāki raksturojumi, ja fosforilēšana ar H₃PO₄ notiek izopropanola kā šķīdinātāja klātbūtnē (IPA polioli). Izpētīta tipiska uzbriestošo antipirēnu ietekme uz fosfātu grupu saturošo poliuretānu pārklājumu īpašībām. Noteikts, ka vislielāko poliuretānu pārklājumu degamības samazināšanu var sasniegt, izmantojot kā papildu antipirēnu izpletošo grafītu EG-290. Amonija polifosfāta un melamīna ietekme uz fosfātu grupu saturošo poliuretāna pārklājumu degamību ir krietni mazāka.

Poliuretānu pārklājumi uz poliolu bāzes, kas sintezēti no taukskābes saturošām augu eļļām, izceļas ar augstiem mehāniskiem raksturojumiem, labu adhēziju un izturību dažādās vidēs [1]. Tie tiek plaši izmantoti koka aizsardzībai. Lai samazinātu poliuretānu pārklājumu degamību, jāpielieto dažādi antipirēni. No tiem pietiekoši efektīvi ir uzbriestošie (*intumescent*) antipirēni, kas termiski sadalās un uzpūšas [2].

Šajā darbā izpētīta cita metode poliuretānu degamības samazināšanai. Tā ir fosforu saturošu poliolu sintēze no augu eļļām. Lai iegūtu šo poliolu, vispirms eļļa tiek epoksidēta un pēc tam fosforilēta ar fosforskābi. Salīdzinātas īpašības poliuretānu pārklājumiem, kuri iegūti no sintezētiem rapšu un linellās fosfātu grupu saturošiem polioliem. Lai sasniegtu vēl lielāku uguns aizsardzības efektu, izpētītas fosforsaturoša poliola kombinācijas ar uzbriestošiem antipirēniem, kas termiski sadalās un izplešas. Konstatēta fosforsaturoša poliola un antipirēnu kombinācija, kura vislielākā mērā samazina poliuretānu pārklājumu degamību.

Materiāli un metodes

Poliolu sintēzei izmantoja rapšu eļļu (Iecavnieks, Latvija) un linellu (Alberdingk Boley GmbH, Vācija). Sintēze veikta divos etapas. Pirmajā etapā eļļas epoksidācijai izmantoja 35% ūdeņraža peroksīdu, skudr- vai etiķskābi un katalizatoru. Otrajā etapā epoksidēto eļļu fosforilēja ar fosforskābi. Pēc tam fosforilēto produktu neitralizēja un mazgāja. Pēc mazgāšanas produktu ietvaicēja ar rotācijas vakuuma ietvaicētāju, lai atbrīvotos no mazgāšanā lietotā šķīdinātāja.

Poliuretānu pārklājumu iegūšanai izmantoja polidifenilmetāndiizocianātu Polyisocyanate Voratec SD 100 (NCO grupu saturs – 31,5%, funkcionalitāte 2,7) no Dow Deutschland GmbH (Vācija) un toluolu kā šķīdinātāju. Lai papildus samazinātu poliuretānu degamību, izmantoja uzbriestošos antipirēnus: amonija polifosfātu Exolit® AP 422 (Clariant International Ltd, BU Additives); melamīnu 99% ALDRICH (Sigma-Aldrich Co. LLC) un izpletošos (*expandable*) grafītu EG-290 no SINOGRAPH SA, Polija.

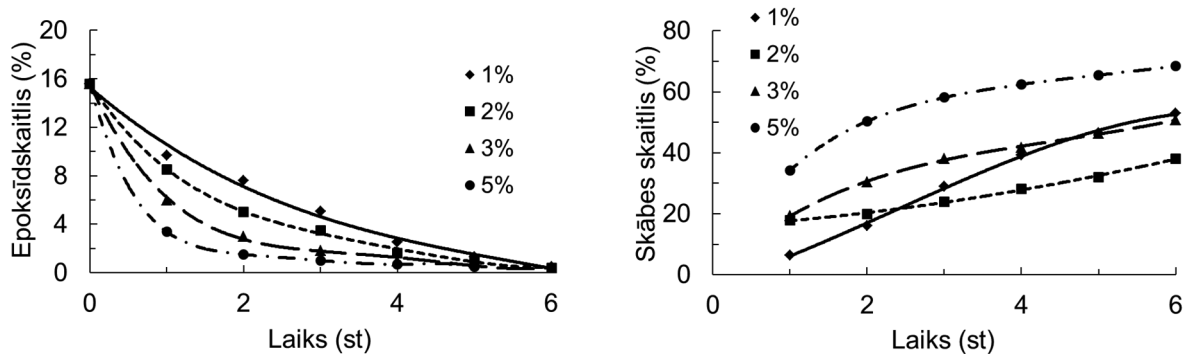
Poliolu sintēzes metodiku un iegūto poliolu īpašības, kā arī poliuretānu pārklājumu iegūšanas metodikas detalizēti aprakstītas darbos [5-8]. Iegūto poliolu ķīmisko struktūru identificēja ar IS-spektriem, izmantojot Nicolet iS50 Analytical FTIR Spectrometer and Software (Thermo Scientific Inc.) un ar ³¹P KMR spektriem, izmantojot Varian 400-MR (161.9 MHz) un programmu Mnova 11.0 (Mestrelab Research).

Poliuretānu pārklājumu savstarpējai salīdzināšanai noteica: 1) mehāniskās īpašības stiepē pēc ASTM D 882-10 standarta ar universālo raujamo mašīnu Zwick/Roell DO-FB0.5TS (500 N) ar TestXpert programmu; 2) stiklošanās temperatūru pēc ISO 11357-2:1999 standarta ar diferenciālo skanējošo kalorimetru DSC 823^e METTLER TOLEDO; 3) termisko izturību ar termogravimetriskās analīzes metodi ar TGA/SDTA 851^e METTLER TOLEDO; 4) siltuma izdalīšanās ātrumu un citus standarta raksturojumus ar koniskā kalorimetra metodi pēc LVS ISO 5660-1:2005 un ISO/TR 5660-3:2003 standartiem pie siltuma starojuma 35 kW/m², izmantojot Cone Calorimeter FTT (Fire Testing Technology Ltd). Pēdējai pārbaudei izmantoja sausas priedes koka standartu paraugus 100×100 mm ar biezumu 16 mm un tiem uzklātu poliuretānu pārklājumu ar vidējo biezumu 250-300 mkm.

Rezultāti

Darba sākumā tika pētīta dažādu rapšu eļļas epoksidācijas parametru ietekme uz epoksidēto eļļu īpašībām. Mainot molāro attiecību starp rapšu eļļu, skābi un ūdeņraža peroksīdu, ūdeņraža peroksīda koncentrāciju, skābes tipu (skudrskābe vai etiķskābe), katalizatora tipu (sērskābe vai jonu apmaiņas sveķi) un katalizatora koncentrāciju, atrasti sintēzes parametri, pie kuriem var iegūt epoksidēto eļļu ar maksimālo epoksīdskaitli – 15,6%.

Pēc tam tika pētīta epoksidētās rapšu eļļas fosforilēšanas kinētika ar dažādu fosforskābes daudzumu (1, 2, 3 un 5%) un izstrādāta fosforilētā produkta neitralizēšanas un izdalīšanas metodika. Fosforilēšanas kinētikas datu analīze parādīja, ka, palielinot fosforskābes koncentrāciju, paātrinās epoksīdgrupu atvēršanas reakcija (Zīm. 1). Tomēr palielinās sintezētā poliola skābes skaitlis, kam par iemeslu varētu būt atbilstoša līdzsvara reakcijas nobīde.



Zīmējums 1. Epoksīdskaitļa un skābes skaitļa izmaiņas sintēzes laikā pie dažādām H₃PO₄ koncentrācijām. H₃PO₄ koncentrācija 1, 2, 3, 5%.

No sintezētajiem polioliem tika iegūti poliuretānu pārklājumi un veikti mehāniskie testi, termogravimetriskā analīze (TGA) un degamības testi. Pārklājumiem uz sintezētā poliola bāzes, salīdzinot ar pārklājumiem no parastā rapšu eļļas estera, konstatēts gan koksa atlikuma pieaugums TGA testā, gan degamības raksturojumu samazināšanās koniskā kalorimetra testā. Vislabākie raksturojumi bija pārklājumam no 3% H₃PO₄ poliola [5, 6]. Tomēr tie nebija pietiekami augsti fosfātu grupu trūkuma dēļ. Lai palielinātu fosfātu grupu daudzumu, kas pievienojas polioliem, tika veikta analogiska poliola sintēze no lineļļas, kura satur nesalīdzināmi vairāk dubultsaišu nekā rapšu eļļa.

Lineļļas epoksidācijai tika izmantots 35% ūdeņraža peroksīds, etiķskābe un Amberlite IR120 jonapmaiņas sveķi kā katalizators. Pie optimāliem parametriem iegūta epoksidēta lineļļa (ELO) ar epoksīdskaitli 22%. Pēc tam ELO tika fosforilēta ar dažādu fosforskābes daudzumu (1, 2, 3 un 5% masas daļa pret ELO) divu dažādu šķīdinātāju klātbūtnē: izopropanolu un dietilēnglikolbutilēteri. Turklāt, uz šo poliolu bāzes iegūtie poliuretānu pārklājumi, kā arī paši polioli ir nosaukti par **IPA** un **DGBE** pārklājumiem un polioliem. Detalizēti poliolu sintēzes un izdalīšanas metodika, kā arī epoksidēšanas un fosforilēšanas kinētikas dati ir aprakstīti [8].

Fosfātu grupu klātbūtne sintezētajā poliolā tika apstiprināta ar IS un ³¹P KMR spektru datiem. Visos poliolu IS-spektros konstatētas P=O valences vibrācijas absorbcijas josla pie 1140 cm⁻¹ un P-O-C valences vibrācijas absorbcijas joslas pie 1024 cm⁻¹ **IPA** poliola un pie 1029 cm⁻¹ **DGBE** poliola. Atšķirības poliolu struktūrā ļauj identificēt tikai ³¹P KMR spektri:

DGBE poliols ³¹P-KMR (162 MHz, d, ppm): 15.90 [O=P(OR)(OH)₂]; 1.07 [O=P(OR)₂(OH)]; 0.021 [O=P(OH)₃].

IPA polyol ³¹P-NMR (162 MHz, d, ppm): 15.90 [O=P(OR)(OH)₂]; 1.07 [O=P(OR)₂(OH)]; 0.021 [O=P(OH)₃]; -0.91 [O=P(OR)₃]; -6.7 [O=P(OH)₂-O-P(OH)₂=O].

DGBE poliola spektrā identificētas nobīdes tikai pie 15.90 and 1.07 ppm, kas pieder pie fosfātu mono- un diesteriem. **IPA**

poliola spektrā pie šīm nobīdēm identificētas vēl divas papildus nobīdes pie -0.91 un -6.7 ppm, kas pieder fosfātu triesterim un pirofosfāta monoesterim.

Pateicoties fosfātu triesteru un pirofosfāta monoestera klātbūtnei poliolā, **IPA** poliuretānu pārklājumiem konstatēta gan lielāka stiepes stiprība un elastības modulis, gan stiklošanās temperatūra (T_g), gan koksa atlikums pie 600 °C (m_{600}) pēc termiskās destrukcijas slāpekļa vidē, nekā tie paši raksturojumi **DGBE** poliuretānu pārklājumiem (1. Tabula). Koniskā kalorimetra testā **IPA** pārklājumi arī uzvedas labāk nekā **DGBE** pārklājumi. **IPA** pārklājumiem gan siltuma izdalīšanās ātruma maksimums (PHRR), gan kopējais siltuma izdalīšanās daudzums (**THR**), gan **VIDĒJAIS** efektīvais sadegšanas siltums (**mEHC**), gan masas zudumi (**ML**), gan kopējā dūmu izdalīšanās (**TSR**) bija zemāka, nekā **DGBE** un referentiem pārklājumiem. Kā referenti pārklājumi 1. Tabulā tiek prezentēti lineļlas un dietilēnglikola esteruretāna (**LDEG**) pārklājums un labākais no poliuretāna pārklājumiem uz rapšu eļļas fosfātu grupu saturoša poliola bāzes (**RE 3% H₃PO₄**). Kā redzams, izmantojot lineļļu fosfātu grupu saturoša poliola sintēzei, var sasniegt labākus rādītājus nekā ar rapšu eļļu, un pazemināt pārklājuma degamības parametrus par 15-30%.

1. Tabula. Mehāniskās un termiskās īpašības un degamības parametri poliuretānu pārklājumiem.

Polyols	RE 3% H ₃ PO ₄	LDEG	2% H ₃ PO ₄		3% H ₃ PO ₄		5% H ₃ PO ₄	
			IPA	DGBE	IPA	DGBE	IPA	DGBE
Stiprība (MPa)	52.5	37.5	50.6	29.40	49.90	35.4	39.7	33.8
Modulis (MPa)	1800	1350	1600	1100	1570	1150	1170	1060
T _g (°C)	68.0	56.4	65.6	56.2	67.0	58.3	62.9	60.1
m ₆₀₀ (%)	16.6	18.0	25.2	17.8	20.0	18.8	19.5	17.2
PHRR [kW/m ²]	386	411	260	255	236	257	228	277
THR [MJ/m ²]	140	141	127	127	119	131	121	131
mEHC (MJ/kg)	15.6	15.0	13.8	13.7	13.1	14.0	13.3	14.1
ML (%)	85	90.4	86.8	87.8	86.6	87.0	86.6	86.7
TSR (m ² /m ²)	465	470	493	458	386	695	538	540

Lai pazeminātu pārklājuma degamību, vairāk tika izpētīts poliola fosfātu grupas un tipisko uzbriestošo antipirēnu kopīgais efekts. Tāpēc divos poliolos (**IPA** un **DGBE**) iemaisīti atsevišķi melamīns (**Mel**), amonija polifosfāts (**APP**) un izpletošs grafitis (**EG**) dažādās koncentrācijās (līdz 25%). Abi polioli tika iegūti ar epoksidēto eļļu fosforilēšanu ar 2% H₃PO₄, jo šādiem polioliem bija minimālais skābes skaitlis.

2. Tabula. Mehāniskās un termiskās īpašības un degamības parametri pārklājumiem ar antipirēniem.

Antipirēns	0%		25% Mel		25% APP		25% EG	
	IPA	DGBE	IPA	DGBE	IPA	DGBE	IPA	DGBE
Poliols	IPA	DGBE	IPA	DGBE	IPA	DGBE	IPA	DGBE
Stiprība (MPa)	52.0	33.2	26.5	18.1	43.7	25.0	28.7	20.1
Modulis (MPa)	1.70	1.10	2.34	1.80	2.80	1.72	3.11	3.25
m ₆₀₀ (%)	22.0	17.9	24.1	19.8	34.8	34.1	46.3	44.3
PHRR [kW/m ²]	255	260	185	255	170	224	98.0	102
THR [MJ/m ²]	120	124	110	120	109	117	56.3	81.9
mEHC (MJ/kg)	13.7	13.6	13.2	13.6	12.8	13.1	8.7	10.8
ML (%)	87.2	88.4	86.2	86.5	86.2	86.8	67.9	76.7
TSR (m ² /m ²)	522	495	245	450	770	726	73.7	84.6

Pētot poliuretānu pārklājumus konstatēts, ka to īpašības pakāpeniski palielinās vai samazinās, palielinot antipirēnu koncentrāciju. Pie 25% antipirēna satura tās sasniedz savas maksimālās vai minimālās vērtības. Lielākā daļa no tām ir prezentēta 2. Tabulā [9, 10]. Ievadot antipirēnus, var palielināt stiepes elastības moduli, un koksa atlikumu m_{600} TGA testā. Vislielākais pieaugums gan modulim, gan m_{600} tika sasniegts, ievadot **EG**. Ievadot papildus antipirēnus, lielākā daļa no degamības parametriem koniskā kalorimetra testā samazinās. No trim antipirēniem minimālo efektu deva **Mel**, kas pārsvarā pārklājumā strādā kā uzpūšanas aģents un dūmgāzu atšķaidītājs. Tikai ar **IPA** poliuretānu **Mel** rada sinerģisma efektu, samazinot arī citus degamības parametrus. **APP**, kas izpilda gan kā skābes avota, gan uzpūšanas aģenta funkcijas, efekts uz degamības parametriem ir būtiski lielāks. Tomēr **APP** ievadīšana poliuretānā būtiski veicina dūmu izdalīšanos. Bet maksimālo efektu pārklājuma degamības samazināšanai var sasniegt, ievadot **EG** poliuretānā. Turklāt visos gadījumos **IPA** pārklājumiem degamības parametri bija zemāki nekā **DGBE** pārklājumiem. Tādu efektu nodrošina fosfātu triesteru un

pirofosfāta monoestera klātbūtne **IPA** poliola. Vislielākais degamības samazināšanas efekts sasniegts, izmantojot 25% EG poliuretānu uz **IPA** poliola bāzes. Daļa no koka paraugiem ar šo pārklājumu pēc aizdegšanas un pārklājuma uzbriešanas nodziest.

Secinājumi

Izpētīta metodika augu eļļas epoksidēšanai un fosforilēšanai. Salīdzinot poliuretānu pārklājumu mehāniskās, termiskās un degamības īpašības, par labāko atzīts poliuretāns uz lineļļas fosfātu grupu saturoša poliola bāzes, kas sintezēts, fosforilējot epoksidēto lineļļu ar 2% H₃PO₄ izopropilspirta klātbūtnē (**IPA** poliols). Izstrādāts reglaments **IPA** poliola sintezēm.

Pētot poliuretānu pārklājumus uz fosfātu grupu saturošo poliolu bāzes konstatēts, ka vislielāko degamības samazināšanas efektu var sasniegt, izmantojot **IPA** pārklājumu ar 25% izpletošu grafitu EG-290.

Publikācijas

1. Yakushin V., Misane M., Bikovens O., Vilsone D., Sevastyanova I. Synthesis of trimethylolpropane esters of tall oil fatty acids and properties of polyurethane coatings on their basis. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2016, Vol.13, No.2, pp. 317-324, <http://dx.doi.org/10.1007/s11998-015-9747-3>.
2. Yakushin V., Sevastyanova I., Vilsone D., Kirpluks M. Effect of Intumescent Flame Retardants on the Properties of Polyurethanes Based on Tall Oil Fatty Acids Esters. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 2015, Vol.21, No.2, pp. 226-231, <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.21.2.5784>.
3. Yakushin V., Sevastyanova I., Vilsone D., Avots A. Effect of melamine phosphate on thermal stability and flammability of bio-based polyurethanes. *JOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering 111 (2016) 012002* 6 p. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/111/1/012002>.
4. Yakushin V., Sevastyanova I., Vilsone D., Avots A. Properties of bio-based polyurethane coatings with intumescent flame retardants. In: Proceedings 1st European Workshop "Fire Safety of Green Buildings", 6-7 October 2015, Berlin, Germany, pp. 4-7.
5. Yakushin V., Misane M., Abolins A., Vilsone D., Avots A. Properties of polyurethane coatings based on rapeseed oil phosphate polyol. In: Abstracts book "International Conference on Green Chemistry and Sustainable Engineering Rome (Italy), 20-22 July 2016", pp. 315-316.
6. Yakushin V., Misane M., Abolins A., Vilsone D., Avots A. Properties of polyurethane coatings based on rapeseed oil phosphate polyol. 2016, 4 p. http://www.scienceknowconferences.com/files/extended_abstracts/icgcse2016/Properties%20of%20polyurethane%20coatings%20based%20on%20rapeseed%20oil%20phosphate%20polyol.pdf.
7. Abolins A., Yakushin V., Vilsone D. Properties of polyurethane coatings based on linseed oil phosphate polyols. In: Book of abstracts "8th Workshop on Green Chemistry and Nanotechnologies in Polymer Chemistry, 6-8 September 2017 – Praga, Czech Republic", p. 49.
8. Abolins A., Yakushin V., Vilsone D. Properties of polyurethane coatings based on linseed oil phosphate polyols. *Journal of Renewable Materials* (akceptēta).
9. Yakushin V., Abolins A., Vilsone D., Sevastyanova I. Polyurethane coatings based on linseed oil phosphate polyol and intumescent flame retardants. In: Abstracts "6th International Conference of Biobased and Biodegradable Polymers, BIOPOL-2017, 11-13 September 2017, Mons, Belgium", 2 p.
10. Yakushin V., Abolins A., Vilsone D., Sevastyanova I. Polyurethane coatings based on linseed oil phosphate polyol and intumescent flame retardants. *Fire and Materials* (iesniegta).

POLYURETHANE COATINGS WITH REDUCED FLAMMABILITY BASED ON PHOSPHORUS-CONTAINING POLYOLS

Vladimirs Yakushin*, Arnis Abolins, Maria Misane, Dzintra Vilsone,

Irina Sevastyanova, Andris Avots

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

**yakushin@edi.lv*

To decrease the flammability of bio-based polyurethane (PU) coatings, phosphorus-containing polyols from rapeseed and linseed oils were synthesized. Synthesizing polyols, the seed oil was firstly epoxidized using hydrogen peroxide (H_2O_2), formic ($HCOOH$) or acetic (CH_3COOH) acids and a catalyst, and then phosphorylated with phosphoric acid (H_3PO_4). Varying molar ratios of the oil (unsaturated bonds) to H_2O_2 and $HCOOH$, synthesis conditions were established, at which epoxidized rapeseed oil with the maximum epoxy value (15.2%) was obtained.

The epoxidized rapeseed oil was phosphorylated with different amounts of phosphoric acid (H_3PO_4) (1, 2, 3 and 5%). After the neutralization and washing, polyols were distilled using a vacuum rotary evaporator. Based on rapeseed oil phosphate polyols, PU coatings were prepared and their properties were studied.

The properties of PU coatings were investigated using the tensile test according to ASTM D 882-10, thermal gravimetric analysis (TGA), and differential scanning calorimetry (DSC) using TGA/SDTA 851e and DSC 851e Mettler Toledo. The fire behaviour of wood samples with PU coatings was studied using a FTT Cone Calorimeter (Fire Testing Technology Ltd.). Testing was performed according to ISO 5660-1:2015 at a heat flux of 35 kW/m².

The effect of phosphate groups on the flammability of coatings based on rapeseed oil phosphate polyols was not so pronounced. To achieve a potentially greater effect, the linseed oil (LO), the iodine value of which is higher than that of rapeseed oil, was used in subsequent studies. Using 35% H_2O_2 , acetic acid and ion exchange resin Amberlite IR-120 H as the catalyst, epoxidized LO (ELO) with a much higher epoxy value (22.0%) was obtained. Phosphorylation of ELO with phosphoric acid was performed in the presence of isopropyl alcohol (IPA polyol) or diethylene glycol butyl ether (DGBE polyol).

The presence of phosphate groups in polyols was confirmed by Fourier Transform Infrared (FTIR) and ³¹P Nuclear Magnetic Resonance (NMR) spectra. FTIR spectra had the absorption bands of the P=O stretching vibration at 1140 cm⁻¹ and the P–O–C stretching vibration at 1024 cm⁻¹ for IPA polyol and 1029 cm⁻¹ for DGBE.

The IPA polyol ³¹P NMR spectrum, besides the shifts at 15.90 and 1.07 ppm, assigned to phosphate mono- and diesters, like in the DGBE polyol spectrum, had two more signals at -0.91 and -6.7 ppm, related to phosphate triester and pyrophosphate monoester. Due to the presence of phosphate triester and pyrophosphate monoester in the polyol, the IPA PU coatings had higher tensile strength and char residue at 600 °C in the TGA test. The main parameters of the flame retardancy of coatings, based on the linseed oil phosphate polyols, were increased, but only up to 15-30%. To further enhance the flame retardancy of coatings, additional intumescent flame retardants were used: ammonium polyphosphate (APP), grade Exolit® AP 422, Melamin 99% ALDRICH (Mel) and expandable graphite, grade EG-290 (SINOGRAPH SA, Poland).

The effect of Mel loading in DGBE coatings was not so significant. In IPA coatings, due to the synergism of Mel and phosphate groups of phosphate triester and pyrophosphate monoester with the addition of Mel, not only total smoke release (TSR), but also peak of heat release rate (PHRR), mass loss (ML), total heat release (THR), mean heat release rate (mHRR), mean effective heat of combustion (mEHC) and maximum average rate of heat emission (MARHE) of filled IPA coatings decreased, compared to the case of neat coatings. The effect of APP was stronger; however, the decrease of most of flammability parameters for filled IPA and DGBE coatings was accompanied by a significant increase of TSR, and CO and CO₂ yield (COY and CO₂Y).

The most effective additive for these coatings was EG-290. Using EG-290, it was possible to drastically reduce not only the PHRR, THR, ML, mHRR, mEHC and MARHE but also TSR of wood samples with PU coatings. The IPA coatings filled with 25 wt% of EG-290 showed the best flame retardant properties due to the presence of phosphate triester and pyrophosphate monoester in the IPA polyol structure.

LAPU KOKA BLAKUSPRODUKTU MEHĀNISKI-ĶĪMISKĀS FUNKCIONALIZĒŠANAS PAŅĒMIENA IZSTRĀDE KOKSNES POLIMĒRA KOMPOZĪTA UZ RECIKLĒTA POLIMĒRA BĀZES IEGUVEI

MECHANOCHEMICAL FUNCTIONALIZATION METHOD OF HARDWOOD PROCESSING WASTES FOR OBTAINING WOOD POLYMER COMPOSITE BASED ON RECYCLED POLYMER

**Galija Šulga*, Brigita Neiberte, Anrijs Verovkins, Jevgenijs Jaunslavietis, Sanita Vītolīna,
Tālrīts Betkers, Sandra Livča, Jūlija Brovķina, Vadims Šakels, Olga Aniskeviča**

*Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija
Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia*

** shulga@junik.lv*

Darba mērķis bija pilnveidot amooksidēšanas paņēmienu, izmantojot mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas pieeju, lapu koka blakusproduktu kā pildvielas izmantošanai kompozītmateriāla ieguvei ar uzlabotām īpašībām uz reciklētā polimēra bāzes. Kā lapu koka pārstrādes produkti tika izvēlētas baltalkšņa zāģskaidas un mizas no SIA „Saules-1”. Mehāniski-ķīmiskās funkcionalizēšana tika veikta planetārās lodīšu dzirnavās ūdens amonjaka un amonija persulfāta klātbūtnē. Tika izpētīta mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas režīma parametru (ātrums, laiks) ietekme uz amooksidēto daļiņu iznākumu, slāpekļa saturu un to komponent- un frakcionālsastāvu, kā arī uz hidrofobām īpašībām. Modificējot sulfātlignīnu (Kehra, Igaunija) ar dabisko polimēramīnu ūdens vidē tika iegūts jaunais starpfāžu modifikators, kas ļāva paaugstināt adhēzijas mijiedarbību starp reciklēto polimērmatrixu un koksnes mikrodaļiņām kompozītmateriālā. Tika konstatēts, ka mehāniski-ķīmiskās modificēšanas pieeja baltalkšņa blakusproduktu funkcionalizēšanai desmitkārtīgi un vairāk samazina amooksidēšanas ilgumu, pazemina reaģentu un ūdens patēriņu salīdzinājumā ar koksnes amooksidēšanas metodi, kas tika izstrādāta Valsts Pētījuma Programmā (NatRes). Sagatavotie koksnes-polimēra kompozītparaugi uz otrējā polipropilēna bāzes, kas tika pildīti ar funkcionalizētajām skaidu un mizu mikrodaļiņām, gan bez izstrādātā starpfāžu modifikatora, gan tā klātbūtnē, raksturojās ar paaugstinātām mehāniskajām īpašībām un samazinātu ūdens sorbciju salīdzinājumā ar kompozītiem, kas kā pildvielu satur izejas blakusproduktus.

Latvijā ir ļoti liels daudzums koksnes pārstrādes blakusproduktu, kā arī polimēru atkritumu, kurus ir iespējams izmantot jaunu produktu ar pievienoto vērtību ieguvei. Viens no to atkritumu perspektīvākiem izmantošanas veidiem, kas atbilst bioekonomikas principiem, no mūsu viedokļa, ir koksnes-polimēra kompozītmateriālu ieguve. Otrreizējo polimēru, kuru apjoms Latvijā sastāda 700 000 t ik gadu, izmantošanas iespējas kopā ar koksnes blakusproduktiem ļaus būtiski samazināt apkārtējās vides piesārņojuma problēmas, tajā skaitā CO₂ koncentrāciju gaisā. Koksnes-polimēra kompozīti atraduši plašu izmantošanu tautsaimniecībā būvmateriālu, apšuvuma, žogu, mēbeļu, sadzīves preču ražošanā. Galvenais trūkums lignocelulozes pildvielām ir to sliktā savietojamība ar sintētiskiem polimēriem. Lai paaugstinātu savietojamību starp lignocelulozi un otrreizējo polimēru kompozītos, darbā tika ielānots pilnveidot amooksidēšanas metodi, izmantojot mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas pieeju, kā arī radīt jaunu starpfāžu modifikatoru uz Kehras celulozes rūpnīcas sulfātlignīna bāzes.

Mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas procesi ir cietvielu ķīmiskie procesi, ko ierosina mehāniskā darbība ķīmisko reaģentu klātbūtnē. To bieži lieto augstmolekulāro savienojumu modifikācijai, jo tā ir videi draudzīgāka un rentablāka salīdzinājumā ar esošajām metodēm. Atšķirībā no klasiskajām metodēm, kurās siltuma enerģija ir nepieciešama reakciju uzsākšanai, mehāniski-ķīmiskā metode ļauj ievērojami samazināt enerģijas patēriņu un veikt izmaiņas funkcionālā sastāvā daudz īsākā laikā, pie tam izmantojot kompakas reakcijas iekārtas. Iepriekš izstrādātā Valsts Pētījuma Programmā (NatRes) lignocelulozes matrices amooksidēšanas metode, neskatoties uz tās efektivitāti, tika saistīta ar divstadiju funkcionalizēšanas procesa izmantošanu un lielu procesa ilgumu, sākot ar 120 st.

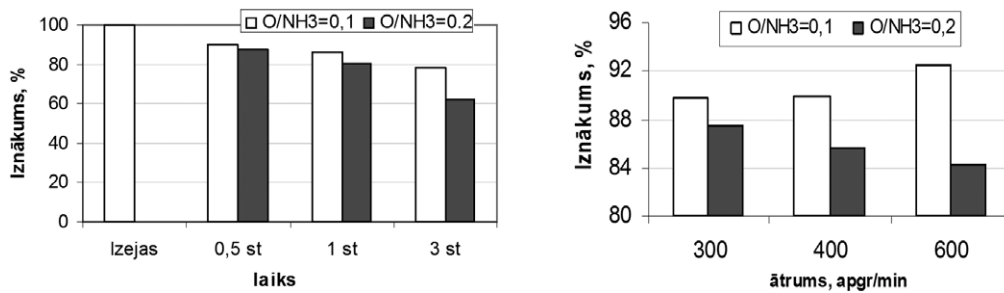
Darba mērķis bija pilnveidot amooksidēšanas paņēmienu, izmantojot mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas pieeju, lapu koka blakusproduktu kā pildvielas pielietošanai kompozītmateriāla ar uzlabotām īpašībām ieguvei.

Eksperimentālā daļa

Par koksnes blakusproduktiem izmantoja baltalkšņa koksnes skaidas un mizas no SIA „Saules-1”, kas veidojas koksnes mehāniskās pārstrādes procesā. Reciklētais polipropilēns tika izmantots kā polimēra matrica. Mehāniski-ķīmiskai funkcionalizāciju īstenoja planetārajās lodīšu dzirnavās (Retsch, Vācija) ar cirkonija oksīda bumbām. Apstrādes tehnoloģiskie parametri bija: rotācijas ātrums - 300-600 apgr/min, ilgums - 30-180 min. Ammoksidēšanu veica amonija persulfāta un amonjaka ūdens maisījumu klātbūtnē. Reaģentu maisījumu raksturoja ar attiecību (O/NH₃). Lignocelulozes element- un funkcionālo grupu saturu noteikšanai tika izmantotas klasiskās koksnes ķīmijas analīžu metodes. Iegūto funkcionalizēto daļiņu raksturojumiem tika pielietoti InoLab-3, Zetasizer Nano SZ, FTIR spektrometrs, Kruss 100M, TEM (Leo-912 AB OMEGA), SEM, utt. Jauno starpfāžu modifikatoru reprezentēja modificētais sulfātignīns, kurš tika izdalīts ar koncentrēto sērskābi no Kehras celulozes rūpnīcas melnā atsārma. Koksnes-polimēra kompozītparaugi no otrējā polipropilēna (OPP) tika izgatavoti ar divšņeku ekstrūderu un liešanas mašīnu (HAAKE MiniLab II ar MiniJet II, Thermo Scientific). Testēšanas kompozītparaugi tika izgatavoti pēc ASTM D638 un EN ISO 178 standartiem.

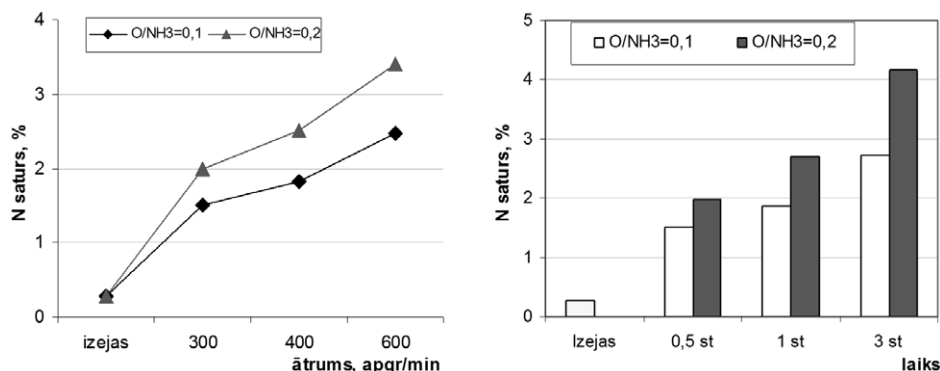
Rezultāti

Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem (Zīm.1), mehāniskās aktivēšanas ātruma no 300 līdz 600 apgr/min un laika no 0,5 st līdz 3 st palielināšana izraisa amooksidēto lignocelulozes daļiņu iznākuma samazināšana, kas ir saistīts ar lignocelulozes matricas oksidatīvo destrukciju mehāniski-ķīmiskās aktivizēšanas procesā. Tajā pašā laikā amooksidētā produkta iznākums, kas tika apstrādāts ar reaģentu maisījumu O/NH₃ = 0,1, atšķirībā no produkta, kas tika modificēts ar maisījumu O/NH₃ = 0,2, ar aktivēšanas ātruma palielināšanos pieauga no 89,8 līdz 92,5 %, kas norādīja, ka kopā ar oksidatīvajiem degradācijas procesiem lignocelulozes matricā vienlaicīgi un paralēli, noris arī radikāla rakstura polimerizācijas pārvēršanās.



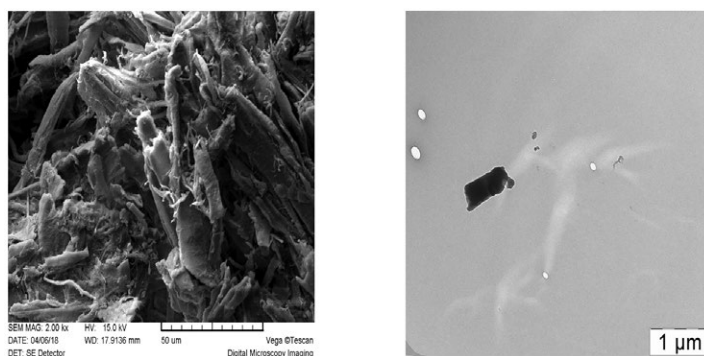
Zīmējums 1. Amooksidēto daļiņu iznākums atkarība no funkcionalizēšanas laika un ātruma

Slāpekļa daudzums lignocelulozes daļiņās ar mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas ātruma un laika pieaugumu palielinājās no sākotnējā 0,27% izejas daļiņās līdz 3,4-4,1% amooksidētās daļiņās (Zīm.2.). Iegūtie FTIR spektri parādīja, ka slāpekļis lignocelulozes matricā var veidot ne tikai amīda un imīda saites, bet arī piedalīties polimerizācijas reakcijās ar C-N-C, C-O-C saišu veidošanos un lignīna aromātisko gredzenu uzšķelšanos. Tika konstatēts, ka lignocelulozes matricas sastāvdaļu saturs būtiski mainījās, palielinoties mehāniski-ķīmiskās darbības ātrumam no 400 līdz 600 apgr/min, konkrēti, modificētās daļiņās hemiceluložu saturs strauji samazinājās līdz 10-11%, bet celulozes un lignīna relatīvais saturs palielinājās. Lignocelulozes mikrodaļiņu daudzumu ar izmēru < 100 mkm samazinājās no 72 līdz 59% ar apstrādes laika un ātruma palielināšanos, kas norādīja uz dominējošiem polimerizācijas procesiem. Iegūtās amooksidētās daļiņas TEM un SEM mikroattēli ir doti Zīm.3.



Zīmējums 2. Slāpekļa saturs funkcionalizētās daļiņās atkarībā no apstrādes ātruma un laika

Gan lignīna, kas aktīvi piedalījās radikāļu rekombinācijas procesos, paaugstinātais saturs, gan hemiceluložu satura samazināšanās iegūtos amooksidētos produktos veicināja koksnes daļiņu dzeta potenciāla pazemināšanos, to slapināšanas leņķa vērtību paaugstināšanos un adhēzijas enerģijas pazemināšanos ar aktivēšanas ātruma un laika pieaugumu no 400 līdz 600 apgr/min un no 1 st līdz 3 st, attiecīgi. Var domāt, ka amooksidēto daļiņu hidrofobitātes pieaugums bija saistīts ar izteiktajiem polimerizācijas procesiem lignocelulozes matricā un jauno kovalento saišu veidošanos.



Zīmējums 3. Amooksidētās daļiņas SEM un TEM fotogrāfijās (300 apgr/min, 0,5 st)

Lai iegūtu starpfāžu modifikatoru tika izmantots sulfātlignīns, kuru modificēja ar dabisko polimēramīnu ar Mw 400 kDa ūdens vidē. Starprobežu modifikatora aktīvo īpašību izpēte starpfāžu robežos parādīja, ka to var uzskatīt kā makromolekulāro surfaktantu, kura virsmas aktivitāte ir būtiski augstāka salīdzinājumā ar izejas lignīnu un polimēramīnu, un tā virsmas aktivitāte pieaug neitrālā vidē un ar mijiedarbības laika palielināšanos. Pielietojot lāzera gaismas izkliedes metodi, tika noteikti starpfāžu modifikatora daļiņu izmēri, kuri variēja no 195 nm līdz 637 nm atkarībā no pH un koncentrācijas.

Tabula 1. Kompozītparaugu ar uzlaboto skaidu un mizu mehāniskās izturība stiepē

Paraugs	σ , MPa	E, MPa	ϵ , %	Mitruma sorbcija, % 1000 st
Izejas skaidas	22,8	600	14,3	3,7
Amooksidētā skaidas	27,5	780	9,1	2,3
Amooksidētā skaidas ar modifikatoru	31,1	920	7,5	1,8
Izejas mizas	17,2	490	20,6	4,6
Amooksidētā mizas	21,3	530	17,5	3,2
Amooksidētā mizas ar modifikatoru	26,1	690	14,7	2,5

Kompozītmateriālu paraugu sagatavošanai ar pildījuma pakāpi 30 mas.%. izmantoja divšņeku ekstrūderu un liešanas mašīnu zem spiediena. Darba gaitā tika atrasti ekstrudēšanas un spiedliešanas tehnoloģiskie parametri (režīms): temperatūra 180°C, spiediens 450 bari, laiks 5 min. Mehāniskās testēšanas rezultāti un mitruma sorbcijas lielumi ir parādīti Tab.1. Sagatavotie koksnes-polimēra kompozītparaugi (Zīm.4.), kas tika pildīti ar funkcionalizētajām skaidu un mizu daļiņām, gan bez izstrādātā starpfāžu modifikatora, gan tā klātbūtnē, raksturojās ar paaugstinātajām mehāniskajām īpašībām un pazemināto ūdens sorbciju salīdzinājumā ar kompozītiem, kas saturēja izejas blakusproduktus.



Zīmējums 4. Kompozītparaugi, kas ir pildīti ar amooksidētajām skaidu un mizu mikrodaļiņām

Secinājumi

Noteikti optimālie parametri baltalkšņa koksnes skaidu un mizas funkcionalizēšanai ar mehāniski-ķīmiskās aktivēšanas paņēmieni. Modificējot sulfātlignīnu ar dabisko polimēramīnu, tika iegūts jaunais starpfāžu modifikators, kas ļāva paaugstināt adhēzijas mijiedarbību starp reciklēto polimērmatrixu un lignocelulozes daļiņām. Izstrādātais mehāniski-ķīmiskās funkcionalizēšanas paņēmiens desmitkārtīgi un vairāk samazina ilgumu, pazemina reaģentu un ūdens patēriņu salīdzinājumā ar amooksidēšanas metodi, kas tika izstrādāta iepriekš. Sagatavotie koksnes-polimēra kompozītparaugi uz otrējā polipropilēna bāzes, kas tika pildīti ar funkcionalizētajām skaidas un mizas mikrodaļiņām gan bez izstrādātā starpfāžu modifikatora, gan tā klātbūtnē, raksturojās ar paaugstinātajām mehāniskajām īpašībām un pazemināto ūdens sorbciju salīdzinājumā ar kompozītiem, kas saturēja izejas blakusproduktus.

Pateicības

Izsakām pateicību SIA „Saules 1” par nodrošinājumu ar koksnes blakus produktiem.

Rezultatīvie indikatori

- I. Zinātniskās publikācijas skats – 39, no tām 9 ir SCOPUS indeksētos izdevumos.
- II. Dalība starptautiskās konferencēs – 21, izstādēs – 3, kā arī COST Akcija FP 1105.
- III. Izstrādāti un aizstāvēti 2 bakalaura, 1 maģistra un 1 promocijas darbi. Vītoļņa S. Efektīva biomasas izdalīšana no finiera ražošanas hidrotermiskās apstrādes notekūdeņiem, tās raksturojums un izmantošanas iespējas. (Promocijas darbs aizstāvēts 30.05.2018, vadītāji: G. Šulga, S. Reihmane).
- IV. Saņemti: Latvijas patenti – 1, starptautiski patenti – 1, iesniegti patenta pieteikumi -1.
- V. Izstrādāta jauna tehnoloģija – 1, koksnes pildvielas - 2, starpfāžu modifikators – 1, kompozītmateriāli - 2.

Publikācijas

1. Shulga G., Neiberte B., Verovkins A., Vitoliņa S., Jaunslavietis J., Ozolins J. Short Fibre Filler from Wood Residue for Polymeric Composite Materials. *Materials Science*, 2016, 22 (3), pp. 370-375.
2. Shulga G., Neiberte B., Verovkins A., Jaunslavietis J., Shakels V., Vitoliņa S., Sedliačik J. Eco-friendly constituents for making wood-polymer composites. *Key Engineering Materials “Selected Processes at the Wood Processing”*, 2016, vol. 688, pp. 122-130.
3. Foreign Filing License US 62/312 488, 04.08.2016. Method for obtaining a lignocellulose filler for composite material. Shulga G., Neiberte B., Vitoliņa S., Verovkins A., Shakels V.
4. Jaunslavietis J., Shulga G., Ozolins J., Neiberte B., Verovkins A., Vitoliņa S., Betkers T. Surface Energetic Characteristics of Wood-Polymer Composites, Containing a Valorised Hardwood By-product. *Solid State Phenomena*, 2017, vol. 267, pp. 68-75.
5. Shulga G., Jaunslavietis J., Ozolins J., Neiberte B., Verovkins A., Vitoliņa S., Shakels V. Properties of Recycled Polypropylene Based Composites Incorporating Treated Hardwood Sawdust. *AIP Conference Proceedings of the 8th International Conference „Times of Polymers (TOP) & Composites. From Aerospace to Nanotechnology.”* Ed. A. D’Amore, D. Acierno, L. Grassia, Naples, Italy, 2016, vol. 1736. <http://dx.doi.org/10.1063/1/1/4949686>

MECHANOCHEMICAL FUNCTIONALIZATION METHOD OF HARDWOOD PROCESSING WASTES FOR OBTAINING WOOD POLYMER COMPOSITE BASED ON RECYCLED POLYMER

Galia Shulga*, Brigita Neiberte, Anrijs Verovkins, Jevgenijs Jaunslavietis,
Sanita Vitolina, Talrits Betkers, Sandra Livcha, Julia Brovkina,
Vadims Shakels, Olga Aniskevicha

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

* *shulga@junik.lv*

In the previous National Research Program (2010-2013), the wood particles used as a filler for obtaining wood-polymer composites were functionalized by the ammoxidation method, having an extensive *radical character*, under the action of reaction mixtures of ammonium hydroxide and persulphate ammonium. Despite its efficiency, the functionalization proceeded for more than 120 h and required the enhanced amount of the reagents and water. The aim of this research was to study the effect of the mechanochemical treatment of wood residues in the presence of ammonium hydroxide and persulphate ammonium on the introduced nitrogen content, the yield of the functionalized wood particles, their component- and fractional composition, as well as on their hydrophobic properties. It is known that mechanochemical processes are solid-phase chemical ones initiated by the mechanical action in the presence of chemical reagents. This approach is often used for modification of various substances, because it is environmentally friendly and cost-effective. In contrast to classical methods, in which heat energy is needed for initiating reactions, the mechanochemical method allows an essential reduction in energy consumption and carrying out modification in a much shorter time, using compact reaction facilities. Moreover, the mechanochemically treated substances, being used as a filler, have a large specific surface area and are characterised by an enhanced reactivity that is beneficial for their usage with a polymer matrix in different composites. Commonly, mechanochemical reactions are performed in the absence of organic solvents or in the presence of an insignificant quantity of water, hence, mechanochemistry complies with the requirements of “green” chemistry. In the pulp and paper industry, mechanical treatments of wood and wood-originated products are often used as a pre-treatment method.

In the research, grey alder mechanical processing by-products - sawdust and bark from “Saules-1” Company Ltd. (Latvia) were used for obtaining a lignocellulosic filler, but recycled polypropylene as a polymer matrix. The mechanochemical treatment in the presence of the reaction mixtures of ammonium hydroxide and persulphate ammonium with a different composition (O/NH_3) was carried out using a planetary mill “Retsch” with a rotation speed of 300-600 rpm and a modification time of 0.5-3 h. Reaction mechanism of the functionalization represented, in general, a complex set of consecutive and competitive radical reactions, having both oxidative destructive and polymerization character. With lignocellulosic matrix degradation and decreasing the amount of ether bonds and OH-groups, the formation of new amide, imide, C-N-C and other new covalent bonds were progressed. The nitrogen content in the treated microparticles, with increasing speed of the ball mill from 300 to 600 rpm and the milling duration from 0.5 h to 3 h, increased from to 3.4% and 4.2% , while its content in the initial wood residue did not exceed 0.3%. Basing on the obtained results, the optimal functionalization parameters for the lignocellulosic by-products were found. The modification of sulphate lignin derived from a black liquor of Kehra pulp and paper mills with a biopolymer, containing amine groups, in aqueous medium resulted in the obtaining of a new interfacial modifier, which allowed to increase the adhesion between recycled polypropylene and lignocellulosic particles. The developed mechanical-chemical functionalization method reduced the reaction duration by ten times and more, as well as dropped the reagents and water consumption, compared to the previously developed method of ammoxidation. The prepared wood-polymer composite samples filled with the functionalized chips and bark microfibrils both in the presence of the developed interfacial modifier and without it were characterized by the increased mechanical properties (tensile, bending) and the reduced water sorption compared to the composites contained the by-products.

MULTIFUNKCIONĀLIE OGLEKĻA MATERIĀLI UZ KOKSNES BĀZES SUPERKONDENSATORA ELEKTRODIEM

MULTIFUNCTIONAL WOOD-BASED CARBON MATERIALS FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODES

Galina Dobeļe*, Aleksandrs Volperts, Lilija Jašina, Dmitrijs Djačkovs, Aivars Žūriņš

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija
Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia
*gdobeļe@edi.lv

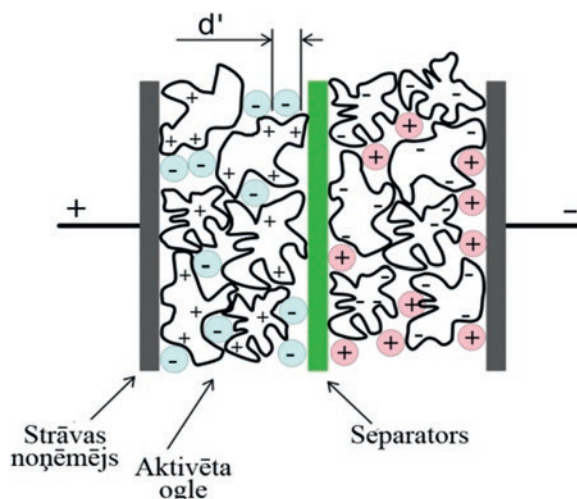
Nanoporainie oglekļa materiāli ieņem vienu no vadošajām vietām perspektīvo nanomateriālu vidū, starp tiem dažādās stratēģiskās elektronikas un enerģētikas nozarēs. Pētījumā izstrādāti oriģinālas tehnoloģijas pamati augsti nanoporaino aktivēto ogļu iegūšanai termokīmiskās aktivācijas ceļā no lapu koksnes izmantošanai sorbcijai un superkondensatoru elektrodiem. Noteiktas likumsakarības starp aktivētā oglekļa iegūšanas apstākļiem, porainas struktūras parametriem un superkondensatora raksturlielumiem.

Aktivētā oglekļa (AO) lietošanas iespējām ir būtiska zinātniska un praktiska nozīme, jo nemitīgi paplašinās to izmantošanas iespējas dažādās tehnikas nozarēs, nodrošinot gan retzemju metālu membrānu sadalīšanas tehnoloģiju, gan melnās un krāsainās metalurģijas, radioelektronikas, avio un kosmiskās tehnikas, kā arī atomenerģētikas attīstības progresu.

Elektroķīmisku iekārtu ražošanas attīstība, izmantojot nanoporainus materiālus (NOM), ir priekšnoteikums ilgtspējīgu ekoloģiski tīru tehnoloģiju izstrādei, kas savukārt nodrošina dažādu tehnisku nozaru attīstību ar minimālu enerģijas patēriņu [1]. Šajā ziņā perspektīvi ir no atjaunojamās augu valsts izejmateriāliem iegūtie NOM, ņemot vērā to zemo pašizmaksu, salīdzinot ar fullerēniem, nanocaurulēm un nanošķiedrām. Jaunu oglekļa materiālu struktūru atklāšana bija nevis iepriekš ieprogrammēts process, bet nesaņēmu eksperimentu rezultāts. Iespējama iemesls tam ir daudzu nenovērtēto faktoru ietekme.

Fundamentālu un tehnoloģisku uzdevumu risināšanai nepieciešams izpētīt porainās struktūras veidošanās mehānismu un likumsakarības, kas dos iespēju iegūt materiālus ar nepieciešamajām īpašībām.

Sākot no pagājušā gadsimta 80. gadiem, augsti porainos NOM izmanto ne tikai sorbcijas tehnoloģijās, bet arī uzdevumu risinājumos, kas saistīti ar elektriskās enerģijas akumulēšanu un nodošanu patērētājiem, neizmantojot elektriskās enerģijas barošanas avotus, kā arī nodrošinot enerģijas patēriņa kompensāciju piķa stundās. Vienu no vadošajām pozīcijām šo uzdevumu risināšanā ieņem elektroķīmiskie enerģijas uzkrājēji ar dubulto elektrisko slāni – superkondensatori (SK) [2]. Lādiņa akumulēšana un uzglabāšana elektroķīmiskajos kondensatoros notiek dubultajā elektriskajā slānī (DES), kas veidojas uz fāžu elektrods/elektrolīts sadales robežvirsmas, tāpēc elektrodu materiālam ir jāatbilst vairākiem kritērijiem, tādiem kā zems blīvums, elektrovadītspēja, attīstīta īpatnējā virsma un porainās struktūras pielāgotība elektrolīta joniem un molekulām (Zīm.1.).



Zīmējums 1. SK darbības principi

Pamats OM izmantošanai SK elektrodiem ir virkne unikālu oglekļa īpašību: augsta vadītspēja, attīstīta īpatnējā virsma, izturība pret koroziju, augsta temperatūras izturība, iespēja regulēt īpatnējo virsmu un porainās struktūras parametrus sintēzes procesā, ekspluatācijas parametri un iespējas izmantot kompozītmateriālu sastāvā, relatīvi zema pašizmaksa [3]. Pašlaik valdošā tendence pasaulē ir pāreja uz atjaunojamiem energoresursiem, kā arī atjaunojamiem izejvielu resursiem un to maksimāli efektīva izmantošana atlecas arī uz AO iegūšanu. Arvien lielāka interese ir šiem mērķiem kā izejmateriālu izmantot atjaunojamam augu valsts produktam, it īpaši to pārstrādes atlikumiem. Tajā pašā laikā augsts porainu AO iegūšanas metožu lietošana lignocelulozes un koksnes pārstrādes atkritumiem vēl nav pilnībā izpētīta.

Pētījuma mērķis ir iegūt nanoporainu aktivētu ogli no koksnes superkondensatoru elektrodiem ar aprotonu elektrolītu, izmantojot termokīmiskās aktivācijas metodi ar sārmu, izpētīt iegūtās aktivētas ogles struktūru un elektroķīmiskās īpašības.

Ekspierimentālā daļa

Materiāli: kā izejmateriāli tika izmantoti baltalkšņa un bērza koksnes mehāniskās pārstrādes atlikumi un kokogle.

Aktivētas ogles sintēze: galvenā stadija ir ķīmiskā aktivācija ar nātrija hidroksīdu. AO iegūšana no koksnes sastāv no šādiem etapiem: 1. karbonizācija; 2. malšana; 3. impregnēšana ar sārmu; 4. aktivācija; 5. demineralizācija. AO iegūšanai izmanto divu stadiju termiskās apstrādes. Sintēzes pirmajā stadijā (karbonizācija) izejvielu uzkaršēja līdz 375–500 °C un izturēja šajā temperatūrā 90–120 min. Nākamajā procedūrā – koksnes karbonizāta vai kokogles impregnēšana ar 50 % sārma šķīdumu (sārma attiecība pret karbonizātu K no 4 līdz 1). Aktivāciju veica krāsni pie 600–800 °C, ilgums 120 min, argona plūsmā.

Poraina struktūra: Īpatnējā virsma (m/g^2), poru tilpums (mm^3/g) un izmēri (nm) tiek noteikti pēc slāpekļa adsorbcijas izotermām ar sorptometru Quantachrome Nova 4200e (ASV), adsorbcijas gāze – slāpeklis. Vakuuma degazācija, temperatūra 300 °C.

Superkondensatora elektrodi: elektrodu testēšana tika veikta, lietojot galvanostatisko uzlādēšanas-izlādēšanas metodi ar 1 M $(C_2H_5)_4NBF_4$ šķīdumu acetnitrilā vai propilēnkarbonātā.

Rezultāti

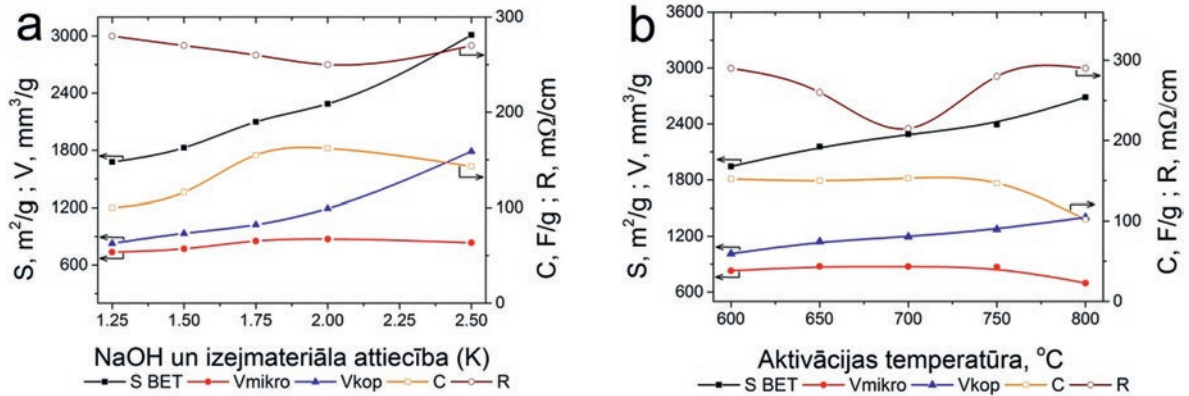
Lai novērtētu AO īpašību ietekmi uz SK raksturlielumiem, tika veikti vairāki eksperimenti, lai noteiktu perspektīvus sintēzes ceļus augstāku SK īpatnējās kapacitātes un jaudas rādītāju sasniegšanai. Ir noskaidrots, ka [4] AO, kas iegūts no bērza vai baltalkšņa koksnes, piemīt praktiski identiskas porainās struktūras īpašības, un var uzskatīt, ka abas koksnes šajos pētījumos ir savstarpēji aizvietošanas.

Oglekļa elektrodiem, darbojoties ūdens elektrolīta vidē, darba sprieguma limits ir mazāks par 1 V. Pāreja uz organiskiem elektrolītiem dod iespēju palielināt darba spriegumu līdz 3 V, tomēr līdz ar to strauji samazinās elektrolīta īpatnējā elektrovadītspēja un attiecīgi palielinās kondensatora iekšējā pretestība, kas savukārt rada īpatnējās kapacitātes samazināšanos.

Izmantojot divu stadiju termokīmisko sintēzi uz koksnes bāzes (1. stadija – karbonizācija 400 °C temperatūrā, 2. stadija – aktivācija), tika iegūti AO ar dažādu NaOH masas attiecību pret karbonizātu. Tika noskaidrots, ka porainā struktūras AO uz komerciālās baltalkšņa kokogļu bāzes (SIA „Fille 2000”) un aktivētās identiskos apstākļos ar koksnes karbonizātu bija vienādas. Salīdzinoši lētās komerciālās kokogles ar stabilām īpašībām izmantošana tiek izskatīta triju iemeslu dēļ: pirmkārt, tehnoloģiski tas ļauj procesu saīsināt līdz vienai stadijai, otrkārt, tas ļaus izmantot vietējo pieejamo izejmateriālu, lai sintezētu produktu ar augstu pievienoto vērtību, treškārt, tas ir materiāls ar stabilām īpašībām, kas iegūts Latvijā izstrādātā ražošanas ciklā un lielos apjomos.

Lai izpētītu elektroķīmiskās īpašības un izmantošanas iespējas no iegūtas AO, tika izgatavoti elektrodi un veikti SK testa mēģinājumi ar organisko elektrolītu. Elektrodus piesūcināja vakuumā ar 1 M tetraetilamonija tetrafluorborāta ($TEABF_4$) šķīdumu. Kā šķīdinātājus izmantoja acetnitrilu un propilēnkarbonātu. Testu mērķis bija noteikt apstākļus, kas nodrošinātu augstu SK īpatnējās jaudas raksturlielumu vienlaicīgi ar augstu lietderības koeficientu un zemiem omiskiem zudumiem. AO, kas tika iegūta no koksnes, pie attiecības $K = 1,25$ (aktivācijas temperatūra 600 °C) ir optimālas SK elektrodiem, kuros kā elektrolītu izmantoja 4,9 M sērskābes šķīdumu [5], bet SK kapacitāte ar organisko elektrolītu, izmantojot AO, kas iegūta šos apstākļos, bija tikai 100 F/g. Acīmredzot, SK ar organisko elektrolītu dotā attiecība K nedod iespēju izveidot nepieciešamo poraino struktūru, lai veidotos efektīvs DES.

AO, kas paredzētas darbam ūdens elektrolītā ar samērā maziem jonu izmēriem, vajadzība pēc ievērojamiem mezoporu tilpumiem nav tik būtiska, bet elektrolītiem uz jonu šķīdumu bāzes poru izmēri spēlē noteicošo lomu stēriskā faktora dēļ, kas saistīts ar lielākiem jonu izmēriem.



Zīmējums 2. Porainās struktūras parametru un elektroķīmiskās īpašību izmaiņu likumsakarības a) AO, kas iegūtas 700 °C temperatūrā, variējot K attiecības; b) AO, kas iegūtas pie attiecības $K = 2$, variējot aktivācijas temperatūru. S_{BET} -kopējais virsma slaukums, V_{mikro} - mikroporu tilpums, V_{total} - kopējais poru tilpums, R - pretestība un C - SK šūnas elektriskā kapacitāte.

Kā izriet no Zīm.2, aktivatora daudzuma palielināšana līdz $K = 2$ pozitīvi ietekmē SK elektroķīmiskos parametrus un nodrošina augstāku īpatnējo SK kapacitāti (vairāk nekā 160 F/g), samazinot omiskos zudumus. Vadoties no šī secinājuma, turpmākos pētījumus, kas saistīti ar aktivācijas temperatūras ietekmi, veicām pie $K = 2$. Īpatnējais tilpums un poru virsma pieaug, veicot aktivāciju temperatūrā no 600 °C līdz 800 °C ($K = 2$) (Zīm.2b.). Līdz 750 °C mikroporu tilpums un kapacitāte praktiski nemainās. Aktivācija 800 °C temperatūrā rada mikroporu apjoma samazināšanos AO struktūrā, acīmredzot saistībā ar poru sienīņu sabrukumu un mazo poru apvienošanos lielākās porās. AO elektrodu pretestība samazinājās, paaugstinot temperatūru no 600 °C un sasniedzot minimumu 700 °C, bet tad vērojams tās pieaugums.

Tabula 1. Raksturlielumu salīdzinājums SK ar dažiem AO un oglekļa audumu elektrodiem (1 M (C₂H₅)₄NBF₄/acetoniitrils elektrolīts) [6]

AO paraugi	Īpatnējā kapacitāte, F/g	Pretestība, mOhm/cm 170–200 s	Īpatnējā enerģija (sausā ogle), Wh/kg Izlādēšana		Īpatnējā enerģija (sausā ogle + elektrolīts), Wh/kg Izlādēšana		Efektivitāte, % pie strāvas		
			170–200 s	8–10 s	170–200 s	8–10 s	150 mA/cm ²	12 mA/cm ²	
DLC SUPRA 30 (Norit, Holande)	86	250	18,3	16,3	8,7	7,7	n. a.	94	
YP 50 (Kuraray, Japāna)	102	512	21,9	15,5	10,7	7,6	55	89	
YP 80 (Kuraray, Japāna)	102	318	21,8	18,3	9,3	7,8	80	95	
V2 (Energ2, ASV)	104	276	22,3	19,6	12,4	10,9	75	99	
P2 (Energ2, ASV)	111	264	23	21,1	9,7	8,9	90	98	
XH-001W (Ķīna)	143	290	30	23,7	15,2	12,1	82	97	
AO 700°C	K = 1,5	116	334	22,9	17,6	12,6	9,7	67	85
	K = 2,0	164	250	33,94	27,59	15,2	12,4	75	96
	K = 3,0	156	348	32	19,2	13,1	7,9	60	78

Tādējādi mikroporu tilpuma un SK īpatnējās kapacitātes samazināšanos atkarībā no aktivācijas temperatūras novēro augstākajā aktivācijas temperatūrā 800 °C. Maksimālu kapacitāti sasniedz AO, kas iegūtas pie $K = 2$, un tas praktiski nemainās 600–750 °C aktivācijas temperatūras diapazonā (Zīm.2b.). Tabulā 1. tika salīdzināti SK elektroķīmiskie rādītāji iegūtiem un komerciāliem AO.

Eksperimentu laikā šūnas tika pētītas galvanostatiskajā režīmā, kurā izlādes laiks bija 8–10 s un 170–200 s. Variants 8–10 s

ir tuvs reāliem dzīves apstākļiem, piemēram, automobiļa bremzēšanas enerģijas rekuperācijai. Ilgāks izlādes laiks (170–200 s) ļauj novērtēt maksimālu SK kapacitāti, jo tādā gadījumā šis raksturlielums netiks limitēts ar strāvas stiprumu. Tika noteikts, ka aktivācija pie $K = 1,5$ (700 °C) rada zemas īpatnējās kapacitātes, paaugstinātas elektriskās pretestības un zema lietderības koeficienta veidošanos. Izpētītajos AO paraugos visaugstākos kapacitātes rādītājus uzrāda AO paraugs, kas tika iegūts 700 °C aktivācijas temperatūrā pie sārma attiecības $K = 2$. Izmantojot šo AO paraugu, ieguva SK šūnas rādītājus, kas ir pielīdzināmi komerciālo AO. AO ar K , kas ir augstāks par 2, piemīt diezgan augstvērtīgi raksturlielumi pārrēķinot uz ogle masu. Tomēr, pateicoties būtiskam mezoporu tilpumam, SK raksturlielumi, pārrēķinot uz summāro ogle + elektrolīta masu, izrādās mazāk efektīgi.

Secinājumi

1. Izpētīta principiāla iespēja un izstrādāti oriģinālas tehnoloģijas pamati nanoporaino aktivēto ogļu iegūšanai termokīmiskās aktivācijas ceļā no lapu koksnes un kokogles.
2. Novērtēti un optimizēti pirmsapstrādes un aktivācijas režīmi, to ietekme uz materiāla poraino struktūru, iegūstamo oglekļa adsorbentu īpašībām un iespējamo izmantošanu superkondensatoros.
3. Noteikti optimālie koksnes termokīmiskās aktivācijas apstākļi aktīvo ogļu porainās struktūras veidošanai un adsorbcijas īpašībām, kas nepieciešami elektriskā dubulta slāņa veidošanai superkondensatoru elektrodos.
4. Noteiktas likumsakarības starp aktivēto ogļu iegūšanas apstākļiem, porainas struktūras parametriem un superkondensatora ar organisko elektrolītu raksturlielumiem. Izmantojot TEABF₄/acetoniitrila elektrolīta un NOM (iegūts - aktivācija 700°C, sārma attiecība $K=2$) ar īpatnējo poru tilpumu 1190 mm³/g un īpatnējo virsmu 2290 m²/g, kapacitāte sasniedza 164 F/g, enerģija – 15,2 Wh/kg.

Literatūra

1. G. Dobeles, A. Volperts, and L. Jašina, "Nanoporainie Oglekļa Materiāli Uz Koksnes Un Lignoceluložu Bāzes," in "Vietējo resursu (zemes dziļi, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes), 2013, pp. 131–134.
2. M. Inagaki, H. Konno, and O. Tanaike, "Carbon materials for electrochemical capacitors," *J. Power Sources*, vol. 195, no. 24, pp. 7880–7903, 2010.
3. E. Frackowiak, "Supercapacitors based on carbon materials and ionic liquids," *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 17, no. 6, pp. 1074–1082, Oct. 2006.
4. G. Dobeles, D. Vervikishko, A. Volperts, and N. Bogdanovich, "Characterization of the pore structure of nanoporous activated carbons produced from wood waste," vol. 67, no. 5, pp. 587–594, 2013.
5. G. Dobeles, A. Volperts, A. Zhurinsh, D. Vervikishko, E. Shkolnikov, and J. Ozolinsh, "Wood based activated carbons for supercapacitor electrodes with sulfuric acid electrolyte," *Holzforschung*, vol. 71, no. 7–8, pp. 591–598, 2017.
6. A. Volperts, G. Dobeles, A. Zhurinsh, D. Vervikishko, E. Shkolnikov, and J. Ozolinsh, "Wood-based activated carbons for supercapacitor electrodes with a sulfuric acid electrolyte," *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Mater.*, vol. 32, no. 4, 2017.

MULTIFUNCTIONAL WOOD-BASED CARBON MATERIALS FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODES

Gaļina Dobeļe*, Aleksandrs Volperts, Lilija Jāšina, Dmitrijs Djačkovs, Aivars Žūriņš

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

**gdobeļe@edi.lv*

The application of activated carbon (AC) and its various modifications is of significant scientific and practical importance since use of these materials in various technological areas constantly grows – they can be applied in rare earth metals membrane separation, metallurgy, electronics, aero- and space technologies, as well as nuclear energy development. Nanoporous carbon materials are one of the most prospective nanomaterials which can be applied for various strategic solutions in field of electronics and energetics. One of the important devices for these solutions is an electric double layer capacitor or supercapacitor. Charge accumulation and preservation in electrochemical capacitors takes place in double electric layer, which forms on the electrode/electrolyte interface, thus electrode material have to meet number of requirements, such as low density, electric conductivity, and developed porous structure which should fit ions and molecules of electrolyte. The reason of AC application in supercapacitor is number of their unique properties, namely high conductivity, highly developed specific surface, corrosion resistance, high temperature tolerance, possibility to control specific surface and porous structure parameters in the process of synthesis, possibility to be used in composites, relatively low cost.

This work gives insight of the principal possibility for obtaining of nanoporous activated carbons from hardwood, and charcoal using thermochemical activation with NaOH. The process of activation consists of the following steps: 1) Carbonization; 2) Carbonizate refining; 3) Impregnation with alkali; 4) Activation; 5) Demineralization.

Synthesized materials were tested using liquid nitrogen sorption technique and used for electrodes in supercapacitors with 1M $(C_2H_5)_4NBF_4$ solution in acetonitrile electrolyte, which were tested using charge-discharge voltammetry.

Pretreatment and activation conditions were evaluated and optimized, their influence on activated carbon porous structure, properties and possibility to use in supercapacitors was elucidated. The optimal properties of wood thermochemical activation for activated carbons porous structure formation and adsorption properties, providing necessary electric double layer formation in supercapacitor electrodes.

The correlation between activated carbon synthesis parameters, porous structure and properties of supercapacitors with organic electrolytes was determined. It was found that in the case of $TEABF_4$ /acetonitrile electrolyte application of activated carbon synthesized at 700°C with alkali ratio of 1 to 2, the following characteristics were achieved: pore volume 1993 m^3/g and specific surface 2289 m^2/g which led to specific capacitance 164 F/g and power 15.2 Wh/kg.

The obtained results were compared with those for number of the best commercially available carbons and it was found, that in all cases AC synthesized at the Latvian State Institute of Wood Chemistry have the better properties for the application as electrodes in supercapacitors.

KOKSNES HIDROTERMISKĀS APSTRĀDES IETEKME UZ KOKSNES KOMPONENTIEM UN TO TĀLĀKA IZMANTOŠANA VĒRTĪGU PRODUKTU IEGUVEI

WOOD HYDROTHERMAL TREATMENT IMPACT ON WOOD COMPONENTS AND THEIR FURTHER UTILIZATION FOR HIGH- VALUED PRODUCTS

Aivars Žūriņš^{1*}, Kristīne Meile¹, Gaļina Dobeļe¹, Vilhelmine Jurkjāne¹, Ance Pļavniece¹, Linda Briede¹; Daniela Godiņa¹, Nadežda Iljina¹

¹ Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

¹ Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

* aivarsz@edi.lv

Darba mērķis bija veikt koksnes hidrotermiskās apstrādes (HTA) pētījumus, lai atdalītu hemiceluložu frakciju, un noskaidrot HTA ietekmi uz koksnes komponentu termisko konversiju un to tālākas izmantošanas iespējas vērtīgu produktu ieguvei. Konstatēts, ka tikai HTA nepietiekami palielina celulozes konversiju cukuros, tādēļ nepieciešama HTA koksnes aktivācija ar sērskābi, kā rezultātā celulozes konversija cukuros sasniedz 30-40%. Veikta pirolīzes kondensātu analīzes metožu izstrāde ar AEŠH, izpētīts pirolīzes produktu sastāvs, kā arī izstrādāta anhidrocukura levoglikozāna izdalīšanas un attīrīšanas metode ar jonu apmaiņas sveķiem.

Ievads

Latvijas tautsaimniecības nākotnes virziens ir biobāzēta ekonomika, kas balstās uz tās spēcīgākajām nozarēm – lauksaimniecību un mežsaimniecību. Biorafinēšanas koncepcijas realizācija koksnes pārstrādē nozīmē visu koksnes komponentu integrētu konversiju ķīmikālijās, degvielās un materiālos. Tās sekmīgai attīstībai nepieciešams pilnveidot un izstrādāt jaunus videi draudzīgus integrētus biorafinēšanas procesus. Viens no koksnes priekšapstrādes veidiem ir hidrotermiskā apstrāde (HTA), kurā izmanto ūdeni kā reakcijas vidi pie 150-240 °C un spiediena, kas saglabā ūdeni šķīdņā veidā. Šādā veidā var izekstraģēt hemicelulozes, kā arī nelielu daļu amorfās celulozes, lignīnu, neorganisko sāļu un ekstraktvielu, bet atlikumu pēc ekstrakcijas sauc par lignocelulozi. Līdz ar to tiek iegūta izmainīta lignocelulozes matrica un hemiceluložu šķīdums tālākai pārstrādei, lai iegūtu dažādus nišas ķīmiskos savienojumus un kokogles.

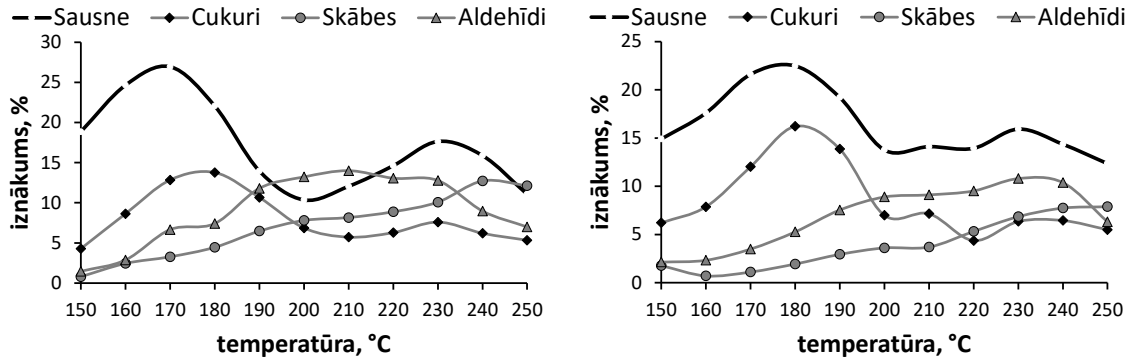
Eksperimentālā daļa

Hidrotermiskajā apstrādē kā izejvielas tika izmantotas bērza un egles skaidas, kuras tika iegūtas, attiecīgās šķēldas maļot ar Retsch SM 100 dzirnavām caur 1,5 mm sietu. Iegūtās skaidas tika frakcionētas un eksperimentiem izmantoja frakciju 0,2-0,4 mm. HTA apstrāde tika veikta augstspiediena reaktorā Parr 4554 ar 7,5 litru tilpumu, kas aprīkots ar magnētisko maisītāju un dzesinātāju, kā reakcijas vidi izmantojot demineralizētu ūdeni ar attiecību 1:15. Reaktorā vienā eksperimentā iekrāva 300 g a.s. koksnes, uzsildīšanas laiks līdz 180 °C temperatūrai bija 90 minūtes. Sasniedzot apstrādes temperatūru, tā 1 stundu tika izturēta ar precizitāti ± 2 °C. Procesa beigās maisījums 30 min laikā tika atdzesēts līdz istabas temperatūrai. Maisījumu filtrēja uz vakuuma nučfiltra un 2 reizes skaloja ar 3 L demineralizētu ūdeni. Filtrāta paraugi tika analizēti uz sausni, cukuru, aldehīdu un skābju saturu. AEŠH analīzēm izmantoja Waters Acquity UPLC iekārtu ar UPLC BEH Amide (2,1 × 100 mm, 1,7 μm) un CORTECS HILIC (2,1 × 150 mm, 1,6 μm) kolonnām. Apstrādāto materiālu izžāvēja pie 105 °C līdz konstantam svaram. Hidrotermiski apstrādāta koksne tika aktivēta izmantojot 2% sērskābes šķīdumu ūdenī, kuru uzlēja slapjai apstrādātai koksnei pēc filtrācijas, periodiski maisot izturēja 15 minūtes, pēc tam filtrēja un 5 reizes skaloja ar demineralizētu ūdeni (attiecība 1:10). Paraugi (~2 g) analītiskajai pirolīzei un termogravimetrijas pētījumiem tika samalti Retch MM200 bumbu dzirnavās.

Rezultāti

Koksnes hidrotermiskā apstrāde

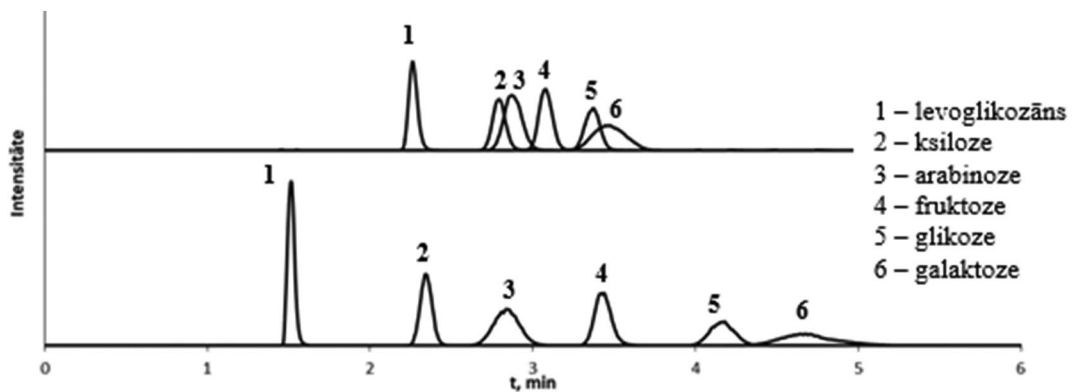
Konstatēts, ka, palielinot bērza un egles koksnes HTA temperatūru, samazinās lignocelulozes iznākums, īpaši pie temperatūrām virs 200 °C (3.attēls). Filtrātu analīze pēc HTA (1.attēls) parāda, ka maksimālo šķīdumā pārgājušo cukuru daudzumu, kas raksturo hemiceluložu izdalīšanu, bērza koksne sasniedz pie 170 °C, bet egles koksne pie 180 °C, bet pēc tam koncentrācija sāk samazināties, jo notiek to sadalīšanās, ko veicina skābā vide. Par to liecina skābju un aldehīdu kopējā daudzuma pieaugums, taču pie HTA temperatūrām virs 230°C ir novērojams ūdenī izšķīdušo vielu daudzuma samazināšanās, kas izskaidrojams ar otreizējo savienojumu kondensāciju un izsēšanos uz lignocelulozes daļiņām, kā arī savienojumu tālāku sadalīšanos līdz gāzveida produktiem.



1.attēls. Filtrātu sastāva izmaiņas atkarībā no HTA temperatūras: pa kreisi – bērzam; pa labi – eglei

Savukārt termogravimetrijas dati liecina, ka līdz ar HTA temperatūras pieaugumu krasi pieaug koksnes sadalīšanās aktivācijas enerģija, kas saistīts ar celulozes satura palielināšanos, kuras termiskajai sadalīšanai nepieciešams lielāks enerģijas daudzums, salīdzinot ar hemiceluložu daļu, kā arī šķērssiāšu veidošanos starp celulozes makromolekulām. Taču pie temperatūrām virs 190 °C aktivācijas enerģija atkal sāk samazināties, kas izskaidrojams ar celulozes un tās kristaliskās daļas izmaiņām, kā rezultātā samazinās makromolekulu polimerizācijas pakāpe un palielinās negaistošā atlikuma veidošanās.

Kopējā cukuru satura noteikšanai filtrātos tika izmantota jodometriskā titrēšana, kas ir specifiska α -diolu grupu saturošiem savienojumiem, bet ar ultra-augstefektīvo šķīduma hromatogrāfiju varēja izšķirt atsevišķus C_5 un C_6 cukurus. Filtrātos vislielākā koncentrācija bija ksilozei (līdz pat 90 % no kopējā cukuru daudzuma), bet nelielā daudzumā bija arī citi monosaharīdi kā arabinoze un glikoze. Izstrādājot AEŠH metodi cukuru noteikšanai, tika konstatēts, ka tādus epimērus kā, piemēram, ksilozi un arabinozi, var izšķirt ar HILIC tipa kolonnām, bet ne cukuru noteikšanai plaši izmantoto Amide tipa kolonnām (2. att.).



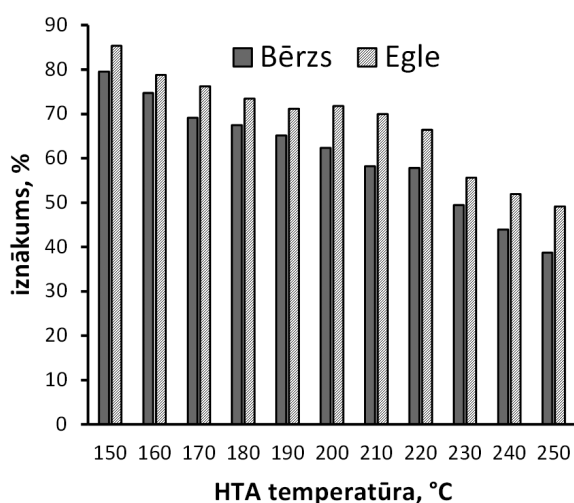
2.attēls. Cukuru maisījuma sadalīšana ar dažādām ultra-augstefektīvās šķīduma hromatogrāfijas kolonnām: augšā – BEH Amide kolonna, apakšā – CORTECS HILIC kolonna

Lignocelulozes pirolīze

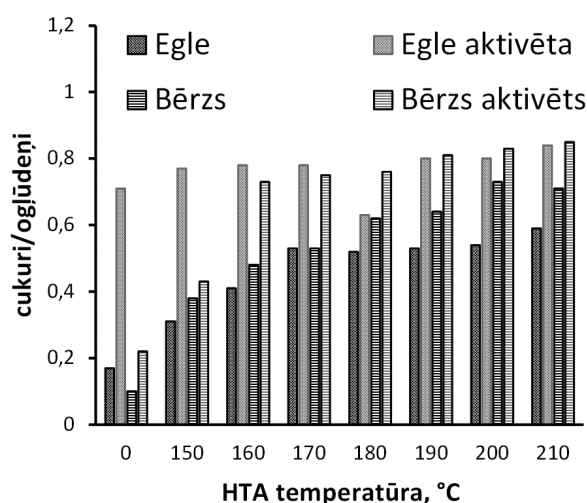
Analītiskās pirolīzes eksperimentu rezultāti liecina, ka, HTA koksnei salīdzinot ar izejas koksni, samazinās CO_2 un mazmolekulāro savienojumu, bet būtiski palielinās lignīna atvasinājumu daudzums, savukārt ogļūdeņu daudzums sadalīšanās produktos pieaug, bet pie apstrādes temperatūrām virs 190°C sāk samazināties. Tomēr līdz ar apstrādes temperatūru pieaug pirolītisko cukuru, pamatā, levoglīkozāna, iznākums, kas neskatoties uz iepriekš minēto kopējo ogļūdeņu daudzuma samazināšanos, egles koksnei palielinās 4 reizes, bet bērza koksnei palielinās 10 reizes, salīdzinot ar izejas koksni.

Tālākajos pētījumos tika veikta lignocelulozes katalītiska aktivācija ar sērskābes šķīdumu, lai pazeminātu tās termiskās sadalīšanās temperatūru un panāktu pirolītisko cukuru iznākumu 30-50% no celulozes satura, jo celulozes hidrolīzes un aktivācijas procesus viennozīmīgi nosaka hidroksionija jonu koncentrācija. Noskaidrots, ka, aktivējot HTA koksni ar sērskābi, būtiski selektīvi izmainās attiecības cukuri/ogļūdeņi, kas rezultējas augstā levoglīkozāna koncentrācijā kondensātā (4.attēls).

Lai pārbaudītu periodiska un nepārtraukta tehnoloģiskā procesa atšķirību, tika izmantots paātrinātās ekstrakcijas aparāts Dionex, kurā paraugs tika eksreagēts ar ūdeni pie attiecīgās temperatūras 3 reizes pa 5 minūtēm. Analītiskās pirolīzes rezultāti parādīja, ka cukuru iznākums, kā arī attiecība cukuri/ogļūdeņi ir ievērojami mazāks nekā periodiskajā procesā. Tas liecina, ka nepieciešams zināms laiks, lai izmainītu celulozes molekulas, kā arī, iespējams, organisko skābju, kas rodas autohidrolīzes procesā klātbūtni. Iegūtie rezultāti ļāva izdarīt secinājumu, ka nepārtrauktās darbības procesā lai panāktu tādu pašu efektu, ka periodiskās darbības aparātos būs nepieciešama daudz augstāka temperatūra, jo cukuru/ogļūdeņu attiecība 0,56 periodiskās darbības aparātā tika sasniegta režīmā 1 st un 170°C , kas ir par 20°C zemāka nekā nepārtrauktās darbības aparātā.



3.attēls. Lignocelulozes iznākums atkarībā no HTA temperatūras



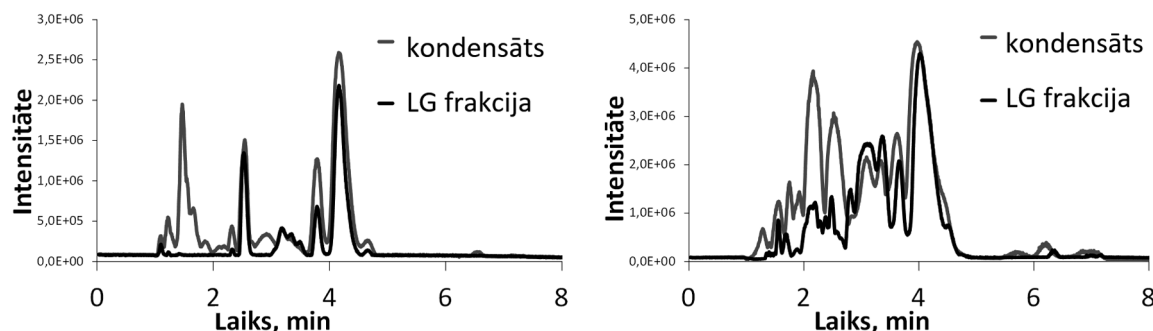
4.attēls. Attiecības cukuri/ogļūdeņi izmaiņas HTA neaktivētai un aktivētai koksnei pēc GH/MS-Py datiem.

Konstatēts, ka pie augstas atlikušās sērskābes koncentrācijas lignocelulozē tiek novērots būtisks ogļūdeņu un lignīna produktu iznākuma samazinājums, kas saistīts ar dehidratācijas reakcijām, kā rezultātā būtiski pieaug 1,4:3,6-dianhidro- α -d-glikopiranozes iznākums, kuras saturs parasti ir $\sim 0,3$ rel%, bet pie atlikušās sērskābes koncentrācijas lignocelulozē $> 0,5\%$, tas var palielināties 30 reizi. Tāpat ievērojami skābes ietekmē pieaug mazmolekulāro savienojumu (CO_2 , CH_2O , H_2O , CH_3OH) un furānu (īpaši furfurola) iznākums. Secināts, ka optimālā atlikušās sērskābes koncentrācija lignocelulozē jābūt $< 0,2\%$, kas nodrošina maksimālo cukuru iznākumu pirolīzē. Pirolīze uz pilotiekārtas $380-410^\circ\text{C}$ pārkaršeta ūdens tvaika plūsmā parādīja, ka cukuru iznākums sasniedz 30-40% no celulozes, kas apstiprina analītiskās pirolīzes rezultātus.

Pilotiekārtā iegūtos kondensējamo produktu ūdens šķīdumu, analizējot ar eksklūzijas hromatogrāfiju, kā arī AEŠH apvienojumā ar augstas izšķirtspējas masspektrometru, tika konstatēts, ka pirolīzes produktos dominēja savienojumi ar molmasām < 500 g/mol, tai skaitā levoglīkozāns (aptuveni 50 % no sausnes jeb negaistošā atlikuma) un citi anhidrocukuru monomēri ar molmasu 162 g/mol, fenolu atvasinājumi ar molmasām < 210 g/mol, mazmolekulārie gaistošie savienojumi, piemēram, etiķskābe (60 g/mol), disaharīdu atvasinājumi (410 g/mol), kā arī anhidrocukuru dimēri (324 g/mol), fenilglikozīdi (316 un 246 g/mol) un trisaharīdi (486 g/mol).

Levoglikozāna izdalīšana no pirolīzes produktiem

Noskaidrots, ka anjonu apmaiņas sveķus Lewatit 1074 OH⁻ formā var izmantot liela apjoma levoglikozāna attīrīšanai no pirolīzes kondensātiem, jo šī metode uzrādīja labus rezultātus arī automatizētajā „Sorbomate” iekārtā ar palielinātu plūsmas ātrumu. Iegūtā kristāliskā, brūnā levoglikozāna frakcija satur gandrīz 90 % levoglikozāna. 5. att. redzamas AEŠH-MS hromatogrammas, kurās salīdzināts pirolīzes kondensāta sastāvs ar no šī kondensāta iegūtu levoglikozāna frakcijas sastāvu. Atdalītajā levoglikozāna frakcijā piemaisījumu veidā daļēji paliek anhidrocukuru dimēri (piemēram, celobiozāns), atsevišķi fenoli un glikozīdi. Anjonu apmaiņas sveķu kolonna pēc noteikta laika kļūst piesātināta ar adsorbētajiem pirolīzes produktiem (galvenokārt fenoliem) un ir jāreģenerē. Noskaidrots, ka atkārtoti (vismaz 3 reizes) veicot kolonnas reģenerāciju ar NaCl šķīdumu, sorbents nezaudē savu spēju atdalīt levoglikozāna frakciju. Palielinot reģenerācijas biežumu, t.i., samazinot kondensāta apjomu, kas tiek sadalīts starp reģenerācijas reizēm, var iegūt tīrāku levoglikozāna frakciju. Metodes priekšrocība ir tā, ka netiek lietoti dārgi, videi kaitīgi organiskie šķīdinātāji.



5.attēls. Pirolīzes kondensāta un no tā iegūtās levoglikozāna (LG) frakcijas AEŠH-MS hromatogrammas: pa kreisi – negatīvā jonizācija; pa labi – pozitīvā jonizācija

Lai iegūtu augstas tīrības levoglikozānu, nepieciešams veikt pārkristalizāciju, piemēram, izmantojot etanolu. Kristalizācijai izmantojot spirtus – etanolu un metanolu, levoglikozāna iznākums bija līdzīgs 85-88 % robežās, bet ar acetonu kristalizācijas iznākums bija zem 80 %. Kristalizācijas laikā izmantojot aktivēto ogli, var nodrošināt efektīvu krāsaino piemaisījumu atdalīšanu, iegūstot baltu, kristālisku levoglikozānu ar tīrību līdz 99%.

Secinājumi

1. HTA var kalpot kā priekšapstrādes metode, lai izdalītu hemiceluložu frakciju.
2. HTA uzlabo koksnes termoķīmisko konversiju, kā rezultātā palielinās anhidrocukuru iznākums salīdzinot ar neapstrādātu koksni.
3. HTA koksnes aktivācija ar sērskābes šķīdumu selektīvi palielina cukuru iznākumu pirolīzes kondensātos un ļauj sasniegt 30-40% iznākumu no celulozes.
4. Galvenais pirolīzes produkts pēc HTA koksnes aktivācijas ar sērskābi ir levoglikozāns, ko no pirolīzes maisījuma iespējams izdalīt ar jonu apmaiņas sveķu hromatogrāfiju.

Publikācijas:

1. A.Zhurinsh, G.Dobele, V.Jurkane, K.Meile, A.Plavniece. Impact of hot water pretreatment temperature on the pyrolysis of birch wood, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2017, 124, 515-22
2. K. Meile, A. Zhurinsh, A. Viksna. Comparison of Photodiode Array, Evaporative Light Scattering and Single Quadrupole Mass Spectrometric Detection Methods for the UPLC Analysis of Pyrolysis Liquids, *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 2017, v.40, 7, 369-375
3. K.Meile, A.Zhurinsh. Preparative solid phase extraction for the purification of levoglucosan obtained from lignocellulose, *Key Engineering Materials*, 2017, 721, 82-86
4. K. Meile, A. Zhurinsh, L. Briede and A. Viksna. Investigation of the Sugar Content in Wood Hydrolysates with Iodometric Titration and UPLC-ELSD, *Agronomy research*, 2018, 16, 1, 167-175. <https://doi.org/10.15159/AR.17.076>.

WOOD HYDROTHERMAL TREATMENT IMPACT ON WOOD COMPONENTS AND THEIR FURTHER UTILIZATION FOR HIGH-VALUED PRODUCTS

Aivars Žūriņš^{1*}, Kristīne Meile¹, Gaļina Dobeļe¹, Vilhelmine Jurkjāne¹, Ance Pļavniece¹, Linda Briede¹; Daniela Godiņa¹, Nadežda Iljina¹

¹ *Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia*

* *aivarsz@edi.lv*

The strongest fields of Latvia – agriculture and forestry – can be the basis for an advancement towards a biobased economy. Realization of the biorefinery concept means an integrated conversion of all wood components into chemicals, fuels and materials. However, new and eco-friendly biorefining strategies need to be designed for a successful development. One of the wood pretreatment possibilities is hydrothermal treatment (HTT), which employs water as the reaction media at 150-240 °C under pressure so that the water remains fluid. In this process hemicelluloses, as well as some part of the amorphous cellulose, lignin, mineral salts and extractives are extracted, but lignocellulose remains as a solid residue. This modified lignocellulose matrix can be further processed into specialty chemicals and wood char.

Birch and spruce wood were pretreated by HTT and it was found that for both species the yield of lignocellulose decreases with the increase of HTT temperature. Nonvolatiles, acids, aldehydes and sugars were determined in the HTT filtrates, and the most important finding was that the maximum yield of sugars was obtained at 170 and 180 °C from birch and spruce wood, respectively. At higher temperatures the yield of sugars decreased due to acid catalyzed decomposition. Thermogravimetry showed that the higher HTT temperature increased the activation energy of wood decomposition, which can be explained by a higher content of cellulose which requires more energy for thermal decomposition than hemicelluloses. However, at temperature 190 °C and higher the activation energy decreased again because of the decrease of the degree of polymerization of cellulose.

Analytical pyrolysis experiments showed that HTT alone is not sufficient to maximize the yield of sugars in the pyrolysis of the lignocellulose residue, but HTT combined with activation with diluted sulfuric acid selectively increases the yield of sugars in the pyrolysis condensates up to 30-40% of cellulose. The main pyrolysis product is levoglucosan, which can be separated from the mixture of other condensable pyrolysis products by preparative chromatography with a Lewatit VPOC 1074 strongly basic anion exchange resin in OH⁻ form giving a fraction with 90% levoglucosan content, which can be easily crystallized to obtain up to 99% pure levoglucosan.

BĒRZA KOKSNES TORIFIKĀCIJAS PĒTĪJUMI ROTĒJOŠĀ PIROLĪZES RETORTĒ

INVESTIGATION OF BIRCH WOOD TORREFACTION PROCESS IN A ROTATING PYROLYSIS RETORT

Jānis Rižikovs^{1*}, Prans Brazdausks¹, Aigars Pāže¹, Māris Puķe¹

¹ Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

¹ Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

* j.rizikovs@edi.lv

Rūpniecībā, iegūstot bērza koksnes saplāksni, rodas ievērojams apjoms lēveru, ko uzskata kā mazvērtīgu blakusproduktu un var izmantot kā kurināmo. Ilgstoši uzglabājot šādu blakusproduktu, var novērot, ka tas uzņem apkārtējās vides mitrumu, tādējādi šādam kurināmajam materiālam samazinās kvalitātes īpašības. Viens no paņēmieniem, lai novērstu šo trūkumu un uzlabotu citas kurināmā fizikālķīmiskās īpašības, ir pielietot vienu no termoķīmiskajiem paņēmieniem – torifikāciju. Šajā pētījumā izpētīta torifikācijas procesa ietekme uz homogenizētu bērza koksnes lēveru skaidu fizikālo, termālo un ķīmisko īpašību izmaiņām rotējošā pirolīzes retortē. Bērza koksnes lēveru skaidas torificētas 30 min pie 250-300°C temperatūrām. Pētījuma rezultāti parādīja, ka torificētam kurināmajam var par 34% un vairāk samazināt spēju uzņemt apkārtējās vides mitrumu. Pētītājā torifikācijas temperatūru intervālā skaidri iezīmējas, ka hemiceluložu daļa ir visnestabilākā un apstrādes laikā sadalās. Izvērtējot iegūtos datus, var teikt, ka optimālā torifikācijas temperatūra ir 280°C. Pie šādas apstrādes temperatūras bērza koksnes lēveru skaidām sasniegts augstākais sadegšanas siltums (20,1 MJ/kg) un spēja saistīt apkārtējās vides mitrumu līdz 5,9 masas procentiem.

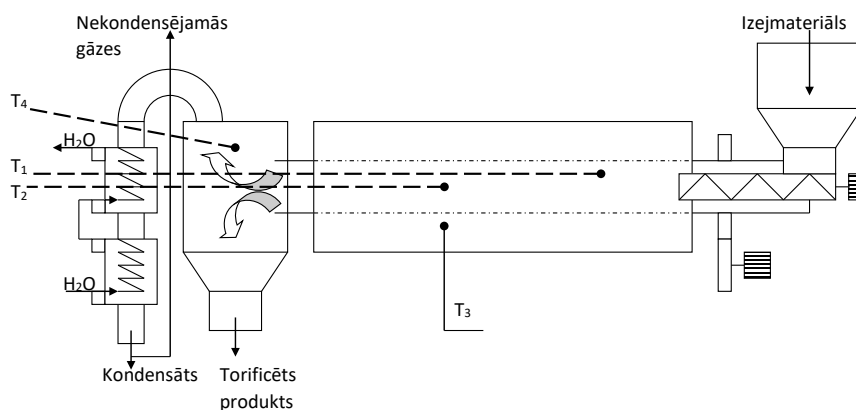
2020. gadā Eiropas Savienības dalībvalstīm stāties spēkā jauns klimata un enerģētikas politikas satvars [1], kas paredz samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas jau par 40% salīdzinājumā ar 1990. gadu. Līdz ar to nākamajā desmitgadē sagaidāms straujš pieaugums biomasas izmantošanai enerģijas ieguvē. Lai pārvadātu kurināmo efektīvāk un tas saturētu pēc iespējas ar augstāku enerģijas blīvumu, biomasas kurināmā ražošanā ir liels uzsvars tiek likts uz granulveida produktiem. Neskatoties uz daudzām labajām granulū īpašībām [2], šāds kurināmais uzglabāšanas un transportēšanas laikā uzņem apkārtējās vides mitrumu. Viens no veidiem kā novērst šo nevēlamo kurināmā īpašību ir kurināmā ražošanas procesā pievienot papildus apstrādes posmu sauktu par torifikāciju.

Torifikācija ir biomasas termoķīmiska apstrāde inertā vai slāpekļa atmosfērā pie temperatūras kas ir robežās no 200-300°C [3]. Iepriekšējie pētījumi parāda, ka torifikācijas laikā pirmās termiski sāk sadalīties hemicelulozes pie temperatūras virs 200°C, bet celuloze un lignīns sāk sadalīties 270-300°C temperatūrā [3]–[6]. Tas nozīmē, ka pie augstām temperatūrām biomasa zaudē savu masu un siltumspēju, tādēļ, iespējams, ka torifikācijas process jāveic pie zemākām temperatūrām, kur daļēji saglabājušies hemiceluložu sadalīšanās produkti varētu piedalīties granulēšanas procesā kā saistviela.

Tādēļ šī pētījuma ietvaros, izmantojot rotējošo pirolīzes retorti, papildus kurināmā īpašību izmaiņām pie dažādām torifikācijas temperatūrām papildus izpētīts, vai ar torifikācijas palīdzību var uzlabot kurināmā hidrofobās īpašības, kas ir atbildīgas par to, lai kurināmā kvalitāte nesamazinātos uzglabāšanas un transportēšanas laikā, kā arī C5 un C6 saharīdu daudzumu izmaiņas salīdzinot ar izejvielu.

Eksperimentālā daļa

Lai realizētu torifikācijas procesa eksperimentālo analīzi, kā izejmateriāls izmantots bērza koksnes lēveri (ar mitrumu 8%), kas homogenizēti līdz frakcijai 0,63-2,00 mm. Eksperimentālā darba sākumā vispirms veikta rotējošās pirolīzes retortes (Zīm. 1) kalibrācija (gliemežbarotāja rotācija – 0,6 min⁻¹; leņķis pret plakni 3° un retortes rotācija 4 min⁻¹) kā rezultātā iegūta frakcionētas bērza koksnes ražība 550 g/h. Kalibrēšanas mērķis bija panākt izejmateriāla uzturēšanās laiku retortē vidēji 30 min, kas, spriežot pēc literatūras datiem, ir pietiekams optimālam koksnes torificēšanas procesam vidēji 260-280°C temperatūrā [4], [5], [7], [8]. Balstoties uz literatūras datiem un eksperimentālajiem rezultātiem, šajā pētījumā torifikācija veikta pie vidēji augstas (250, 260 un 270°C) un augstas (280, 290 un 300°C) temperatūras.



Zīmējums 1. Rotējošās retortes shēma.

Līdzsvara mitrums (LM). Neapstrādātu un torificētu bērza lēveru skaidu paraugu LM vērtības noteica pie konstantiem klimatiskajiem apstākļiem (relatīvais mitrums $65\pm 2\%$, temperatūra $22,8\pm 0,3^\circ\text{C}$, paraugus izturot klimatiskajā kamerā līdz brīdim, kad svars piecu dienu laikā neizmainījās vairāk par $0,5\%$). Šādi klimatiskie apstākļi izejas koksnei teorētiski nodrošina 12% mitrumu [9]. Visas analīzes tika veiktas ar 2 paralēliem mēģinājumiem, un iegūtie rezultāti izteikti kā vidējās vērtības.

Analitiskās metodes. Padziļinātai strukturālo ogļūdeņražu pētīšanai neapstrādātai un torificētai bērza lēveru skaidu paraugiem izmantota NREL/TP-510-42618 „Strukturālo ogļhidrātu un lignīna noteikšana biomasā” analītiskā metode. Neapstrādātu bērza lēvera skaidas pirms šīm analīzēm vispirms ekstrahēja *Knopfler-Bohm* tipa aparātā ar etanola-benzola maisījumu (1:2) saskaņā ar TAPPI standarta 204 cm-07 prasībām. Sadegšanas siltumu, gaistvielu saturu, negaistošā oglekļa saturu un pelnu saturu noteica atbilstoši attiecīgajiem standartiem: EN 14918, ISO 562, DIN 51749, EN 14775. Visas analīzes veiktas ar 2 paralēliem mēģinājumiem, un iegūtie rezultāti izteikti kā vidējās vērtības.

Rezultāti

Tas ir vispārzināms fakts, ka torifikācija uzlabo kurināmā īpašības, palielinot tā sadegšanas siltuma vērtību un līdz ar to arī kurināmā enerģijas blīvumu. Arī bērza koksnes gadījumā, palielinoties torifikācijas temperatūrai, kurināmā iznākums strauji samazinās līdz pat $66,5\%$ (Tabula 1), kamēr tilpumsvars mainījās mazākā mērā.

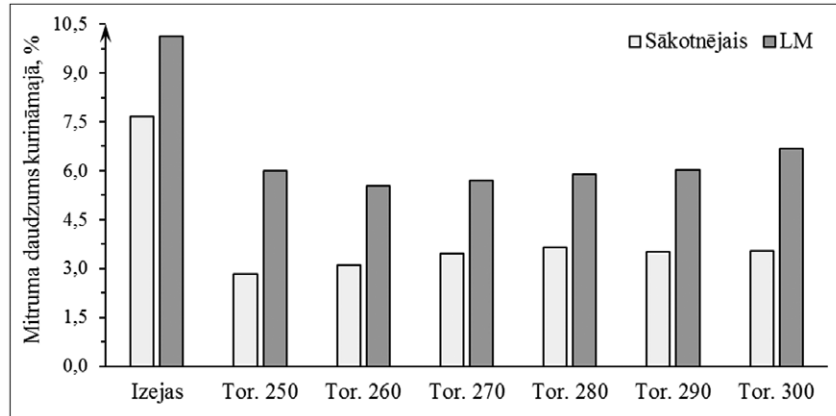
Tabula 1. Torificētas bērza koksnes kurināmā īpašības pie dažādām procesa temperatūrām.

Raksturlielums	Izejviela	Torificēta bērza koksne					
Torifikācijas temperatūra [$^\circ\text{C}$]	-	250	260	270	280	290	300
Relatīvais mitrums [%]	7,7	2,9	3,1	3,5	3,7	3,5	3,5
Kurināmā iznākums [% a.s.m.]	100	93,9	88,3	84,6	78,4	75,1	66,5
Tilpumsvars [kg/m^3]	228	223	203	203	192	175	175
Gaistvielu saturs [% a.s.m.]	88,7	85,93	82,6	82,5	79,3	77,6	74,2
Negaistošais ogleklis [% a.s.m.]	11,0	13,8	17,0	17,2	20,4	22,3	25,6
Augstākais sadegšanas siltums [MJ/kg]	17,5	18,4	19,3	19,4	20,1	20,9	21,1
Pelnu saturs (550°C) [% a.s.m.]	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3

a.s.m. – absolūti sausa masa

Savukārt negaistošais ogleklis un sadegšanas siltums palielinās, attiecīgi līdz $25,6\%$ un $21,1 \text{ MJ}/\text{kg}$. Ja pie torifikācijas temperatūras 250°C iegūtā parauga kurināmā īpašības maz atšķiras no neapstrādātas bērza koksnes un masas zudums vairāk izskaidrojams ar ūdens izdalīšanos, tad pie augstākām temperatūrām jau bija manāmi uzlabojumi. Proti, pie 280°C temperatūras sasniedzot 2 reizes augstāku negaistošā oglekļa daudzumu kā izejvielai. Tā rezultātā sadegšanas siltums palielinājies no $19,1 \text{ MJ}/\text{kg}$ līdz $20,8 \text{ MJ}/\text{kg}$, rēķinot uz absolūti sausu masu. Ja ņem vērā mitrumu, tad par cik izejas koksnei tas ir 2 reizes lielāks, tad arī sadegšanas siltums mitram materiālam atšķiras jau vairāk, attiecīgi $17,5$ un $20,1 \text{ MJ}/\text{kg}$.

Līdzsvara mitruma analīze parādīja, ka lielākais daudzums mitruma tiek absorbēts pirmajās 12 h, bet līdzsvars tikai sasniegts 50-60 dienās (šie rezultāti nav atainoti vizuāli). Ja sākumā līdzsvara mitrums samazinājās līdz 5,5% pie 260°C temperatūras, salīdzinot ar izejvielas vērtību – 10,1%, tad pēc tam tas atkal palielinās, sasniedzot 6,7% pie 300°C temperatūras, kas varētu būt izskaidrojams ar to, ka strukturālie ogļhidrāti izejmateriālā termiski sadalās, kā rezultātā palielinās virsmas laukums (Zīm. 2).



Zīmējums 2. Līdzsvara mitruma (LM) saturs izejvielai un torificētai bērza lēveru koksnei pirms un pēc izturēšanas klimata kamerā pie relatīvā gaisa mitruma 65% un 22,8°C temperatūras

Strukturālo ogļūdeņražu analīzes parāda (Tabula 2), ka, palielinoties torifikācijas temperatūrai, ķīmiskas pārvērtības notiek visās pamatkomponentēs. Hemicelulozes (noteikta kā ksiloze) un celulozes (noteikta kā glikoze) saturs samazinās. Izmaiņas celulozes gadījumā ir izteikti mazākas, taču pēc 270°C novērojams straujāks celulozes satura samazinājums, kas varētu būt izskaidrojams ar celulozes šķērssaistīšanās sākumu. Lignīna saturs palielinās līdz ar temperatūras pieaugumu līdz 290°C. Tas varētu būt izskaidrojams ar tā saucamā pseidolignīna veidošanos no lignīna, celulozes un hemiceluložu termiskās destrukcijas produktiem polikondensācijas un rekombinācijas reakciju rezultātā. Sasniedzot torifikācijas temperatūru 300°C, notiek intensīva celulozes un viegla lignīna destrukcija, kas iezīmē komponentu karbonizācijas sākumposmu, kā rezultātā iegūst oglei līdzīgu torifikācijas produktu.

Tabula 2. Izejvielas un torificētas bērza lēveru koksnes ķīmiskais sastāvs izteikts gan kā procentuālais saturs no a.s. kurināmā masas (KM), gan no a.s. izejas bērza koksnes (BK) masas.

Raksturlielums	Izejviela	Torificēta bērza koksne, KM/BK					
		250	260	270	280	290	300
Temperatūra [°C]	-	250	260	270	280	290	300
Ekstraktvielas	1,7/1,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ksiloze	20,8/20,5	18,8/17,7	15,4/13,6	14,7/12,5	7,9/6,2	4,4/3,3	3,8/2,6
Glikoze	45,5/44,5	46,5/43,7	48,9/43,1	50,5/42,8	52,0/40,7	52,4/39,4	53,3/35,4
Skābē nešķ. lignīns	19,6/19,2	23,7/22,2	29,7/26,2	32,5/27,5	39,4/30,9	43,9/33,0	44,5/29,6
Skābē šķīst. lignīns	4,3/4,2	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0

n.a. – nav analizēts

Secinājumi

- Kurināmā īpašības uzlabojās līdz ar torifikācijas temperatūras palielināšanos.
- Līdzsvara mitruma saturs samazinājās no 10,1% izejvielai līdz 5,5% pie 260°C, bet, paaugstinot temperatūru līdz 300°C, tas atkal palielinājās līdz 6,7%.
- Paaugstinoties torifikācijas temperatūrai no 250 līdz 280°C, uzlabojās iegūtā produkta kurināmā īpašības, sasniedzot negaistošā oglekļa daudzumu virs 20% un sadegšanas siltumu virs 20 MJ/kg, kas apliecina, ka pie augstākas temperatūras torifikāciju veikt nav nepieciešams.
- Hemicelulozes un celulozes saturs samazinās, savukārt lignīna saturs palielinās līdz ar temperatūras pieaugumu līdz 290°C. Sasniedzot torifikācijas temperatūru 300°C, notiek intensīva celulozes un viegla lignīna destrukcija, kas iezīmē komponentu karbonizācijas sākumposmu, kā rezultātā iegūst oglei līdzīgu torifikācijas produktu.

Literatūras avoti

1. European Commission, *A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030*. Brussels, 2014, p. 18.
2. J. J. Chew and V. Doshi, “Recent advances in biomass pretreatment - Torrefaction fundamentals and technology,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 8, pp. 4212–4222, 2011.
3. E. Alakangas, “Properties of wood fuels used in Finland,” Jyväskylä, 2005.
4. W.-H. Chen and P.-C. Kuo, “Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass,” *Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 803–811, Feb. 2011.
5. F. F. Felfli, C. A. Luengo, J. A. Suárez, and P. A. Beatón, “Wood briquette torrefaction,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 9, no. 3, pp. 19–22, 2005.
6. W.-H. Chen, S.-H. Liu, T.-T. Juang, C.-M. Tsai, and Y.-Q. Zhuang, “Characterization of solid and liquid products from bamboo torrefaction,” *Appl. Energy*, vol. 160, pp. 829–835, Dec. 2015.
7. M. J. C. van der Stelt, H. Gerhauser, J. H. A. Kiel, and K. J. Ptasinski, “Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 9, pp. 3748–3762, 2011.
8. T. Ingram, T. Rogalinski, V. Bockemühl, G. Antranikian, and G. Brunner, “Semi-continuous liquid hot water pretreatment of rye straw,” *J. Supercrit. Fluids*, vol. 48, no. 3, pp. 238–246, 2009.
9. B. Arias, C. Pevida, J. Feroso, M. G. Plaza, F. Rubiera, and J. J. Pis, “Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 89, no. 2, pp. 169–175, 2008.

Publikācijas

1. Brazdausks P., Rizhikovs J., Paze A., Zhurinsh A., Puke M., Plavniece A. Evaluation of equilibrium moisture content and chemical composition in torrefied birch wood. *Key Engineering Materials*, 2016, Vol.721, pp. 97-101, <https://www.scientific.net/KEM.721.97>
2. Brazdausks P., Rizhikovs J., Paze A., Zhurinsh A., Puke M., Plavniece A. Evaluation of equilibrium moisture content and chemical composition in torrefied birch wood. *Book of Abstracts of BALTMATTRIB 2016, 25th International Baltic Conference of Engineering Materials & Tribology*. Publisher: The Latvian Materials Research Society, Print: RTU Digital Print Center, pp. 55. http://alephfiles.rtu.lv/TUA01/000057303_e.pdf

Konferences

1. The 25th International Baltic Conference of Engineering Materials & Tribology – BALTMATTRIB 2016, Latvija, Rīga, Tallink Hotel Riga, 3-4 novembris.

INVESTIGATION OF BIRCH WOOD TORREFACTION PROCESS IN A ROTATING PYROLYSIS RETORT

Jānis Rižikovs^{1*}, Prans Brazdausks¹, Aigars Pāže¹, Māris Puķe¹

¹ *Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia*

* *j.rizikovs@edi.lv*

The value of biomass can be improved by an additional treatment called torrefaction. Torrefaction is a thermochemical treatment of biomass at an inert or nitrogen atmosphere with the temperature in the range of 200–300 °C. This treatment has the effect of improving not only the hydrophobicity, but also energy density, and grindability of the lignocellulosic biomass. This study focuses on detailed structural carbohydrates analysis of mild and severe torrefied birch wood shaving and their impact on the solid fuel properties (hydrophobicity, volatiles, calorific value, fixed carbon, ash content).

Fuel properties. By increasing the torrefaction temperature, the yield of solid fuel was sharply decreased up to 66.5% while the bulk density was not significantly changed (Table 1). It proves the fact that lignocellulosic biomass loses its mass and heating value with no appreciable change in volume during the torrefaction. Contrary to the solid fuel yield the analysis of the untreated and torrefied birch wood shavings show that the content of fixed carbon in solid fuel was slightly increased up to 25.6%, but the content of volatile matter decreased up to 74.2% resulting the highest heating value 21.1 MJ/kg. The sharply increased content of fixed carbon yield in the torrefied birch woodshavings and also higher heating value at severe torrefaction temperatures can be explained by the fact that carbonaceous material begins to form within the wood polymers structures during the heat treatment in temperatures range of 240-300 °C.

Evaluation of equilibrium moisture content (EMC). The results from analysis of EMC also demonstrated an obvious difference between raw and torrefied birch wood shavings. The largest moisture uptake (80% and more from the total attracted moisture) was observed in the first 12 hours of exposure (not shown) but the EMC was achieved in 50 to 60 days. As it was expected, the EMC of the torrefied birch wood shavings decreased (34% and more) compared to the EMC of the raw biomass (Fig. 1). Results also showed that the hydrophobicity of solid fuel was increased by the increase of torrefaction temperature from 260 to 300 °C. The increase of solid fuel hydrophobicity can be explained by the fact that under mild and severe torrefaction temperatures the polymers in the raw material become chemically degraded, so the surface area of torrefied material where water can bound increases. Therefore, from results can conclude that it is not necessary to increase the torrefaction temperature above 280 °C because the solid fuel becomes more hydrophilic at higher temperatures.

Compositional analysis. Monosaccharides such as arabinose, mannose and galactose were not detected in both raw and torrefied material. The degradation of cellulose was much less extent and the increase of its proportion in the solid fuel increased up to 53.3% (Table 2.). By contrast, the content of lignin component was increased both per mass of solid fuel and per mass of raw feedstock by the increase of torrefaction temperature up to 290 °C. Therefore, lignin is the second largest compound in the torrefied wood material. This could be attributed to the formation of so-called pseudo-lignin which forms from lignin and thermal destruction products of hemicelluloses and celluloses by polycondensation and recombination reactions. When the torrefaction temperature is 300 °C, the extensive degradation of cellulose and light degradation of lignin can be observed. It means that carbonisation of cellulose and lignin was started, and birch wood became as a char-like solid product during the torrefaction process.

Conclusions. The thermal properties of obtained solid fuel were substantially improved by increasing the torrefaction temperature. The moisture absorption capacity of birch wood was decreased during torrefaction procedure. Therefore, obtained fuel can be easily stored in the open-air under the roof. The reduced EMC of obtained solid fuel shows that it is not necessary to increase the temperature above 280 °C because then the solid fuel becomes more hydrophilic. The chemical composition of the torrefied material indicates that hemicelluloses degradation occurs at all studied torrefaction temperatures, but extensive cellulose destruction only at severe torrefaction temperatures. During torrefaction, degradation products of hemicellulose and cellulose were associated with lignin resulting in increased of acid insoluble material in torrefied wood.

BIORAFINĒTAS KOKSNES IZMANTOŠANA SILTUMIZOLĀCIJAS PARAUGU IEGŪŠANAI UN ELEKTROVĒRPTU MATERIĀLU RAŽOŠANĀ

USE OF BIOREFINED WOOD FOR OBTAINING HEAT INSULATION AND ELECTROSPUN MATERIALS

Mārtiņš Andžs*, Sanita Reinerte, Ramūnas Tupčiauskas,

Andris Vēveris, Jānis Āboliņš, Jānis Grāvītis

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

*martins.andzs@gmail.com

Pētījums sastāv no divām daļām. Pirmajā daļā (1. Izolācija) pētīts Tvaika sprādziena (TS) priekšapstrādes masas izmantošana siltumizolācijas paraugu iegūšana no baltalkšņa šķeldas, baltalkšņa skaidām un bērza lēveriem, kas paliek pāri pēc finiera ražošanas procesiem. Otrā daļā (2. Elektrovērpšana) elektrovērtu materiālu iegūšana no apses koksnes. 1. Pētījuma daļā veikta visu pētāmo materiālu TS režīmu, mitruma, frakcijas, materiāla veida ietekme uz šķiedrošanos pakāpi, ko izsaka ar blīvuma samazināšanos pirms un pēc šķiedrošanas. Organiskie izolācijas materiāli darbojas konvekcijas veidā, un to struktūra ir poraina un kā galvenais izolators darbojas ieslēgts nekustīgs gaiss. Būtiski šķiedrojot ir panākt iespējami lielu tilpumu un mazu beram blīvumu, $\leq 60 \text{ kg m}^{-3}$. Mainot temperatūras režīmus, spiediena parametrus, materiāla mitrumu tika iegūti trīs veida materiāli ar atbilstošiem nosacījumiem. 2. Pētījumā veikta biorafinēšanas procesu analīze viena koka – parastās un Amerikas apšu hibrīda *Populus tremuloides* \times *Populus tremula* – celulozes un lignīna komponentu iegūšanai polimēru-biopolimēru šķīdumu īpašību salīdzinājumam elektrovērpšanas vajadzībām, par biorafinēšanas metodi izmantojot tvaika sprādziena autohidrolīzes metodi. Izvērtēta tvaika sprādziena autohidrolīzes apstrādes ietekme uz analizējamo apšu hibrīda paraugu, veikta ar tvaika sprādzienu sadalīto un ekstrahēto apšu hibrīda frakciju kvalitatīva ķīmiska novērtēšana. Sadalītās frakcijas izmantotas elektrovērpšanas šķīdumu pagatavošanā, šķīdumiem novērtēti parametri elektrovērtu tīmekļu iegūšanai. Savērti tīmekļu paraugi aplūkoti SEM.

Materiāli un metodes

Izolācija- šis ir pētījums ar mērķi noteikt TSA apstrādes optimālos baltalkšņa šķeldas (AC), skaidu (AP) un finiera lēveru (PF) priekšapstrādes režīmus, optimālos apstrādes mitruma parametrus, frakcijas parametrus un iegūtu iespējami mazāku beram blīvumu, ko pielietotu beramā izolācijas materiāla pētniecībā ar praktisku pielietojumu.

Darba izstrādāšanai izvēlētais izejas materiāls baltalksnis ir iegūts no Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava" paraugu laukumiem, bērza lēveri no uzņēmuma Latvijas Finieris. Svaigi cirsta, baltalkšņa koksne apstrādāta firmas SIA „Tilbe” zviedru tehnisko šķeldu iegūšanas iekārtā „Bruks”. Šķeldas un finiera lēveri atlasīti bez mizas, zariem un trupes, iegūstot frakciju lielumu 20 mm. un apstrādāti ar TAS četros režīmos. 1. $T^{\circ}\text{C}=235$; p,MPa=3,2; t, min=0; Log R⁰=2,97 2. $T^{\circ}\text{C}=200$; p,MPa=1,6, t, min=5; Log R⁰=3,64 3. $T^{\circ}\text{C}=220$; p,MPa=2,3; t, min=5; Log R⁰=4,23 4. $T^{\circ}\text{C}=235$; p,MPa=3,2; t, min=1; Log R⁰=3,97.

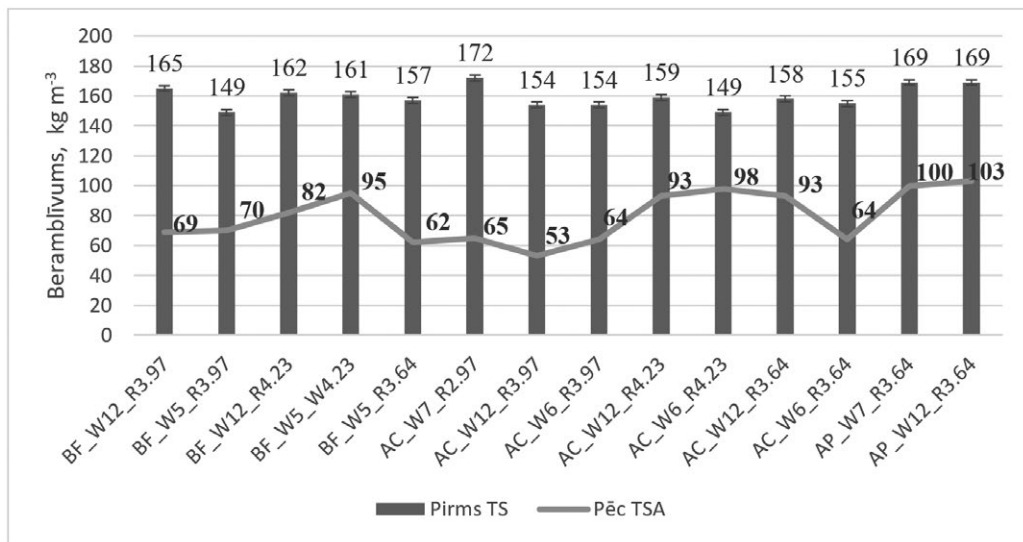
Elektrovērpšana - Apses hibrīda koksni samaļ skaidās, ko apstrādā ar TSA priekšapstrādi un divām sekojošām ekstrahēšanām - H₂O ekstrahēšanu hemiceluložu atdalīšanai no TSA lignocelulozes un sārnu ekstrahēšanu lignīna atdalīšanai no celulozes – hibrīdapses koksnes pamata biopolimēru – celulozes un lignīna ieguvei.

Lignocelulozes un celulozes paraugi sausa homogēna maisījuma iegūšanai iepildīti lodīšu dzirnavu kapsulās (parauga mvid = 1,000 g) un 10 minūtes malti (darba frekvence – 30,0 1/s). Lignocelulozes un celulozes suspensijas homogenizēšanai ūdens vidē izmantotā ultraskaņas apstrāde – darba frekvence = 26 Khz, jauda = 200 W, amplitūda = 100%, apstrādes laiks 30 minūtes. Lignīna paraugu sausā homogenizēšana veikta ar piestu sasmalcinot lignīna paraugus ahāta miezerī. Lignīna suspensijas ultraskaņas apstrāde veikta tāpat kā lignocelulozes un celulozes paraugiem. Lai pārliecinātos par pētāmo šķīdumu piemērotību elektrovērpšanas procesam, paraugiem noteikta elektrovadītspēja un viskozitāte (apgr. sk./min = 12, mērīšanas diapazons līdz 2500 mPa·s) pie šķīdumu temperatūras $23,0 \pm 0,5$ °C. Lai praktiski pārbaudītu pētīto šķīdumu īpašību atbilstību elektrovērpšanas vajadzībām, ar elektrovērpšanas metodi savērti TSA 3 minūšu lignocelulozes, TSA 3

minūšu celulozes un TSA 3 minūšu lignīna frakciju polivinilspirta šķīdumi eletrovērpētu tīmekļu formā. Iegūtie tīmekļi apskatīti ar SEM 500, 5000 un 10 000 kārtīgā palielinājumā.

Rezultāti

Izolācija - lai vērtētu TSA režīmu ietekmi uz apstrādājamo materiālu, tika noteikti materiāla masas zudumi atkarībā no barguma faktora. Dati tika apstrādāti ar pāru korelāciju, kas raksturo sakarību ciešumu starp divām pazīmēm, faktoriālo un rezultātīvo. Ņemot vērā materiāla mitrumu visiem paraugiem, tika noteikts absolūti sausas koksnes saturs. Pēc rezultātiem konstatēts, ka pēc SE apstrādes zūd daļa no materiāla ķīmisku reakciju rezultātā. Tā daļa, kas pazūd, ir hemicelulozes gaistošo savienojumu veidā. Kā rāda rezultāti, pastāv vidēji cieša lineāra korelācija starp masas zudumu un barguma faktoru, lai gan tā ir tieši atkarīga no barguma faktora. Tvaika sprādziena rezultātā šķiedru saraušana ir notikusi būtiski atšķirīgi, kas ir redzama 1.zīm. Blīvums pēc apstrādes ir samazinājies divas līdz trīs reizes, atkarībā no materiāla veida. Labākā šķiedrošanās tika panākta baltakšņa šķeldai, kas saistīta ir ar materiāla ķīmisko uzbūvi un barguma faktora ietekmi. Visu šķiedru masā tika konstatēti šķiedru nevienmērīgums un atsevišķu gabalu nepilnīga apstrāde.



Zīmējums 1. Koksnes beramblīvums un beramtilpums pirms un pēc TSA.

Elektrovērpšana - TSA efektivitāte biomasas sadalīšanā salīdzināta pēc ekstrakcijas procesā atdalītās celulozes un lignīna masas daļas pret oriģinālo paraugu sausā formā, par TSA mainīgo parametru izvēloties apstrādes laiku.

Iegūtās apšu hibrīda biomasas komponentu masas vērtības ar TSA un ūdens/sārma ekstrakcijas frakcionēšanas metodēm apkopotas Tabulā 1.

Salīdzinājums vizuāli parāda, kā palielinoties barguma faktoram novērojama celulozes un lignīna frakciju efektīvāka sadalīšanās, rezultātā iegūstot augstāku lignīna devumu un celulozi ar mazāku reziduālā lignīna, t.i., pēc TSA un ekstrakcijas neizdalītā lignīna saturu celulozē. Šī parādība izskaidrojama ar TSA destruktīvo procesu dziļāku piekļūšanu koksnes iekšējo šūnu struktūrām palielināta barguma faktora ietekmē – celuloze tiek efektīvāk atdalīta no pārējām koksni veidojošajām vielām. Negatīva ietekme ir pastiprināts celulozes masas zudums mērot pēc oriģinālā parauga.

Tabula 1. Apšu hibrīda koksnes TSA frakcionēšanas rezultāti (g).

P.m.	H (a.s.), g	TSA m. (a.s.), g	M. zudums (TSA/H), %	TSA m. (a.s.), g	LC m. (a.s.), g	M. zudums (LC/TSA), %	C m. (a.s.), g	L m. (a.s.), g	M. zudums (C+L/LC), %
TSA1	154,00	148,46	3,60	30,00	21,84	27,19	15,28	4,78	8,19
TSA2	150,55	103,92	30,97	30,00	23,42	21,92	12,73	6,06	19,77
TSA3	155,90	118,29	24,12	30,00	23,35	22,16	11,18	8,10	17,44
TSA4	155,98	107,45	31,11	30,00	24,03	19,89	11,27	9,20	14,82
TSA5	153,26	105,33	31,28	30,00	23,74	20,88	10,27	10,41	12,90
Bez a.	-	-	-	30,00	29,59	1,36	20,51	0,20*	30,01

* bez TSA apstrādes ekstrahētā lignīna sausā masa aprēķināta pēc TSA lignīna frakciju vidējā mitruma daudzuma parauga zemās masas vērtības dēļ.

*H – apšu hibrīda masa; LC – lignoceluloze; *C – celuloze; *L – lignīns; P.m. – parauga marķējums; m. – masa(s); Bez a. – bez apstrādes

Šķīdumu viskozitātes rezultāti ir vienas kārtas robežās, svārstās no 991 līdz 1591 mPa·s, kas ir atļauto viskozitātes vērtību zonā elektrovērpšanai paredzētiem ūdens šķīdumiem (100 - 2000 mPa·s). Pievienotajiem biopolimēriem ir vērojama tendence samazināt šķīduma viskozitāti, jo tīru PVS ūdens šķīdumu viskozitāte samazinās mazākā ātrumā nekā polimēru-biopolimēru šķīdumos; 435 mPa·s (no 9,9 % līdz 9,5 %) samazinājums tīra PVS šķīdumiem, kamēr PVS-biopolimēru šķīdumu viskozitātes samazinājumi ir sekojoši: vidējā vērtība TSA celulozei – 520 mPa·s, TSA lignocelulozei – 490 mPa·s, bet TSA lignīnam – 583 mPa·s. Starpība starp respektīvajiem šķīdumiem: 85 mPa·s, 55 mPa·s un 148 mPa·s. Pēc eksperimentālajiem datiem var secināt, ka pievienojot 0,03 g pildvielas uz katru PVS 0,1 %, biopolimērs šķīduma viskozitāti samazina par vidēji 240 mPa·s (TSA lignocelulozei – 235 mPa·s, TSA celulozei – 242 mPa·s, TSA lignīnam – 243 mPa·s), salīdzinot ar tīra PVS koncentrācijas samazinājuma ietekmi polimēra šķīdumā – vidējais samazinājums ir 180 mPa·s. Savukārt noteiktās PVS-biopolimēru šķīdumu elektrovadītspējas vērtības ir faktiski gandrīz nemainīgas, salīdzinot ar tīra PVS ūdens šķīdumiem.

Ar SEM uzņemtie attēli parāda, ka elektrovērpšie tīmekļi satur šķiedras, kuru izmēri, salīdzinot visus rezultātus, ir sākot no 30 nm (TSA3 celuloze (5%)) līdz 1100 nm (PVS) ar visvairāk atkārtoto modas vērtību 400 nm, un vairākums pētāmo šķiedru diametru nepārsniedz nanomateriāliem atbilstošos šķiedru dimensiju izmērus ($\varnothing < 1000$ nm).

Secinājumi

1. Izolācija - Ar TSA ir iespējams iegūt izolācijas materiālus, kas atbilst siltumizolācijas rādītājiem un siltumvadītspējas koeficients (λ) bērza lēveriem un baltalkšņa šķeldai sasniedz koeficientu $0.053-0.057 \text{ W m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
2. Optimālais blīvums beramos izolācijas materiālus tika sasniegts vairākiem paraugiem un tie ir $\leq 65 \text{ kg m}^{-3}$.
3. Baltalkšņa šķeldas apstrādājot ar TSA, tiek iegūta nevienmērīga aglomerējusies masa, kas sastāv no nesašķiedrotiem gabaliem.
4. Elektrovērpšana - parastās un Amerikas apšu hibrīda *Populus tremuloides* \times *Populus tremula* koks ir labs materiāls koksnes celulozes un lignīna iegūšanai biorafinēšanas ceļā.
5. Ekstrahētās TSA celulozes masas salīdzinājums starp dažādiem TSA režīmiem atklāj negatīvu korelāciju. TSA lignīna gadījumā iegūtā korelācija ir pozitīva – pieaugot barguma faktora vērtībai, palielinās ekstrahētā TSA lignīna masa.
6. Optimālie eksperimentāli noteiktie TSA apstākļi apšu hibrīda biorafinēšanai ir: laiks (t) – 3 min, temperatūra (T) - $+235 \text{ }^\circ\text{C}$, spiediens (p) – 32 bar. Barguma faktors $\log R_0$ izvēlētajā režīmā – 4,45. Šajā režīmā no TSA masas iespējams izdalīt vistirāko celulozes un lignīna masu. Maigākos TSA apstākļos nenotiek pilnvērtīga celulozes un lignīna atdalīšanās, bet bargākos TSA apstākļos novērojams celulozes zudums un lignīnam TSA destrūkcijas produktu piejaukums.
7. Pētīto šķīdumu elektrovadītspējas un viskozitātes mērījumi un praktiski pierādītā elektrovērpto tīmekļu iegūšana apstiprina pētīto šķīdumu piemērotību elektrovērpšanas vajadzībām.

Pateicības

HORIZON 2020 projektam ERIFORE (ref. nr. 654371).

Rezultatīvie indikatori

- I. Iesniegts un apstiprināts patents, Patentu valde: Lignocelulozes beramais siltumizolācijas materiāls un tā iegūšanas paņēmieni. Autori: Mārtiņš Andžs; Jānis Grāvītis; Ramūnas Tupčiauskas; Andris Vēveris. Pieteikuma Publicēšanas datums: 20.05.2018 Pieteikuma datums 21.10.2016 Nr. P-16-73.
- II. Sabiedrības izglītošanas pasākumi. Lekcija. Par zinātni un izolācijas materiāliem. LLU, Meža fakultāte, 10.03.2016. Lekciju posma vadītāja: Solveiga Luguza Laiks 13:10-15:30. Auditorija: 3 un 4 kursa studenti. Mežzinātnes un Meža inženieru studiju programmas audzēkņi un interesenti.
- III. 20 neaustie elektrovērpsti paraugi.
- IV. Konferenču raksti:
 1. M. Andzs, R. Tupčiauskas, J. Gravītis, A. Veveris, J. Abolins (2016). Biorefinery technology for biomass conversion to heat insulation material // In: 14th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2016), June 28 - July 1st, 2016, Autrans – France. Proceedings for Poster Presentations, 147-150

2. R. Tupciauskas, M. Andzs, A. Veveris, J. Abolins, J. Gravitis (2016). Steam explosion as an efficient bio-refinery technology for biomass conversion to sustainable materials // In: 14th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2016), June 28 - July 1st, 2016, Autrans – France. Proceedings for Poster Presentations, 155-160
 3. R. Tupciauskas, M. Andzs, A. Veveris, J. Abolins, J. Gravitis (2016). Usage of lignin in self-binding fibreboards // In: 14th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2016), June 28 - July 1st, 2016, Autrans – France. Proceedings for Poster Presentations, 233-237
- V. Izstrādāti un aizstāvēti 2 maģistra darbi un sagatavots aizstāvēšanai promocijas darbs.
1. Reinerte S., Apšu hibrīda celulozes un lignīna biorafinēšanas procesa analīze elektrovērtu tīmekļu iegūšanai (aizstāvēts RTU 21.06.2017, vadītāji J. Grāvis, S. Kukle).
 2. Mazjānis. T., Funkcionālo dizaina priekšmeti “HemPot” (aizstāvēts LMA, vadītājs H. Elers, konsultants M. Andzs)

Publikācijas

1. Gravitis J., Ozols-Kalnins V., Kokorevics A., Abolins J., Kukle S., Putnina A., Andzs M., Tupciauskas R., Veveris A. 2015. Zero Emissions and Bio-refineries for Natural Fibers, Biomaterials and Energy: Genesis of Concepts. Review. In: W.L. Filho, D. Bērziņa, A. Ūbelis (eds.) *Sustainable Development, Knowledge Society and Smart Future Manufacturing Technologies*, World Sustainability Series, Springer International Publishing Switzerland, 125 – 147. (DOI:10.1007/978-3-319-14883-0_9). <http://www.springer.com/us/book/9783319148823>
2. Andzs, M., Tupciauskas, R., Veveris, A., Gravitis, J. 2015. Impact of wood fraction, moisture and steam explosion on the development of an innovative insulation material. In: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources”, Rezekne, Latvija I: 11 – 15. (DOI:10.17770/etr2015voll.210). <http://journals.ru.lv/index.php/ETR/article/view/210>
3. Andzs, M., Tupciauskas, R., Veveris, A., Andze, L., Abolins, J., and Gravitis, J. 2017 Biomass conversion into blow-in heat insulation materials by steam explosion. *Holzforschung*, 71(7-8), 641-644. DOI 10.1515/hf-2016-0188.
4. Tupciauskas, R., Gravitis, J., Abolins, J., Veveris, A., Andzs, M., Liitia, T., Tamminen, T. 2017 Utilization of lignin powder for manufacturing self-binding HDF. *Holzforschung*, 71(7-8), 555-562. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0180>.
5. Reinerte S., Andzs M., Tupciauskas R., Veveris A., Gravitis J. Steam explosion as a pre-treatment method for bio-refined Hybrid aspen lignocellulose. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, Volume III, 2017, Rezekne, 276-281 (360), ISSN 1691-5402.

USE OF BIOREFINED WOOD FOR OBTAINING HEAT INSULATION AND ELECTROSPUN MATERIALS

Mārtiņš Andžs*, Sanita Reinerte, Ramūnas Tupčiauskas,
Andris Vēveris, Jānis Āboliņš, Jānis Grāvītis
Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia
*martins.andzs@gmail.com

The study consists of two parts. One part is about blow in heat insulation and second is about electrospinning.

1. The study of converting grey alder (*Alnus incana*) chips and silver birch (*Betula pendula*) flakes – residues from plywood manufacture – into blow-in insulation material by steam explosion (SE) is reported. The SE was conducted at temperatures between 200 and 235°C, for 0–5 min at pressures between 16 and 32 MPa. The severity parameters ($\log R_0$) of the SE was calculated, from which $\log R_0 \approx 3.6$ was the most appropriate for production of blow-in materials. Thermal conductivity of the obtained insulating material was found to be in the range of 0.053–0.057 W m⁻¹·K⁻¹.
2. The analysis of a wood tree – common and quacking aspen hybrid *Populus tremuloides* × *Populus tremula* – cellulose and lignin biorefinery process for comparison of polymer-biopolymer solution properties for electrospinning purposes has been studied in this work by applying steam explosion (SE) autohydrolysis as the method for biorefinery. The influence of steam explosion autohydrolysis process on analyzed aspen hybrid sample has been studied alongside steam exploded and extracted aspen hybrid fraction qualitative chemical evaluation and comparison of prepared electrospinning liquid solution properties.

The results present a yield of extracted cellulose and lignin depending on SE conditions (severity factor) and subsequent water/alkaline extraction. Comparison of dry mass of extracted SE cellulose and SE lignin reveals a positive correlation between extracted steam-exploded lignin and severity factor increasement, and a negative correlation for SE cellulose.

Optimal experimental conditions for SE separation has been determined as: time (t) – 3 min, temperature (T) - +235°C, pressure (p) – 32 bar. Severity factor $\log R_0$ for the chosen conditions – 4,45. These conditions allow for extraction of purest cellulose and lignin masses without the sacrifice of the economical benefits. Result analysis determined that in less severe conditions acceptable cellulose separation from lignin does not occur, while in more severe conditions SE cellulose has greater loses in mass obtained and SE lignin has large amount of additional lignocellulose destruction products.

Viscosity and electrical conductivity values for electrospinning solutions are in the acceptable range of values for electrospinning purposes. All of the solutions have been successfully spun into biocomposite mats. SEM pictures confirm that the mats contain both microsize and nanosize fibers.

The study concludes Aspen Hybrid tree *Populus tremuloides* × *Populus tremula* can be a good source for cellulose and lignin production from wood lignocellulose.

This study was supported by Latvian State Institute of Wood Chemistry under the National Research Programme “Forest and earth entrails resources: research and sustainable utilization – new products and technologies” (ResProd)” Project Nr.3 “Biomaterials and products from forest resources with versatile applicability”. As well the study was supported by the ERIFORE project of HORIZON 2020, ref. 654371.

LATVIJAS LAPKOKU MIZU BIORAFINĒŠANAS POTENCIĀLS

POTENTIALITIES OF BIOREFINERY FOR LATVIAN DECIDUOUS TREE BARK

Galina Teliševa^{1*}, Tatjana Dižbite¹, Līga Lauberte¹,
Aleksandrs Aršānica¹, Māris Lauberts¹, Sarmīte Janceva¹,
Jevgēnija Ponomarenko¹, Jeļena Krasilņikova², Lilija Jašina¹,
Anna Andersone¹, Oskars Bikovens¹, Laima Vēvere¹,
Jegors Akišins¹

¹ Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

² Rīgas Stradiņa Universitāte, Rīga, Latvija

¹ Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

² Riga Stradins University

* ligno@edi.lv

Latvijas lapu koku (alkšņu, kārkļu un apses) mizas pētījumi tika orientēti uz to izmantošanu kā augstas tīrības pakāpes un platformu ķīmikāliju ieguves izejvielām, kā frakcionēšanas rīku izmantojot ekstrakciju. Analīzes metodiku pilnveide iegūto ekstraktu kopējo iznākumu noteikšanai, tai skaitā individuālu un specifisku savienojumu vai to grupu kvantificēšanai un kvalificēšanai, ļāva pirmo reizi identificēt Latvijas lapkoku mizās vērtīgus flavonoīdu, tanīnu (proantociānīdu un galokatehīnu), diarilheptanoīdu, salicinoīdu savienojumus, klasificēt katras koku sugai raksturīgos savienojumus un izdalīt tos, paredzēt to principiālos pielietojuma veidus un attiecīgi arī nepieciešamo testēšanu. Ekstrakcija mikroviļņos (MW), zināma kā enerģijas un laiku taupoša metode, tika realizēta izmantojot oriģinālu paštaisītu miniiekārtu, kas īpaši izceļas ar uzlabotu efektivitāti. Turklāt tika iegūta jaunas inovatīvas iekārtas alfa versija. Eksperimentāli pierādītas ekstraktu un to individuālu savienojumu antioksidantās īpašības un parādīts to augstais potenciāls izmantošanai farmācijas, kosmētikas, pārtikas un polimēru materiālu jomā. *In silico* ir parādīta efektīvu antioksidantu ieguve uz lignīna bāzes, izolējot tos no izekstrahētas mizas. Baltalkšņa mizas, kas iegūtas pēc pilna ekstrakcijas cikla, un ar tanīniem bagātu ekstraktu un to kombināciju pētījumi parādīja, to piemērotību kā pamatelementiem polioliu ražošanai un tālāku uz poliuretānu pamata veidotu polimērus/kompozītu ieguvei. Pētījumi parādīja daudzsološas perspektīvas ekstrakcijas klastera integrācijai eksistējošās koku biomasas biorafinēšanas plūsmās.

Vidēji gadā mežizstrādes līmenis Latvijā sasniedz 12 milj. m³, no tiem vidēji 20-30 % no koksnes virszemes biomasas ir mežizstrādes atlikumi un, pievienojot vēl koksnes pārstrādes atlikumus kā mizu (~10% no koka biomasas) un mehāniskos atgriezumus, tad šie atlikumi veido ievērojamu apjomu. Pārsvārā šie atlikumi tiek izmantoti enerģētiskiem mērķiem, nodrošinot ekonomisku izdevīgumu tautsaimniecībai un dodot ievērojamu ieguldījumu enerģētikas nodrošinājumā Latvijā no atjaunojamiem dabas resursiem. Tomēr ir nepieciešama šo koksnes biomasas atlikumu efektīvāka izmantošana, nodrošinot to maksimālo vērtību, iegūstot no tiem papildus produktus pirms izmantošanas enerģētikā, tādējādi paaugstinot to ekonomiskos rādītājus un resursu izmantošanu, turklāt ir novērojama šo koksnes biomasas atlieku uzkrāšanās. Inovatīvs un salīdzinoši jauns virziens meža sektora pārvaldības uzlabošanā ir ekstraktvielu ieguve [1], tomēr līdz šim ekstrakcija ir bijis kā atsevišķs process, kas nekādi nav bijis saistīts ar esošajām koksnes plūsmām. Limitējošos faktors mizas izmantošanai bioloģiski aktīvu vielu ieguvei ir arī efektīvu un izmaksu ziņā izdevīgu ekstrakcijas iespēju trūkums. Viena no perspektīvākajām ieguves alternatīvām ir ekstrakcija mikroviļņos, kas padara procesu "zaļāku", tai skaitā dodot ievērojamu elektroenerģijas patēriņa ietaupījumu. Tomēr šīs metodes lielā novitāte un veikto pētījumu rezultātu trūkums radīja nepieciešamību konstruēt pašiem savu unikāla dizaina iekārtu. Pamatojoties uz izveidotās inovatīvās mikroviļņu iekārtas potencialajām iespējām, radās nepieciešamība arī izstrādāt jaunu analītisko pieeju sākot no parauga izvēles un sagatavošanas līdz pat daudzpusīgai analīzei, uzsverot iegūšanas procesa ietekmes izvērtējumu uz polifenolu savienojumu atgūstamību, kompozīciju un antioksidantu aktivitāti. Pamats šīs pieejas izstrādei tika izvēlēts izmantot modernās hromatogrāfijas un spektroskopiskās metodes, vienlaikus radot kvalitātes kontroles pamatu šo savienojumu ieguves procesos un gala produktos.

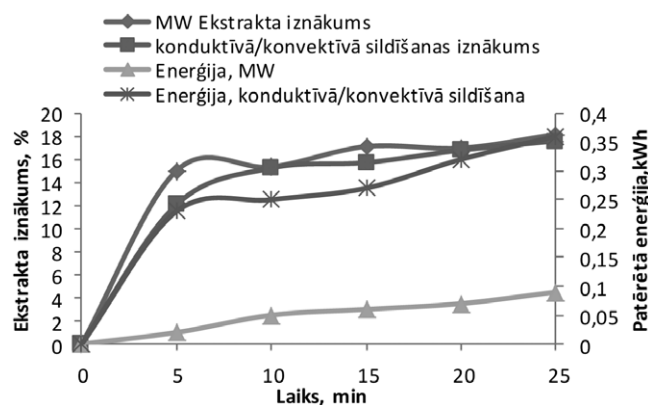
Materiāli un metodes

Materiāli: baltalkšņa (*Alnus incana*), melnalkšņa (*Alnus glutinosa*), plantācijas kārkļu šķirnes (*Salix spp. Klara, Lisa, Gudron, Tora, Sven, Inger, Stina*), apses (*Populus tremula*) mizas.

Metodes. Pilns biomasas ekstrakcijas cikls, iekļaujot biomasas apstrādi ar pieaugošas polaritātes šķīdinātājiem, tādejādi izdalot lipofīlus, dažādu grupu monomērus un oligomērus hidrofilus savienojumus, pamatā polifenolus un kā atlikumu iegūstot augstmolekulāros polifenolus – lignīnus, kas ir saistīti ar celulozi kompleksā. Ekstrakcija mikroviļņu laukā (MW), kā arī ar eksistējošiem inudstriāliem analogiem kā pātrinātā šķīdinātāja ekstrakcija (ASE) un konvektīvā sildīšana, iegūtie rezultāti izmantoti efektivitātes salīdzināšanai. Pētījumiem izmantotas sastāva, struktūras un mērķipašību pētīšanas metodes: UPLC-UV-TOF/MS, UPLC-ELS, HPLC-FLD, FTIS, , KMR, TOF-SIMS, DTG, DSK, UV spektroskopija. Individuālu savienojumu ieguvei no ekstraktiem izmantota preparatīvā hromatogrāfija un cietfāzes ekstrakcija. Antioksidantās aktivitātes noteikšanai izmantotas reducēšanas metodes ar stabiliem radikāļiem ABTS^{•+} un DFPH[•] un konkurences metodes O₂^{•-}, kas tika ģenerēts fermentu sistēmā ksantīns/hipoksantīna oksidāze. Mizas aktīvās iedarbības pētīšanai veikti ORAC, OXIPRESS un bioloģiskie testi *in vitro* dažādās vidēs (krēmos, majonēzēs u.c.).

Rezultāti

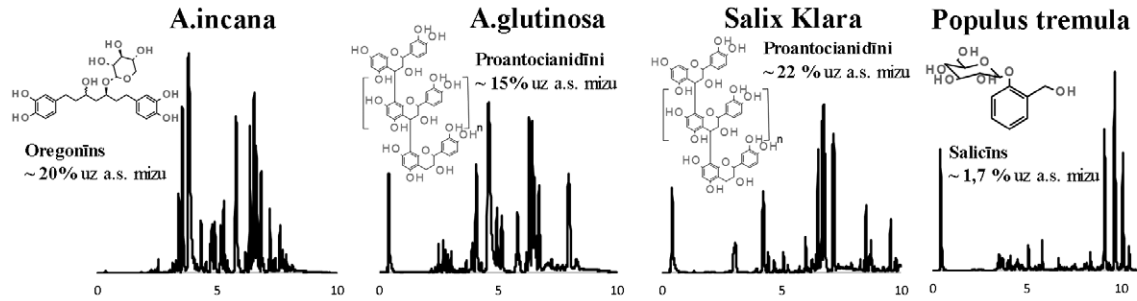
Šajos pētījumos uzmanība tika vērsta uz proantociānīdu un diarilheptanoīdu savienojumiem alkšņu mizās, proantociānīdu – kārkļu un salicinoidu apses mizās izpēti un šo savienojumu integrāciju lapkoku mizas biorafinēšanas tehnoloģiskajās shēmās. Lapkoku mizas pētījumi par mikroviļņu (MW) ekstrakcijas efektivitāti parādīja, ka salīdzinājumā ar konvektīvo / konvektīvo sildīšanu, apstrādei mikroviļņu laukā ir nozīmīgas priekšrocības kā, piemēram, patērētās enerģijas ietaupījums, būtiski samazinot mērķproduktu ieguves izmaksas, kā arī ir noteikta to ietekme uz mizas ekstrakcijas iznākumu un mērķproduktu sastāvu – neizmainot ekstrakcijas iznākumu, palielinās mērķproduktu – polifenolu saturs mizas ekstraktos. Piemēram, melnalkšņa ekstrakciju rezultāti parādīja, ka mikroviļņu ekstrakcija (5 min: 15.01% w/w, 15 min: 17.11% w/w) dod par ~ 2% lielāku ekstraktu iznākumu nekā konvektīvā ekstrakcija (5min: 12.08% w/w, 15 min: 15.71% w/w) (skat. Zīm.1), bet kopējo polifenola savienojumu saturs attiecīgi MW 5 min. 0.66 un 15min 0.69, bet konvektīvā ekstrakcijā iegūtiem attiecīgi 0.63 un 0.64.



Zīmējums 1. Ekstraktu iznākumu un enerģijas patēriņu (EP) salīdzinājums melnalkšņu mizas sildīšanas gadījumā izmantojot konvektīvo sildīšanu un MW (EP mērīšanai mazās iekārtās izstrādāta oriģināla programmatūra)

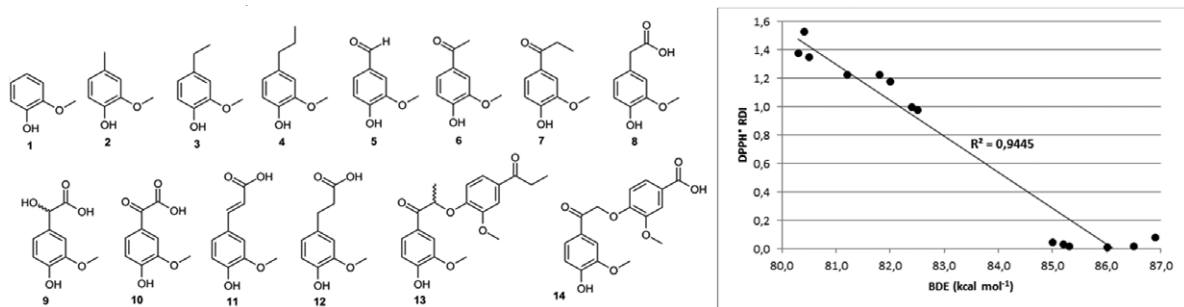
Izmantojot hromatogrāfijas metodes un veicot analīzes parametru pielāgošanu, kā arī piemērotākās metodikas izvēli, izveidota iegūtajos ekstraktos dominējošo individuālo savienojumu kvalitatīvā un kvantitatīvā noteikšanas metodika. Alkšņu mizas ekstraktiem izstrādāti vienoti principi dominējošā savienojuma diarilheptanoīda oregonīna noteikšanai (metodes validācija izmantojot UV detektoru, 280 nm). Tās izmantošana, ir svarīga, lai nodrošinātu izmantoto alkšņu mizas ekstraktu kvalitātes kontroli, garantējot ekstrakta efektivitāti un nekaitīgumu patērētājiem. Kārkļu mizās izveidota metode kvalitatīvai un kvantitatīvai oligomēro pronatociānīdu ar polimerizācijas pakāpi līdz 4 noteikšanai, izmantojot B2 komerciāli pieejamo references standartu, tādejādi nodrošinot to kontroles mehānismu ekstraktos, kas paredzēti adhezīvu vai poliuretānu ieguvei, kā arī izmantošanai kā pārtikas piedevai, šobrīd arī bioķīmisko pētījumu interpretācijai. Abas iepriekš minētās metodikas savietojas arī ar alkšņu (baltalkšņa un melnalkšņa) šķeldas ekstraktu analīzi, parādot arī šo izejvielu kā perspektīvu ieguves avotu oregonīna (13-20% uz a.s. ekstraktu) un proantociānīdu maisījumam. Izveidota metodika salicīna un tā atvasinājumu kvalitatīvai un kvantitatīvai noteikšanai, kā references standartu izmantojot komerciāli pieejamo salicīnu. Izmantojot augstas izšķirtspējas masspektometriju, tās datu bāzi un literatūras datus kopumā alkšņu mizās un šķeldā identificēti 24 dažādi individuāli savienojumi, tai skaitā 19 pirmo reizi Latvijā augošos alkšņos, noteikti arī

līdz šim neidentificēto savienojumu ķīmiskā piederība, kā ogļhidrāti, flavonoīdu un organisko skābju atvasinājumi. Kārklū mizās identificēti 13 dažādi savienojumi un kvantificēti proantociānīdu oligomēri no monomēra līdz tetramēram. Apses mizās identificēti 9 dažādi salicīna atvasinājumi un noteikts salicīna saturs 1,7 % uz a.s. apses mizu, kas ir augstāks par farmakopējā rekomendēto, lai vītoli dzimtas koku mizu izmantotu kā izejmateriālu salicīna ieguvei. Kopējās jonu strāvas hromatogrammas un nozīmīgāko savienojumu saturs attēlots Zīm.2.



Zīmējums 2. Vērtīgu savienojumu saturs Latvijas lapkoku mizās un kopējās jonu strāvas hromatogrammas

Antioksidantās aktivitātes pētījumi par diarilheptanoīdu un proantociānīdu saturošu ekstraktvielu ietekmi uz lipīdu saturošo produktu (majonēzes, kosmētiskā krēma) stabilitāti pret oksidēšanos, parādīja, ka koncentrācijās 0,1 - 0,05%, šo sistēmu stabilitāte būtiski palielinās parādot šo savienojumu perspektīvātī kā dabiskiem antioksidantiem. Koku biomasas, ieskaitot mizu, kompleksai un racionālai izmantošanai, nepieciešams valorizēt vienu no tās pamatkomponentiem – lignīnu. Lai iegūtu kvantitatīvo informāciju par lignīna un radniecīgo fenolu struktūras-antioksidatīvas aktivitātes sakarībām (QSAR) šajā darbā ir aprēķinātas lignīna modeļvielu, kas sastāv no gvajacilvienībām ar visdažādākajām sānķēžu variācijām (3. att.), fenola hidroksilgrupu grupu (kas ir atbildīgas par lignīna produktu antioksidatīvo aktivitāti) O-H saišu disociācijas entalpijas (BDE), ka arī eksperimentāli noteiktas šo savienojumu spējas dezaktivēt stabilos brīvus radikāļus. Visus aprēķinus veica, izmantojot Gaussian09[®] programmatūru no Gauss Inc, USA.



Zīmējums 3. QSAR pētījumos izmantotās lignīna modeļvielas un korelācija starp BDE (fenola O-H saišu disociācijas entalpija) aprēķinu rezultātiem un RDI (radikāļu dezaktivēšanas indekss) noteikšanas eksperimentāliem datiem (DFPH• tests).

BDE aprēķinu rezultāti labi korelē ar eksperimentāliem datiem - noteiktiem radikāļu dezaktivēšanas indeksiem DFPH• testā (RDI – dezaktivēto radikāļu skaits uz vienu fenola hidroksilgrupu) (3. att.). Tas parāda, ka BDE aprēķinu rezultātus var efektīvi izmantot lignīna produktu QSAR pētījumos. Katra struktūras deskriptora tiešā ieguldījuma lignīna produktu antioksidatīvajā aktivitātē novērtēšanas rezultāti parādīja, ka α -karbonilgrupu klātbūtnē gandrīz pilnīgi dezaktivē lignīna fenola hidroksilgrupas ar antioksidatīvo aktivitāti saistītajās reakcijās, arī citu skābekli saturošās grupas fenilpropāna vienību sānķēdēs negatīvi ietekmē to antioksidatīvo aktivitāti. Konkurētspējīgo antioksidantu uz lignīna bāzes iegūšanai ir nepieciešams veikt lignīna produktu mērķtiecīgu modifikāciju un palielināt fenilpropāna vienību ar piesātinātajam sānķēdēm saturu.

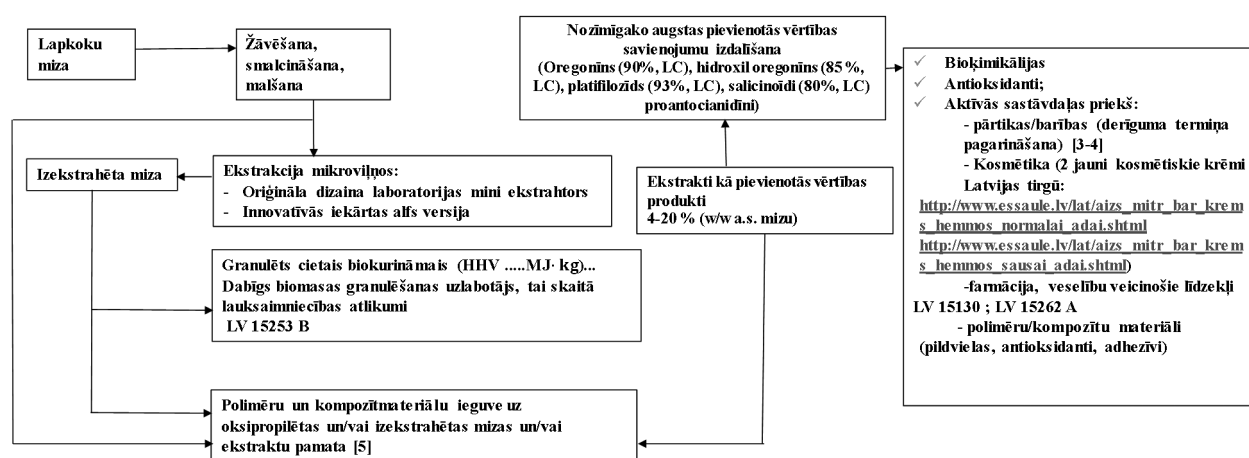
Parādītas PACE izmantošanas iespējas adhezīvu iegūšanai kokskaidu plātņu ražošanā pilnīgi aizvietojo komerciālos FF sveķus. Iegūtie stiprības rādītāji (stiprības robeža statistiskā liecē un elastības modulis statistiskā liecē) liecina, ka kokskaidu plātnes atbilst kokskaidu plātņu standarta EN312 - P2 prasībām.

Laboratorijas pieredze lignīnu oksipropilēšanas darbos poliuretānu materiālu ražošanai ļāva novērtēt iespēju šiem mērķiem izmantot gan izejas, gan izekstrahētu mizu, kā arī iegūtās frakcijas. Polioli, kas iegūti oksipropilēšanas ceļā no baltalkšņa mizas (Tabula 1), tika pārbaudīti cietu poliuretānu putuplastu receptūrās. Tika parādīts, ka aizstājot pat 70% komerciālā poliola Lupranol 3300 poliuretānu īpašības nepasliktinās. Visi iegūtie putuplasti raksturojās ar slēgtu poru sistēmu (> 90%), kas nodrošina augstus termoizolācijas rādītājus.

Tabula 1. Poliolu no mizas un tās produktiem raksturlielumi

Baltalkšņa biomasa	Biomassas saturs, %	Cietais atlikums, %	Viskozitāte, Pa·s	Hidroksilgrupas, %	KAc, %	H ₂ O, %
Miza	10-30	>2,5	0,3-11,2	6,7-16,4	0,8-4,9	>0,15
Mizas atlikums (satur tannīnus) pēc diarilheptanoīdu atdalīšanas	10-30	>5,5	0,4-93	6,2—15,2	0,8-5,3	>0,15
Mizas atlikums pēc tannīnu atdalīšanas	10-30	>5	0,4-300	6,4-15,9	0,8-5,9	>0,15
Tannīnus ekstrakts	10-50	-	0,3-30	7,7-23	1,1-3,7	>0,35

Iegūtie rezultāti izmantoti lapkoku mizas biorafinēšanas shēmas izveidei (Zīm.4). kuras pamatā ir ekstrakti un mizas biomassas atlikuma pēc ekstrakcijas konversija polimēru materiālos vai granulētā cietajā biokurināmajā. Pēdējā gadījumā primāri svarīgi ir, ka kurināmā raksturlielumi pēc ekstrakcijas uzlabojas un apstrāde veicot ekstrakcijas, nerada konkurenci mizas izmantošanai enerģijas ieguvei.



Zīmējums 4. Lapkoku mizas biorafinēšanas shēma papildināta ar 2014-2017 g.g. pētījumu rezultātiem

Secinājumi

Pētījumi parādīja daudzsoļošanas perspektīvas ekstrakcijas klastera integrācijai eksistējošās koku biomassas biorafinēšanas plūsmās, palielinot bioproduktu ar augstu pievienoto vērtību klāstu, samazinot dabīgu bioloģiski aktīvu vielu deficītu un aizvietojo produktus no fosilām izejvielām.

Publikācijas

1. G.Telysheva, T.Dizhbite, M.Lauberts, L.Lauberte, L.Vevere, A. Andersone, A. Arshanitsa. Biorefinery based approach to the bark extraction processing. In Biorefinery for Food & Fuels & Materials, 2015, p.68
2. A.Arshanitsa, G.Telysheva, T.Dizhbite, Y.Akishin, E.Zile. The effect of microwave treatment on plant biomass on its composition and structure. In Biorefinery for Food & Fuels & Materials, 2015, p.68
3. S. Janceva, L. Lauberte, T. Dizhbite, J. Krasilnikova, G. Telysheva, M. Dzenis. Protective effects of proanthocyanidins extracts from the bark of deciduous trees in lipid systems. Holzforschung, 2017, 71(7-8), 675-680.
4. M. Lauberts, G. Telysheva, P. R. Venskutonis, L. Lauberte, T. Dizhbite, R. Kazernavičiūte, A. Pukalskas. Diarylheptanoid-rich extract of grey and black alder barks: an effective dietary antioxidant in mayonnaise. Chemical Papers, 2017, 71(5).
5. L. Vevere, S. Janceva, A. Arshanitsa, G.Telysheva. Polyols from Condensed Tannin Enriched Extracts for Rigid Polyurethane Foam Production. Key Engineering Materials . 2018, 762, 197-202.

POTENTIALITIES OF BIOREFINERY FOR LATVIAN DECIDUOUS TREE BARK

Galina Telysheva^{1*}, Tatjana Dizhbite¹, Liga Lauberte¹, Alexandr Arshanitsa¹, Maris Lauberts¹,
Sarmite Janceva¹, Jevgenija Ponomarenko¹, Jelena Krasilnikova², Lilija Jashina¹,
Anna Andersone¹, Oskars Bikovens¹, Laima Vevere¹, Jegor Akishin¹

¹Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

² Riga Stradins University

* ligno@edi.lv

Investigation of the barks of three Latvian hardwood trees (alders, willows and aspens) were oriented on their application as a raw materials for obtaining of fine and platform chemicals, using extraction fractionation. Quantification of the total yields and components of extracts obtained allow to identify (flavonoid, tannin, diarylheptanoid, salicinoid) compounds for the first time in tree biomass growing in Latvia, detect and isolate (preparative chromatography) determinant compounds for each tree species, foresee principal ways of their application and, respectively, testing. MW assisted extraction, known as an energy and time saving, was realized using originally self-made mini equipment, differing by enhanced efficiency. Besides alpha version of principal new innovative device was created.

Experimentally confirmed high antioxidant properties of extracts and their components showed their high potential for pharmacy, cosmetic, food and polymeric material production. The ways for efficient antioxidant obtaining on the basis of lignin (in the case of its isolation from extracted bark) was shown in silico. Investigation of grey alder bark residue after full cycle of extractions, tannin-rich extract and their combination have demonstrated their capability to carry out the role of building blocks at production of polyols and following obtaining of polyurethane based polymer/composites. The investigations showed the good perspectives for integration of extraction cluster into existing streams of tree biomass biorefinery (Fig.1).

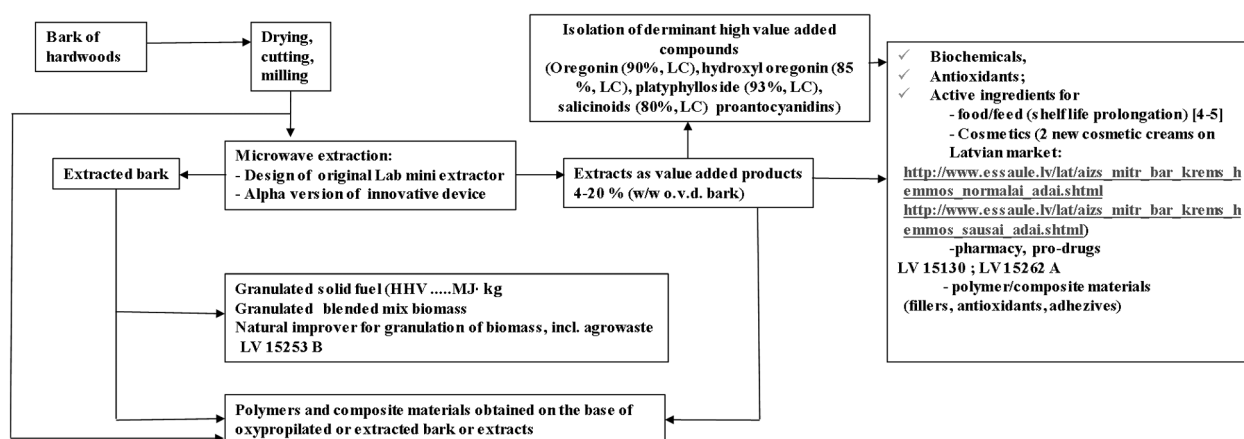


Fig.1. Biorefinery scheme for deciduous trees refreshed with new results (2014.-2017.)

CELULOZES UN KOKSNES ATLIKUMU NANODAĻIŅU IZMANTOŠANA BIOKOMPOZĪTMATERIĀLU ĪPAŠĪBU UZLABOŠANAI

THE USE OF NANOPARTICLES OF CELLULOSE AND WOOD RESIDUES FOR THE IMPROVEMENT OF BIOCOMPOSITE PROPERTIES

Linda Vecbiškēna*, Laura Andže*, Marianna Laka, Linda Rozenberga, Inese Fiļipova, Mārīte Škute, Velta Fridrihsone, Juris Zoldners, Uldis Grīnfelds, **Arnis Treimanis**

*Latvijas valsts koksnes ķīmijas institūts, Rīga, Latvija
Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia
* linda.vecbiskena@gmail.com, laura.andze@gmail.com*

Saskaņā ar Valsts pētījumu programmas “Meža un zemes dziļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” (ResProd) apakšprojekta Nr. 3 “Biomateriāli un bioprodukti no meža resursiem ar daudzpusīgu pielietojumu” uzdevumiem ir optimizēta termokatalītiskās destrukcijas metode (Latvijas Republikas patents Nr.11184), veicot oksidatīvu priekšapstrādi TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidīn-1-il) oksil) radikāļa klātbūtnē, kā arī izstrādāta jauna termokatalītiskās destrukcijas metodes priekšapstrāde – oksidēšana ar amonija persulfātu. Izmantojot termokatalītiskās destrukcijas metodi un tās modifikācijas ar priekšapstrādi, iegūtas koksnes atlikumu (baltalkšņa, melnalkšņa, bērza un priedes mizas) nanodaļiņas, kas izmantotas papīra stiprības un barjerīpašību uzlabošanai. Oksidēšanas priekšapstrādē ar amonija persulfātu iegūtas bakteriālās celulozes nanosfēras un bērza celulozes nanokristāli, un izpētīts to potenciālais pielietojums biopolimēra plēvju mehānisko un bioloģisko īpašību uzlabošanai. Izstrādātā oksidēšanas priekšapstrādes metode ar amonija persulfātu nodrošina ekonomiski izdevīgāku celulozes un koksnes atlikumu nanodaļiņu iegūšanu.

Lai koksni kā meža resursu izmantotu ilgtspējīgi, to nepieciešams izmantot pilnvērtīgi – ar maksimāli augstu lietderību. Tas paredz koksnes atlikumu jeb blakusproduktu izmantošanu kā izejvielu inovatīvu produktu ar paaugstinātu pievienoto vērtību ražošanai. Viens no koksnes atlieku tālākās pārstrādes produktiem ir šķiedras, to pielietojuma robežas ir plašas, piemēram, papīrs, MDF plātnes, siltumizolācijas plātnes u.c. Ņemot vērā šķiedru resursu pieejamību un dažādību Latvijā, gan no zinātniskā, gan praktiskā viedokļa nepieciešams izvērtēt iegūstamā šķiedru materiāla saistīšanās spēju potenciālu un tā uzlabošanas iespējas. Turklāt, fundamentālas zināšanas par vietējās izcelsmes koksni, tās struktūru, šķiedrām, to saistīšanās spējām un uzlabošanas iespējām ir priekšnoteikums to atbildīgai un maksimāli efektīvai izmantošanai. Pētījumā [III] apstiprināts, ka no Latvijā augušas koksnes izdalītu šķiedru saistīšanās spējas var uzlabot ar šķiedru mehānisku priekšapstrādi vai pievienojot no dabiskiem resursiem iegūtas piedevas. Viens no pētījumā iegūtajiem rezultātiem – ar inovatīvu nanodaļiņu iegūšanas metodi, veicot to reģenerāciju no jonu šķidrums, izdalītas celulozes nanodaļiņas no Latvijā selekcionētu apšu hibrīdu koksnes, kā arī noteikta to ietekme uz šķiedru saistīšanās spējām.

Celuloze tiek uzskatīta par dabā visplašāk sastopamo atjaunojamo polimēru. To biosintezē vairāki dzīvie organismi, piemēram, augi, dažas amēbas, jūras organismi, sēnes un baktērijas. Celulozes saturs kokvilnas šķiedrās ir 90%, koksne 40–60% un kaņepēs aptuveni 57%. Celulozi pārsvarā izmanto papīra un kartona ražošanā. Mūsdienās arvien vairāk pieaug pieprasījums pēc produktiem, kas iegūti no atjaunojamiem un ilgtspējīgiem resursiem, dabā sadalās un nekaitē videi, dzīvnieku un cilvēku veselībai. Pateicoties nanocelulozes unikālajām īpašībām un tās potenciālajiem pielietojumu veidiem, interese par materiāliem uz nanocelulozes bāzes ar katru gadu pieaug. Nanoceluloze tiek uzskatīta par labai draudzīgu alternatīvu naftas produktu materiāliem un to iespējams iegūt no jebkura celulozes avota. Nanocelulozei raksturīgas augstas mehāniskās īpašības, caurspīdīgums un biosaderība. Nanoceluloze var tikt izmantota tādās nozarēs kā farmācija, polimērmateriālu un celtniecības materiālu ražošana, kosmētikas un pārtikas nozares, medicīna un biomateriālu izstrāde, elektronika un citas. Balstoties uz citu autoru darbiem, pētījumu [II, IV] ietvaros pielāgota tradicionālā skābes hidrolīzes metode bērza celulozei, iegūtas celulozes nanodaļiņas (NC) ar termokatalītiskās destrukcijas metodi, kas izstrādāta Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta Celulozes laboratorijā (Latvijas Republikas patents Nr.11184), TEMPO katalizētas celulozes oksidēšanas metode pielāgota kā priekšapstrāde termokatalītiskās destrukcijas metodei, kā arī izstrādāta jauna termokatalītiskās destrukcijas metodes priekšapstrāde – oksidēšana ar amonija persulfātu

Materiāli un metodes

Nanodaļiņu iegūšana: Skābes hidrolīzes metodē celulozi (vai koksnes atlikumus) piesūcina ar 64% sērskābi un karsē 45°C temperatūrā 15 min līdz veidojas gelveida masa skābes šķīdumā. Procesu pārtrauc, šķīdumu ielejot aukstā dejonizētā ūdenī. Notiek reģenerācija, iegūstot kristāliskās celulozes nanodaļiņas (vai koksnes atlikumu nanodaļiņas). Pēc vairākkārtējas centrifugēšanas veic dialīzi, lai atdalītu nanodaļiņas no skābes joniem (SH-NC). Termokatalītiskās destrukcijas metodē celulozi (vai koksnes atlikumus) apstrādā ar 0,04% sālsskābi 2 diennaktis. Pēc tam sālsskābi izspiež un materiālu žāvē 100°C temperatūrā 2 h. Pēc žāvēšanas 5 h maļ lodīšu dzirnavās (Termokat-NC). TEMPO katalizēta oksidēšanas priekšapstrādē termokatalītiski destrūgētu celulozi (vai koksnes atlikumus) sašķiedro dezintegrātorā. Suspensijai pievieno TEMPO, NaBr un NaOCl, iztur 1 h 30 min. Pēc tam pievieno 0,5 M NaOH, iztur 1 h 30 min. Tad pievieno 0,5 M HCl, iztur 1 h. Maisījumu nofiltrē un skalo ar dejonizētu ūdeni. Gela iegūšanai apstrādāto celulozi maļ lodīšu dzirnavās 3 h (TEMPO-NC). Oksidēšanas priekšapstrādē ar amonija persulfātu celulozi (vai koksnes atlikumus) aplej ar 1 N HCl, kurā izšķīdināts amonija persulfāts. Maisot 4 h karsē 50–60°C temperatūrā ar atteces dzesinātāju. Oksidēto celulozi (vai oksidētos koksnes atlikumus) filtrē un atmazgā ar destilētu ūdeni, pēc tam aplej ar 2% NaOH un maisot 40 min karsē 50–60°C temperatūrā ar atteces dzesinātāju. Tad atkal filtrē, atmazgā ar destilētu ūdeni un maļ lodīšu dzirnavās 1 h (Persulf-NC).

Nanodaļiņu raksturojums: Celulozes un koksnes atlikumu nanodaļiņu izmēri novērtēti ar augstas izšķirtspējas skanējošo elektronu mikroskopiju (SEM, *FEI Helios Nanolab 600*, ASV; sadarbībā ar Tartu Universitāti Igaunijā) un atomspēku mikroskopiju (AFM, *Park AFM XE-100 Atomic Force Microscope*, Dienvidkoreja; sadarbībā ar Daugavpils Universitāti). Zeta potenciāls noteikts ar iekārtu *Zetasizer Nano ZS90* (*Malvern*, Lielbritānija), analizējot 0,01% nanodaļiņu suspensiju. Kristālitu izmēri rēķināti no rentģendifraktogrammām (*D8 Advance*, *Bruker*, Vācija), izmantojot *BGMN Rietveld* programmu.

Koksnes atlikumu nanodaļiņu geli un to pielietojums: Neekstragētās un biorafinērijā ekstragētās baltalkšņa, melnalkšņa, bērza un priedes mizas apstrādātas, izmantojot izstrādāto termokatalītiskās destrukcijas metodi (Termokat-NC). Saskaņā ar metodi mizas piesūcina ar vājas sālsskābes šķīdumu un termiski apstrādā pie paaugstinātas temperatūras līdz sausam stāvoklim. Daļēji destrūgētos koksnes atlikumus pie koncentrācijas 8–10% disperģē ūdens vidē lodīšu dzirnavās, lai iegūtu nanodaļiņu gelu. Pētīta nanodaļiņu ietekme uz papīra mehāniskajām īpašībām (stiepes stiprību sausā un mitrā stāvoklī, caurspiešanas stiprību) un barjerīpašībām, ievadot gelus balinātas bērza sulfātelulozes masā vai veidojot gelu vai gelu maisījumu ar hitozāna šķīdumu pārklājumus uz papīra lapas (Papīrfabrika “Līgatne”).

Papīra atlējumi un to raksturojums: Iegūto nanodaļiņu ietekme uz papīra izturību tika noteikta celulozes šķiedru atlējumiem, kuri sagatavoti laboratorijas papīrmašīnā *Rapid Köthen* (PTI, Austrija) un kuru gramāža atbilst ISO 5269/2-1980 standartam (75 g m⁻²). Mehāniskās īpašības papīra paraugiem noteiktas, izmantojot *Frank* firmas ražotās stiepes un caurspiešanas pretestības mēriekārtas (*Frank Tensile Tester* un *Burst Tester for Paper*, Vācija; DIN EN ISO 1924-1 un ISO 2758 standarti). Ūdens tvaika caurlaidība mērīta ar *W3/330 Water Vapor Transmission Rate Test System* (*Diamon Labthink*, ASV; ISO 15106-3) sadarbībā ar Bangoras Universitāti Lielbritānijā. Papīra gaisa caurlaidības noteikšanai izmantota standartizēta klasiskā *Bendtsen* gaisa caurlaidības iekārta (*Lorentzen & Wettre*, Zviedrija; ISO 5636-3).

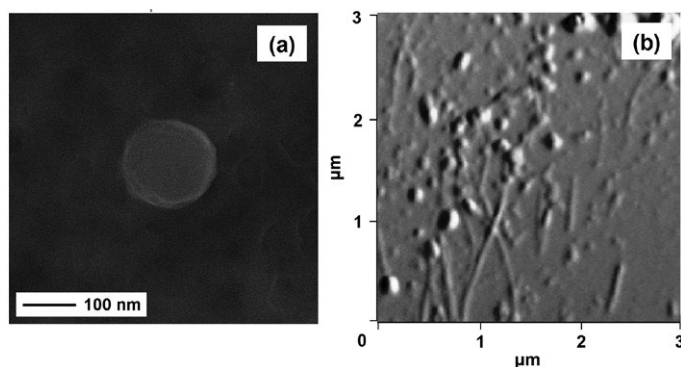
Biopolimēra plēves un to raksturojums: Pētījuma ietvaros izstrādātas hitozāna–celulozes nanodaļiņu plēves (celulozes avoti: bērza celuloze – *Birch Kraft Pulp*, *Södra Cell AB*, Zviedrija; bakteriālās celuloze – biosintezēta, izmantojot baktēriju *Komagataeibacter rhaeticus*) un hitozāna–bērza mizas nanodaļiņu plēves (*melnalkšņa mizas nanodaļiņas neuzrādīja vēlamās īpašības, tāpēc turpmākajos pētījumos nav izmantotas*), kā arī izpētītas to īpašības – mehāniskās un bioloģiskās. Sagatavotā 2% hitozāna etiķskābes (1%) šķīdumā iemaisa celulozes nanodaļiņu gelu ūdenī vai bērza mizas nanodaļiņu gelu ūdenī (1–2% gels) rēķinot, ka absolūti sausa hitozāna un absolūti sausas celulozes vai mizas nanodaļiņu attiecība ir 1:1. Sagatavoto šķīdumu homogenizē ar ultraskaņu (*Ultrasonic Homogenizer Ultrasonic Cell Crusher Sonic 650W*, *MRC Scientific Instruments*, Lielbritānija). Iegūto šķīdumu lej organiskā stikla Petri traukā un novieto žāvskapī 45°C temperatūrā (*Memmert*, Vācija). Mehāniskās īpašības biopolimēra plēvju paraugiem noteiktas, izmantojot *Frank* firmas ražoto stiepes mēriekārtu (*Frank Tensile Tester*, Vācija; DIN EN ISO 1924-1 standarts). Antimikrobiālā aktivitāte pētīta ar standarta EN ISO 20645:2004 metodi (difūzija agara platē). Antimikrobiālās īpašības novērtētas pret patogēnajām baktērijām: *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) un *Escherichia coli* (ATCC 25922) (sadarbībā ar Latvijas Universitāti). Citotoksicitāte noteikta *in vitro* šūnu pārbaudēs, izmantojot osteosarkomas šūnu līniju *Saos-2* (sadarbībā ar Milānas Politehnisko universitāti Itālijā). Šūnu dzīvotspēja pētīta ar *Alamar Blue* šūnu dzīvotspējas testu (*Life Technologies*, Monza, Itālija), mērot fluorescenci (*Tecan Genius Plus*, *Tecan Italia S.r.l.*, Milāna, Itālija).

Rezultāti

Skābes hidrolīzes metode ir vienkārša, ar mazu enerģijas patēriņu un lētiem reagentiem. Metodē tiek iegūta NC ar augstu kristāliskuma pakāpi, bet metode prasa lielu ūdens patēriņu dialīzes procesam. NC iegūšanai tiek izmantota 64% sērskābe, kas neatbilst “zaļajai ķīmijai”. Termokatalītiskās destrukcijas metode atbilst “zaļās ķīmijas” metodei, jo tiek izmantota stipri atšķaidīta sālsskābe, taču metode prasa lielu enerģijas patēriņu un kristāliskuma pakāpe ir zemāka. TEMPO katalizēta

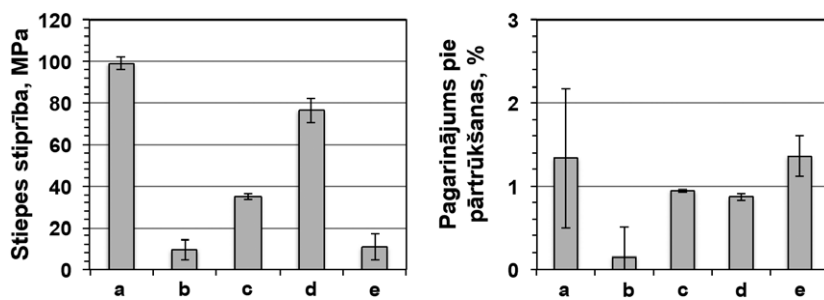
oksidēšana, pirms termokatalītiskās metodes malšanas procesa, samazina enerģijas patēriņu par 40%, samazinot malšanas laiku no 5 līdz 3 h, taču metode vairs neatbilst “zaļajai ķīmijai”, jo tiek izmantoti agresīvi reaģenti. Kristāliskuma pakāpe ir lielāka nekā izejas celulozei, bet mazāka kā skābes hidrolīzes metodē. Lai uzlabotu termokatalītiskās destrukcijas metodi, tika izstrādāta jauna priekšapstrādes metode – oksidēšana ar amonija persulfātu. Oksidēšanas priekšapstrāde ar amonija persulfātu samazina enerģijas patēriņu par 80%, samazinot malšanas laiku no 5 līdz 1 h. Kristāliskuma pakāpe oksidēšanas procesā palielinās par 50%, kas ir tuvu SH-NC kristāliskuma pakāpei [1].

Oksidēšanas priekšapstrādē ar amonija persulfātu iegūts NC maisījums ar sfēriskām bakteriālās celulozes (biosintezēta, izmantojot baktēriju *K. rhaeticus*) daļiņām, kuru diametrs ir robežās no 80 ± 15 līdz 200 ± 15 nm (Zīm. 1a), un bērza celulozes (*Birch Kraft Pulp, Södra Cell AB, Zviedrija*) nanokristāli ar diametru 80 ± 15 nm un garumu 600–1200 nm (Zīm.1b). NC un hitozāna-NC plēvju mehāniskās īpašības atkarīgas no celulozes izcelsmes: visaugstākā stiepes stiprība bija oksidētās bakteriālās celulozes filmai (Zīm.2. a) un hitozāna-oksidētās bakteriālās celulozes filmai (Zīm.1d); viszemākā stiepes stiprība – oksidētās bērza celulozes filmai (Zīm.2b) un hitozāna-oksidētās bērza celulozes filma (Zīm.2e). Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka oksidētās bakteriālās celulozes nanodaļiņu pievienošana uzlabo stiepes stiprību divas reizes, salīdzinot ar tīru hitozāna plēvi (Zīm.2c). Iegūtās biopolimēru plēves uzrāda antimikrobiālo aktivitāti pret patogēnajām baktērijām – *S. aureus* ATCC 25923 un *E. coli* ATCC 25922. Izstrādātās biopolimēru plēves uzrādīja labu biosaderību ar *Saos-2* šūnām, tas nozīmē, ka izstrādātie materiāli nav citotoksiski un pastāv iespēja to turpmākai izpētei, lai izstrādātu inovatīvus materiālus dažādiem pielietojumiem biomedicinā [2–4].



Zīmējums 1. Oksidēšanas priekšapstrāde ar amonija persulfātu:

(a) SEM attēls – bakteriālās celulozes nanosfēras, (b) AFM attēls – bērza celulozes nanokristāli (skenētais laukums $3 \times 3 \mu\text{m}$).



Zīmējums 2. Nanodaļiņu plēvju mehāniskās īpašības: (a) Persulf-NC-bakteriālās celulozes filma, (b) Persulf-NC-bērza celulozes filma, (c) hitozāna filma, (d) hitozāna-Persulf-NC-bakteriālās celulozes filma un (e) hitozāna-Persulf-NC-bērza celulozes filma.

Atlējumu, kas sagatavoti celulozes šķiedrām pievienojot koksnes atlikumu nanodaļiņu (Termokat-NC) gelus, mehāniskie rādītāji palielinās, palielinoties nanodaļiņu daudzumam. Nanodaļiņas, kas iegūtas no ekstrahētām melnalkšņa un priedes mizām pie to satura 20% palielina stiepes stiprību sausā un mitrā stāvoklī un caurspiešanas stiprību attiecīgi par 40 un 30%, 73 un 67%, 25 un 14% [5]. Pārklājot papīra lapas ar geliem, palielinās gaisa caurlaidības pretestība. Tas izskaidrojams ar to, ka nanodaļiņas pārklāj mikro- un submikrotukšumus starp šķiedrām un fibrilām un uzlabo barjerīpašības. Pārklājumi pie biezuma $25,0 \mu\text{m}$, kas iegūti no ekstrahēto bērza, melnalkšņa un priedes mizu nanodaļiņu 6% geliem, palielina gaisa pretestību attiecīgi par 139, 16 un 50% [6]. Pārklājumi uzlabo arī mehāniskos rādītājus – stiepes stiprību sausā stāvoklī un caurspiešanas stiprību. Tie pārklājumi, kas iegūti no bērza, melnalkšņa un priedes ekstrahēto mizu 6% nanodaļiņu geliem pie biezuma $25 \mu\text{m}$, palielina stiepes stiprību attiecīgi par 9,5, 8,9 un 4,3% un caurspiešanas stiprību par 43, 12 un 42%. Mehānisko rādītāju kā arī gaisa caurlaidības izmaiņas ir atkarīgas no pārklājuma biezuma un nanodaļiņu gela koncentrācijas. Īpaši liels efekts tiek sasniegts, ja nanodaļiņu gelus lieto maisījumā ar hitozāna šķīdumiem. Piemēram, pārklājumu gadījumā, kas iegūti no maisījuma, kas satur 70% hitozāna 2% šķīduma un 30% tās pašas koncentrācijas neekstrahēto melnalkšņa mizu nanodaļiņu gela pie pārklājuma biezuma $20 \mu\text{m}$ stiepes un caurspiešanas stiprība palielinās attiecīgi 1,5 un 2 reizes un gaisa caurlaidības pretestība – 425 reizes.

Celulozes šķiedru atlējumu mehāniskās īpašības vislabāk uzlabo Persuf-NC, uzlabojot stiepes indeksa vērtību par 30%, bet caurspiešanas indeksa vērtību par 25%. Gaisa caurlaidību NC samazina par 60-70% un Persulf-NC samazina ūdens tvaika cauraidību par 25%. Stiepes stiprība atkarīga gan no melnalkšņa un bērza mizu nanodaļiņu iegūšanas metodes, gan zeta potenciāla vērtības. 10–20% melnalkšņa un bērza mizu nanodaļiņu piedeva uzlaboja papīra stiepes stiprību. Papīra stiepes stiprība, pievienojot mizu nanodaļiņas, kas iegūtas ar oksidēšanas priekšapstrādi, izmantojot amonija persulfātu, tika uzlabota par 15–20%. Kontroles paraugam nepieciešams ilgs laiks klimatizācijai (1 h), tas liecina par ūdens tvaika adsorbiju un absorbciju papīra paraugā. TEMPO katalizētas oksidēšanas bērza mizas nanodaļiņu pievienošana samazina ūdens tvaika caurlaidību par 15%, turpretim amonija persulfāta oksidētu bērza mizas nanodaļiņu pievienošana – par 20%, un klimatizācija notiek 5 min laikā [IV].

Secinājumi

Izmantojot optimizētu termokatalītiskās destrukcijas metodi, iegūti koksnes atlikumu nanodaļiņu geli, kurus ieviedot papīrmasā vai lietojot kā pārklājumus maisījumā ar hitozāna šķīdumiem, uzlabotas papīra īpašības. Pievienojot 10–20% mizu nanodaļiņu, papīra stiepes stiprība uzlabota vidēji par 15–20% un ūdens tvaika caurlaidība samazināta vidēji par 15–20%, salīdzinot ar kontroli (papīra paraugu bez mizu nanodaļiņu piedevas). Izstrādāta jauna nanocelulozes iegūšanas metode, izmantojot priekšapstrādi ar amonija persulfātu. Oksidēšanas priekšapstrādē ar amonija persulfātu termokatalītiskās destrukcijas metodes ietvaros, iegūtas sfēriskas bakteriālās celulozes nanodaļiņas un bērza celulozes nanokristāli. Celulozes nanopildvielu iekļaušana hitozāna matricā uzlaboja biopolimēra plēvju īpašības, tādas kā stiepes stiprība un bioloģiskās īpašības – *in vitro* šūnu biosaderība un antimikrobiālā aktivitāte pret patogēnajām baktērijām. Nanocelulozi, kas iegūta oksidēšanas priekšapstrādē ar amonija persulfātu, var izmantot kā piedevu papīra īpašību uzlabošanai vai kā izejmateriālu nanopapīra iegūšanai.

Pateicības

Celulozes laboratorija ir pateicīga saviem sadarbības partneriem – Latvijas Universitātei, Daugavpils Universitātei, Tartu Universitātei, Bangoras Universitātei un Milānas Politehniskajai universitātei – par sadarbību un atbalstu. Linda Vecbiškēna izsaka savu pateicību COST akcijas FP1205 granta turētājam – RISE *Research Institutes of Sweden* – par finansiālu atbalstu īstermiņa zinātniskajai vizītei Milānas Politehniskās universitātes Ķīmijas, materiālu un ķīmijas tehnoloģijas institūtā “G.Natta” (COST-STSM-FP1205-26877), savukārt Laura Viķele (šobrīd – Andže) – Bangoras Universitātes Biokompozītu centrā (COST-STSM-FP1205-17547).

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāts 1 zinātniski pētnieciskais darbs, kas prezentēts Latvijas 40. skolēnu zinātniskajā konferencē un godalgots ar pirmās pakāpes diplomu:
 1. Āgenskalna Valsts ģimnāzijas skolnieces Beļūne K., Grizāne, L.A., Ekodizains: otrreizēji pārstrādāta papīra iepakojuma materiāli un to fizikāli-mehāniskās īpašības (vadītāja – Vecbiškēna L.).
- II. Izstrādāti un aizstāvēti 2 maģistra darbi:
 1. Rozenberga L., Nanoceluloze: iegūšana ar amonija persulfātu, raksturošana un pielietojums (maģistra darbs aizstāvēts 21.06.2016. Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, vadītāji: Viķele L., Reihmane S.).
 2. Birska, I., Mikrokristāliskās celulozes iegūšana augstas veiktspējas kompozītu veidošanai ar polietilēnu (maģistra darbs 21.06.2016. Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, vadītāji: Viķele L., Gaidukovs S.).
 3. Šāble I. (šobrīd – Fiļipova I.), Koksnes šķiedru saistīšanās spēju uzlabošana (promocijas darbs aizstāvēts 21.06.2016. Latvijas Lauksaimniecības universitātes Mežzinātņu un materiālzinātņu nozares promocijas padomē, vadītāji: Treimanis A., Morozovs A.).
- III. Andže L. (šobrīd – Andže L.), Bionoārdošu dabas polimēru izmantošana iepakojamā papīra īpašību uzlabošanai (promocijas darbs aizstāvēts 25.08.2016. Latvijas Universitātes Ķīmijas nozares promocijas padomē, vadītāji: Treimanis A., Actiņš A.).

Publikācijas

1. Rozenberga L., Vikele L., Vecbiskena L., Sable I., Laka M. Preparation of nanocellulose using ammonium persulfate and method's comparison with others. *Key Engineering Materials*, 2016, 674, pp.21–25.
2. Vecbiskena, L. Vikele, L. Rozenberga, I. Sable. Wood-based biocomposites: mechanical processing, physical and biological properties. *Key Engineering Materials*, 2016, 674, pp. 26–30.
3. Vecbiskena L., Rozenberga L., Vikele L., Vlasov S., Laka M. Bio-based nanomaterials – versatile materials for industrial and biomedical applications. *Japanese Journal of Applied Physics – Conference Proceedings*, 2016, 4, pp. 011109-1–011109-5.
4. Vecbiskena L., Rozenberga L. Nanocelluloses obtained by ammonium persulfate (APS) oxidation of bleached kraft pulp (BKP) and bacterial cellulose (BC) and their application in biocomposite films together with chitosan. *Holzforschung*, 2017, 71(7-8), pp. 659–666.
5. Laka M., Vikele L., Rozenberga L., Janceva S. Nanoparticle Fillers Obtained from Wood Processing Wastes for Reinforcing of Paper. AIP Conference Proceedings of VIII International Conference on “Times of Polymers and Composites”, 19–23 June 2016, Ischia, Italy, 1736, pp.020112-1–020112-4.
6. Laka M., Skute M., Janceva S., Fridrihsone V., Sable I., Vecbiskena L., Grinfelds U., Andze L., Zoldners J. Nanoparticle Gels Obtained from Hardwood and Softwood Bark for Reinforcing of Paper. *Solid State Phenomena*, 2017, Vol. 267, pp. 12–16.

THE USE OF NANOPARTICLES OF CELLULOSE AND WOOD RESIDUES FOR THE IMPROVEMENT OF BIOCOMPOSITE PROPERTIES

Linda Vecbiškēna*, Laura Andže*, Marianna Laka, Linda Rozenberga, Inese Filīpova, Māriete Škute, Velta Fridrihsone, Juris Zoldners, Uldis Grīnfelds, Arnis Treimanis

Latvian State Institute of Wood Chemistry, Riga, Latvia

* linda.vecbiskena@gmail.com, laura.andze@gmail.com

Cellulose, the most abundant organic compound in nature, is one of the most widespread natural polymers and has been extensively investigated for decades. Although frequently derived from plants, cellulose is also synthesized by a variety of microorganisms such as bacteria, algae and fungi. In the last decade, nanocellulose (NC) – as a broad term for describing many different versions of extremely small scale fibrillated or crystalline cellulose – has generated an increasing attention as a potential source for innovative biomaterials because of its remarkable physical properties, a specific surface chemistry and excellent biological properties like biocompatibility, biodegradability and low toxicity. Some of the promising applications of nanocellulose are drug delivery systems, wound dressing materials, substitutes for skin and bone tissue repair, scaffolds for cellular culture, pharmaceutical products, electronics and others.

The already existing methods for obtaining nanoparticles of cellulose (or wood residues) have been developed, modified or approved and compared with each other, in order to get nanoparticles with economically and energetically the most optimal method. The method of acid hydrolysis is simple, with low energy consumption and cheap reagents, but the method requires high water consumption for the dialysis process. In addition, NC with a high degree of crystallinity is obtained (AH-NC). In order to obtain NC, 64% sulfuric acid is used, which does not correspond to the “green chemistry”. The thermocatalytic destruction method corresponds to the “green chemistry” method, because a highly diluted hydrochloric acid is used, but the method requires high-energy consumption and the degree of crystallinity is lower. TEMPO catalysed oxidation of cellulose before the process of milling according to the thermocatalytic method decreases the energy consumption by 40%, decreasing the milling time from 5 to 3 h, but the method does not correspond to the “green chemistry” anymore due to the use of aggressive reagents. Pre-oxidation with ammonium persulfate before the milling process of the thermocatalytic method decreases the energy consumption by 80%, decreasing the milling time from 5 to 1 h (Pe-NC). Degree of crystallinity during the oxidation process increases by 50%, which is near to the degree of crystallinity of AH-NC. The impact of NC obtained by the new-developed pre-oxidation method on properties of fibre sheets is by ~10% more efficient than that of the other nanocellulose samples.

Cellulose nanoparticles were obtained *via* ammonium persulfate oxidation of bleached birch kraft pulp (Södra Cell AB, Sweden) and unmodified bacterial cellulose pellicles, biosynthesized by the bacterium *K. rhaeticus*. Chitosan matrix tuned by bacterial cellulose nanoparticles resulted in an increase of the mechanical and biological properties of the biocomposite films. In particular, the chitosan film tuned with bacterial cellulose nanoparticles disposed of 50% higher tensile strength than chitosan film. Cellulose nanofiller-doped chitosan films are nontoxic and have the ability to promote cell attachment and spreading. The results of antibacterial tests confirmed that these films inhibit the growth and development of Gram-positive *S. aureus* and Gram-negative *E. coli*.

**ZEMES DZĪĻU RESURSU IZPĒTE
DABISKO IZEJVIELU DAŽĀDOŠANAI
UN JAUNU TEHNOĻĪJU IZSTRĀDEI**

**INVESTIGATION OF THE ENTRAILS
OF THE EARTH TO OBTAIN VARIOUS
NATURAL RAW MATERIALS AND
DEVELOP NEW TECHNOLOGIES**

ZEMES DZĪĻU RESURSU IZPĒTE - JAUNI PRODUKTI UN TEHNOĻĪJAS

STUDIES OF MINERAL RESOURCES - THE NEW PRODUCTS AND TECHNOLOGIES

Valdis Segliņš^{1*}, Gaida Sedmale², Ruta Švinka², Visvaldis Švinka²,
Līga Bērziņa-Cimdiņa², Māris Kļaviņš¹, Olga Mutere¹

¹ Latvijas Universitāte, Rīga, Latvija

² Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija

¹ University of Latvia, Riga, Latvia

² Riga Technical University, Riga, Latvia

* valdis.seglins@lu.lv

Zemes dzīļu resursu izpēte Valsts pētījumu programmā 2014.10-4/VPP-6/6 “Meža un zemes dzīļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” (ResProd) (2014-2017) tika iecerēta un realizēta ar mērķi veicināt zemes dzīļu resursu izmantošanas ilgtspējību, racionāli izmantot Latvijas vietējos resursus globālajā tirgū konkurētspējīgu produktu ražošanai, vienlaicīgi saglabājot ilgtspējību, dabas daudzveidību un arī sociālo lomu tuvākā nākotnē un nākošām paaudzēm.

Pētījumu uzdevumi ietver plašu jautājumu loku, kas saistīti ar tautsaimniecībai un sabiedrībai vajadzīgiem materiāliem un produktiem vērtības pievienošanas ķēdē, no derīgo izrakteņu īpašību un pieejamības izpētes līdz jaunām tehnoloģijām un konkurētspējīgiem inovatīviem produktiem importēto aizstāšanai nākotnē. Šie jautājumi jau tika apskatīti iepriekšējos gados izstrādātā valsts pētījumu programmā [1], kas ļāva daudzus lietišķas ievirzes jautājumus tikai ieskicēt, bet nepieciešamo dabisko izejvielu kvalitatīvās īpašības konkurētspējīgu materiālu ražošanai un to pieejamība, kā arī inovatīvu nišas produktu un konkurētspējīgu materiālu radīšanai tika skatītas šajā pētniecības programmā. Jau veidojot pētniecības programmu, būtisks zinātniskās darbības aspekts bija paplašināt sabiedrības izpratni par zināšanu un inovāciju lomu valsts attīstībā, konkurētspējā un sabiedrības labklājībā. Tādēļ projekta realizācijai tika apvienotas vadošās pētniecības un izglītības institūcijas Latvijas zemes dzīļu un meža izpētes jomās - Latvijas Universitātes un Rīgas Tehniskās Universitātes sešas atsevišķas pētnieku grupas.

Projektā iecerētais daudzējādā ziņā ir ticis realizēts, tomēr iecerētais tiešais ieguldījums tautsaimniecībā kavējas ārēju apstākļu dēļ, kas neļāva zinātniskās izstrādes daudz straujāk ieviest ražošanā. Tā ilgstoša kavēšanās ar *Rail Baltica* maršruta trases un būvniecības termiņu novirzēm neļāva mērķtiecīgi virzīt dolomīta resursu pētījums konkrētām saimnieciskām vajadzībām nākotnē. Līdzīgi, arī laika ziņā vairāku gadu pārrāvums Eiropas Savienības lietišķo un pētniecisko grantu pieejamībā, nav ļāvis daudzas iestrādes attīstīt līdz produktu un tehnoloģiju prototipiem. Tāpat neadekvātās elektrības cenas valstī ar OIK un jaudas papildus izmaksām, neļāva ražošanas uzņēmumiem ieviest ražošanā daudzus jaunus produktus un izstrādātos patentus, un pašreizējos ekonomiskos apstākļos izslēdz jaunu inovatīvu produktu konkurētspējīgu ražošanu.

Iepriekšēji minētais lika pārskatīt pētniecības programmas pārorientāciju no viena vai dažu konkrētu mērķu sasniegšanas uz atsevišķu pētījumu priekšmetu pētniecību, kas ļautu sagatavot apstākļus un pietiekamas zināšanas sociālajiem partneriem, lai mainītos ekonomiskiem nosacījumiem, uzņēmumi spētu ieviest jaunas tehnoloģijas un produktus. Projektu veido 6 savstarpēji saistīt un papildinoši, ar augstu sinerģiju sasaistīti apakšprojekti. To specifiskie uzdevumi koncentrējās uz aktuālām tautsaimniecības problēmām un sniedza augstvērtīgus zinātniskus rezultātus.

Galvenie pētījumu virzieni

Pirmais apakšprojekts „Zemes dzīļu resursu izpēte dabisko izejvielu dažādošanai un jaunu tehnoloģiju izstrādei” (pētniecības grupas vadītājs Dr. Valdis Segliņš, noslēguma posmā – Dr. Agnese Kukela) pētīja un attīstīja noteiktas kvalitātes derīgo izrakteņu ģeoloģiskās un ģeofizikālās pētniecības metodes. Šie pētījumi rezultējās ar pieciem promocijas darbiem un vairākām zinātniskām monogrāfijām. Tajās izklāstīti jauni risinājumi ģeofizikālo pētījumu veikšanai purvos un inženierbūvēs, būtiski paaugstinot mērījumu precizitāti un šobrīd tiek ieviesti uzņēmumos. Citi, ļauj pamatoti prognozēt jaunas smilts un grants iegulas un novērtēt to kvalitāti. Nozīmīgs ieguldījums zinātnē un arī lietišķajos pētījumos ir

divu jaunu monogrāfiju sagatavošanai un izdošanai latviešu valodā par Latvijas dolomītiem un kvarca smiltīm, kas ļauj šīs zināšanas nepastarpināti izmantot uzņēmējiem. Izceļami arī rezultatīvi pētījumi par Latvijas krāsu zemēm, kas ļauj iegūt visai daudzveidīgus krāsu pigmentus no vietējām dabiskajām izejvielām un veiktās pārbaudes ir ļāvušas pilnveidot pigmenta sagatavošanas tehnoloģiju un ir pieejami jau pirmie produktu prototipi.

Otrajā apakšprojektā „Mālu īpašību izpēte izmantošanai saules aizsargkrēmos, biodegradablu kompozitmateriālu un jauna granulveida sorbenta iegūšanai” (pētniecība grupas vadītāja Dr. Līga Bērziņa – Cimdiņa) tika pētītas Latvijas mālu izmantošanas iespējas dažādās nozarēs – kosmētikā un vides tehnoloģijās vides kvalitātes uzlabošanai. Konstatēts, ka mālus var izmantot kā vienu no UV filtriem saules aizsargkrēmos, piešķirot krēmam gaiši brūnu toni. Izveidots prototips krēmam ar SPF aptuveni 9. Pētījumos Latvijas māliem konstatēta arī spēja nedaudz uzlabot emulsiju stabilitāti, bet papildus būtu jālieto arī citi emulsiju stabilizējoši savienojumi. Tāpat apakšprojekta ietvaros ir izstrādāts prototips - izsmidzināms alternatīvs ikdienas atkritumu pārklājums, kas, galvenokārt, sastāv no Latvijā plaši sastopamiem un viegli pieejamiem izejmateriāliem: illīta māliem, pārstrādāta papīra, koksnes šķiedrām. Eksperimentāli pārklājums tika testēts, izsmidzinot to uz organiskiem un polimērmateriāliem arī āra apstākļos. Konstatēts, ka izstrādātais pārklājums veido labu saķeri un paliek uzsmidzinātājā vietā, nenoslīdot no polimēru izstrādājumiem. Pētījuma rezultāti apstiprināja, ka izstrādātais pārklājums var samazināt gāzu izdalīšanos apkārtējā vidē no atkritumu slāņa. Materiāls aprobēts Latvijas uzņēmumā. Tāpat ir pētīti un izstrādāti jauni Latvijas mālus saturoši sorbenti vides kvalitātes uzlabošanai. Par vienu no materiāliem iegūts Latvijas patents - mālu-stikla porainas keramikas sastāvs un izgatavošanas tehnoloģija. Divi izstrādātie sorbenti aprobēti Latvijas uzņēmumā naftas produktu un organisku savienojumu sorbcijai. Sistemātiski pētīti mālu-stikla atkritumu kompozīti un konstatēts, ka 10% stikla saturs ir optimālais pie zemām apdedzināšanas temperatūrām (700-800°C) un sasniedz 20 MPa (spiedes stiprība), bet stikla saturs 13% palielina spiedes stiprību par 50-100% visā apdedzināšanas diapazonā (700-1000 °C) un pieaug palielinoties temperatūrai.

Trešajā apakšprojekta „Zemtemperatūras keramikas materiālu izstrāde, pielietojot Latvijas minerālās izejvielas” (pētniecības grupas vadītāja Dr. Gaida Sedmale) pētījumi ļāva izstrādāt vairākus jaunus visai perspektīvus materiālus. Tā, pielietojot ķīmiski un termiski apstrādātu Apriķu atradnes mālu – koku pelnu maisījumus ar dolomīta/ kaļķakmens un kvarca smilšu kā pucolāna piedevas, detalizēti tika pētīti un izstrādāti divu veidu materiāli: zemās temperatūrās ($\geq 20^{\circ}\text{C}$) cietējošas, romāncementa tipa saistvielas ar pietiekamu ($\sim 5\text{MPa}$) mehānisko izturību restaurācijas darbiem, kā arī tika pārbaudīts minēto maisījumu saķepšanas process temperatūru intervālā 600°C - 1000°C . Tas ļāva iegūt dažādas nokrāsas porainus būvniecībā pielietojamus keramikas materiālus, kuru spiedes izturība ir robežās 12-15MPa, atkarībā no konkrētā maisījuma un saķepināšanas temperatūras. Kā nozīmīgs zinātnisko pētījumu rezultāts, izceļama optimizēta divu veidu mālu (Apriķu iegulas un Nīcgales atradnes) ietekme uz elastības moduļa un spiedes stiprības izmaiņām, kā arī kordierīta kristāliskās fāzes veidošanos augsttemperatūras porainas kordierīta keramikas saķepšanas procesā pie maksimālās temperatūras 1300°C un 1350°C . Šiem rezultātiem ir nozīmīgs komercializācijas potenciāls. Papildus ieskicēts jauns pētījumu virziens – mālaino minerālu – illītu nano-daļiņu pielietojums biomimetikas procesā, izstrādājot šūnveida biokeramikas paraugus.

Ceturtajā apakšprojektā „Augsti porainu keramikas materiālu ieguve un sorbcijas procesu analīze” (pētniecības grupas vadītāji Dr. Ruta Švinka un Dr. Visvaldis Švinka) pētniecības darbs tika veikts, galvenokārt, divos virzienos. Galvenais no tiem – jauni mālu keramikas materiāli piesārņota ūdens attīrīšanai no dažādām piesārņojošām vielām. Visā apakšprojekta realizācijas laikā iegūtas porainas Devona un Kvartāra mālu granulas ar dažādām sorbcijas īpašībām. Noskaidrotas iespējas izmantot dažādus organiskas dabas ražošanas blakusproduktus mālu granulu sorbcijas spējas uzlabošanai. Granulu noderīgums piesārņota ūdens attīrīšanai pārbaudīts LU Mikrobioloģijas un biotehnoloģiju institūtā, un iegūti labi rezultāti. Pēdējā gada laikā iegūts jauns kompozīta materiāls uz Devona mālu bāzes, kurš sastāv no daļēji dehidrosilētiem mālu minerāliem un aktivētās ogles. Blakus minētajiem Devona māliem, jaunā materiāla iegūšanai izmantotas zāģu skaidas 30-50 % apmērā. Kompozīta materiāls sastāv no divām atšķirīgā rakstura komponentēm, un tā sorbcijas īpašības ir ievērojami uzlabotas. Par šo materiālu iegūts Latvijas patents un sniegti ziņojumi divās starptautiskās konferencēs, kā arī sagatavots raksts Elsevier izdevniecības žurnālam “Comptes Rendus Chimie”.

Otrs apakšprojekta zinātnisko pētījumu virziens ir augsti poraina oksīdu keramika uz filosilikāta (talka) bāzes. Augsti porainu (porainība $> 50\%$) kordierīta keramikas materiālu mehāniskās izturības palielināšanai izmantotas nanodispersas piedevas, kas vienlaicīgi ir uzlabojušas arī to filtrācijas un sorbcijas spēju. Materiāls ir izmantojams arī karstu un agresīvu šķīdumu attīrīšanai no piesārņojuma, kas ir visai perspektīvs produkts tā komercializācijai un jauna pētniecības virziena attīstībai nākotnē.

Piektajā apakšprojektā „Kūdras, sapropela, mālu īpašību un modifikācijas iespēju pētījumi” (pētniecības grupas vadītājs Dr. Māris Kļaviņš) pētniecība aptvēra visai plašu zemes dziļu resursu dažādību. Kūdra, sapropelis un māli ir nozīmīga Latvijas zemes dziļu resursu grupa, kas pašlaik lielā mērā tiek izmantota zemas pievienotās vērtības produktu ražošanai ar minimālu apstrādi vai bez apstrādes vispār. Risinājumi jaunu, augstas pievienotās vērtības produktu izstrādei tautsaimniecības vajadzībām var pamatoties uz sekojošiem risinājumiem: detalizēta resursu sastāva izpēte, kas var pamatot jaunus izstrādes risinājumus; dabas resursu modifikācijas risinājumu izstrāde, kas nodrošina jaunas pielietojuma jomas; attīstīt līdz šim maz izmantotu resursu formu jaunas pielietojuma jomas. Saskaņā ar izstrādāto koncepciju šī apakšprojekta ietvaros izpētīti ir jauni risinājumi kā izmantot zemā purva kūdru; izstrādātas metodes kā modificēt kūdru, lai izstrādātu jaunus sorbentus;

pierādītas iespējas modificēt mālus, lai paaugstinātu to izmantošanas iespējas sorbcijai; parādītas iespējas kā izmantot sapropeli kompozītmateriālu iegūšanai. Pētījumu rezultātā pierādītas iespējas izstrādāt jaunus materiālus ar unikālām īpašībām un plašām to izmantošanas iespējām.

Sestajā apakšprojektā „Māla materiālu inovatīvs pielietojums mikroorganismu biotehnoloģijās” (pētniecības grupas vadītāja Dr. Olga Mutere) mālus saturošo produktu funkcionāla mijiedarbība ar mikroorganismiem tika pētīta vairākos virzienos. Augsnes kvalitātes uzlabošanas jomā tika izveidoti inovatīvie bioloģiskie preparāti ar imobilizētiem un iekapsulētiem mikroorganismu konsorcijiem, kuri labvēlīgi ietekmē augu augšanu. Preparātus testēja lauka eksperimentos, vērtējot gan auga augšanas procesus, gan augsnes ķīmisko un mikrobioloģisko sastāvu. Viens no svarīgākiem kritērijiem izveidoto preparātu vērtēšanā bija mikroorganismu dzīvotspēja uzglabāšanas laikā. Māla pulvera pievienošana algināta gēla kapsulām sekmēja iekapsulēto baktēriju dzīvotspējas saglabāšanos ilgtermiņā.

Valsts pētījumu programmas projekta ietvaros izveidotās keramikas granulas testēja arī modeļu eksperimentos par notekūdeņu biofiltrāciju, kā piesārņojumu, testējot farmaceitisko vielu atlikumus, pesticīdu glifosātu, u.c. Alumīnija oksīda keramika uzrādīja augstu efektivitāti gan kā sorbents, gan kā nesējs mikroorganismu-destruktoru imobilizācijai.

Secinājumi

Projekts ir sasniedzis noteiktos mērķus, izpildījis noteiktos uzdevumus, kā arī sasniedzis rezultatīvos indikatorus. Izceļams, ka augstvērtīgi zinātniskie rezultāti, kā arī jaunas tehnoloģijas un produkti, tajā skaitā, nākotnē komercializējami, ir iegūti apakšprojektu pētniecības grupām sadarbojoties, un tas ir ļāvis iezīmēt daudzus jaunus pētniecības virzienus nākotnē.

Pateicības

Projekta izpildītāji pateicas visiem projekta atbalstītājiem, jo īpaši Studiju un zinātnes administrācijai, kā arī pētījumu rezultātos ieinteresētajiem uzņēmumiem.

Publikācijas

1. Andersons, B., Segliņš, V., Dubrovskis, D., Galoburda, R., Paeglītis, A. (red.) Vietējo resursu (zemes dziļņu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes). Valsts pētījumu programma, 2010 – 2013. Rakstu krājums. Rīga, Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, 2013, lpp. 13-65.

STUDIES OF MINERAL RESOURCES – THE NEW PRODUCTS AND TECHNOLOGIES

**Valdis Segliņš^{1*}, Gaida Sedmale², Ruta Švinka², Visvaldis Švinka²,
Liga Bērziņa-Cimdiņa², Māris Kļaviņš¹, Olga Mutere¹**

¹ *University of Latvia, Riga, Latvia*

² *Riga Technical University, Riga, Latvia*

* *valdis.seglins@lu.lv*

The investigation of the entrails of the earth in the framework of the National Research Program 2014-10-4/VPP-6/6 “Forest and earth entrails resources: research and sustainable utilization – new products and technologies” (ResProd) (2014-2017) was planned and implemented with the aim of promoting the sustainable and rational use of the earth entrails resources of Latvia in the global market for the production of competitive products, while preserving sustainability, nature diversity and also social role in the near future and for future generations.

The research tasks included a wide range of issues related to the materials and products necessary for the economy and society, from exploration of the properties and availability of mineral resources to new technologies and competitive innovative products for the future replacement of imported goods. To achieve this task, leading research and education institutions in the field of Latvian entrails of the earth and forestry research were merged, forming six separate research groups from the University of Latvia and Riga Technical University. Thus, the project consisted of six interconnected and complementary, high-synergy-rich sub-projects. Each of them provided high-quality scientific results, new technologies and, at least, outlined the products that can be obtained from the entrails of the earth of Latvia.

In the framework of geological research, geophysical and geological research methods have been developed and a number of scientific monographs have been prepared for the needs of entrepreneurs and local authorities. Successful research has been carried out on the properties of clay for the use in sun protection creams, for the production of biodegradable composites and new granular sorbents, which made it possible to elaborate new commercial products. The development of low temperature ceramic materials, using the mineral raw materials of Latvia, allowed developing several new, very perspective products with high commercialization value. The extraction of highly porous ceramic materials and the analysis of sorption processes allowed obtaining new clay ceramic materials for the purification of contaminated water from various pollutants. Studies of the properties and modification possibilities of peat, sapropel and clay resulted in development of many new materials with unique properties and extensive possibilities for their application. In its turn, the innovative use of clay materials in micro-organism biotechnology allowed us to develop innovative biological preparations with immobilized and encapsulated microorganism consortia.

ZEMES DZĪĻU RESURSU IZPĒTE DABISKO IZEJVIELU DAŽĀDOŠANAI UN JAUNU TEHNOĻĪJU IZSTRĀDEI

INVESTIGATION OF THE ENTRAILS OF THE EARTH TO OBTAIN VARIOUS NATURAL RAW MATERIALS AND DEVELOP NEW TECHNOLOGIES

**Valdis Segliņš¹, Agnese Kukela^{1*}, Ilze Vircava¹, Jānis Karušs¹, Aigars Kokins¹, Līga Zariņa¹,
Kristaps Lamsters¹, Māris Krievāns¹, Austra Stinkule¹, Ģirts Stinkulis¹, Valērijs Ņikulins¹**

¹ Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Rīga, Latvija

¹ University of Latvia, Faculty of Geography and Earth sciences, Riga, Latvia

* agnese.kukela@lu.lv

Apakšprojekta “Zemes dziļu resursu izpēte dabisko izejvielu dažādošanai un jaunu tehnoloģiju izstrādei” pētījumu uzdevumi galvenokārt izceļ zemes dziļu un to noderīgo īpašību pētījumus, tomēr to mērķis ir jaunas zināšanas visā ķēdē - no derīgo izrakteņu īpašību un pieejamības izpētes līdz jaunām tehnoloģijām un konkurētspējīgiem inovatīviem produktiem.

Šie jautājumi jau tika apskatīti iepriekšējos gados izstrādātā valsts pētījumu programmā, kas ļāva daudzus lietišķas ievirzes jautājumus tikai ieskicēt, bet nepieciešamo dabisko izejvielu kvalitatīvās īpašības konkurētspējīgu materiālu ražošanai un to pieejamība, kā arī inovatīvu nišas produktu un konkurētspējīgu materiālu radīšanai tiks skatīti šajā pētniecības programmā [1]. Programmas ietvaros veiktie jaunie pētījumi ļāva detalizēt daudzus iesāktos pētījumus, kā arī dažādot pētniecības priekšmetus, kas ļautu projektu noslēgt ar lietišķiem rezultātiem. Vienlaicīgi izceļams, ka atsevišķo pētnieku grupa cieša sadarbība ļāva dinamiski pārnest pētījumu rezultātus un izmantot zinātnisko infrastruktūru, neatkarīgi no tā, kuras pētnieku grupas rīcībā tā atradās.

Kā atsevišķs projekta uzdevums tika izcelts paplašināt sabiedrības izpratni par zināšanu un inovāciju lomu valsts attīstībā, konkurētspējā un sabiedrības labklājībā. Minētais ietvēra arī zinātnes prestiža paaugstināšanu sabiedrībā un īpaši bērnu un jauniešu vidē, tajā skaitā, realizējot sadarbību ar skolām, tehnikumiem, kā arī organizējot un piedaloties pasākumos sabiedrības informēšanā.

Galvenie pētījumu virzieni

Apakšprojekts „Zemes dziļu resursu izpēte dabisko izejvielu dažādošanai un jaunu tehnoloģiju izstrādei” par pētniecības mērķi noteica pētīt un attīstīt noteiktas kvalitātes derīgo izrakteņu ģeoloģiskās un ģeofizikālās pētniecības metodes, tās pilnveidot un paaugstināt to efektivitāti, kā arī pētīt mālus, kaļķakmeni, kūdras, sapropeli un retāk sastopamus derīgos izrakteņus kā vietējās izejvielas jauno tehnoloģiju un produktu attīstībai. Pilnveidojot un attīstot ģeofizikālās pētniecības metodes, nozīmīgākie zinātniskie sasniegumi tika panākti J.Karušam sekmīgi izstrādājot un aizstāvojot promocijas darbu [2], kā arī izstrādājot metodes pielietojuma nosacījumus autoceļu uzbērums un seguma kvalitātes instrumentālā novērtēšanā [3], kas tiks ieviesta atbilstošā nozarē. Savukārt, kūdras purvu pētījumos metode jau sen tiek izmantota un veiktais pētījums nozīmīgi ļāva paaugstināt iegūstamo datu kvalitāti [4]. Tas ļauj kūdras izstrādes uzņēmumiem ievērojami precīzāk plānot ieguves darbus un veikt tos selektīvi, tādējādi nozīmīgi paaugstinot uzņēmumu konkurētspēju, kā arī sniedzot savu ieguldījumu racionālā dabas resursu izmantošanā. Savukārt, turpmākos pētījumus, jau ārpus valsts pētījumu programmas projekta, šo pētnieku grupa turpināja polārajos apgabalos (Grenlande un Antarktīda).

Tieši uzņēmumu un pašvaldību vajadzībām tika pētīti Latvijā plašāk izmantotie vietējie derīgie izrakteņi. Tika izstrādātas vairākas monogrāfijas par dolomītu [5] un kvarca smilšu [6] pieejamību un to kvalitāti attiecībā pret prasībām mūsdienu industrijā. Tos papildina arī vairāki zinātniski raksti [7] un D.Pipiras promocijas darbs [8]. Ņemot vērā iepriekšējos gados veiktos pētījumus, šobrīd ražotāju un pašvaldību, arī teritoriju plānotāju un skolu rīcībā ir pieejama zinātniski izsvērtā un ar laboratoriskiem pētījumiem pamatota, monogrāfiski aprakstīta Latvijas dolomītu, mālu, stikla smilts, kā citu plašāk izplatītu un tautsaimniecībā nozīmīgu derīgo izrakteņu īpašības un iespējas veikt šo izrakteņu mērķtiecīgu selektīvu ieguvu.

Šos pētījumus nozīmīgi papildina smilts un grants kā derīgo izrakteņu pētījumi, izmantojot visai plašu mūsdienu zinātnisko pētījumu metodikas. Tas ļāva būtiski paaugstināt smilts un grants materiāla prognozes īpaši Zemgalē, kur šis

būvniecības un būvmateriālu dabiskās izejvielas ir pieejamas ierobežoti. Tieši pētniecības metožu kompleksu veidošana ļāva K.Lamsteram izstrādāt promocijas darbu [9], kā arī turpmāk sagatavot plašu monogrāfiju, kurā atspoguļoti metodiskie risinājumi tiek augsti novērtēti komerciālos uzņēmumos [10]. Līdzīgi šāds pētījums par grants un smilts iegulām saistībā ar seno upju tiklu veidošanos un šo iegulu atpazīšanu mūsdienās novērojamā reljefā, kā arī galvenajām likumsakarībām šī augstvērtīgā derīgā izrakteņa telpiskajā izvietojumā, sniedz M. Krievāna promocijas darbs [11]. Darbā skartie metodiskie jautājumi un lietiskie norādījumi par šāda tipa derīgo izrakteņu izvietojumu iegulās, guva atzinību komerciālo uzņēmumu pētnieku vidū, un tādēļ tika sagatavota monogrāfija, kurā šie jautājumi tika izskatīti, akcentējot tieši lietīškos aspektus [12]. Šie pētījumi tiek turpināti un tiek atbalstīti ar LU Prioritāro pētījumu programmu, kas ļauj Valsts pētījumu programmas ieguldījumu vērtēt kā ilgtspējīgu, tādu, kura tālāka attīstība tiks veicināta arī turpmāk.

Blakus minētajam tika pētīti un apzināti vairāki Latvijā reti izplatīti derīgie izrakteņi, kuru nozīme tika skaidrota plašākās monogrāfijās, galvenokārt, sociālo partneru izglītošanai un zināšanu papildināšanai, kas ļautu izvairīties no publiskā telpā dominējošām viltus ziņām un nepatiesībām. Tā tika sagatavoti plaši pētījumi par dzintaru, un tā īpašībām, diagnostiskām pazīmēm, izplatības likumsakarībām, kā arī ar iespējām paplašināt dzintara kļiedņu atklāšanu Latvijā nākotnē [13]. Līdzīgi tika pētīta un monogrāfiski aprakstīta sāls, kā arī dārgakmeņu un rotakmeņu nozīme, iespējas tos novērtēt, kā arī veidot atbilstošas kolekcijas [14]. Savukārt, sabiedriski aktuāli jautājumi par dabas un cilvēka mijiedarbību apskatīti atsevišķā monogrāfiskā pētījumā [15]. Līdzīgas ievirzes pētījumu veica L.Zariņa, apskatot kramu un tā īpašības, jo īpaši analītisku metožu izmantošanas iespēju noteikšanā, vērtējot kā kramu dabiskajos apstākļos, tā arī akmens laikmeta rikos. Visai plašā pētījuma rezultāti ir atspoguļoti promocijas darbā [16], bet tā turpmāko atbalstu uzņēmās Latvijas Universitātes (LU) Fonds, kas ļaus jau ar papildinātiem pētījumu rezultātiem iepazīties zinātniskā monogrāfijā, kas lasītājiem būs pieejama jau 2018. gada vidū.

Starp reti izplatītu un potenciāli augstvērtīgu derīgo izrakteņu pētījumiem, īpaša nozīme ir A. Kokina daudzpusīgajam pētījumam par Latvijas krāsu zemēm. Pētījumā ir tikušas apsekotas nozīmīgākās krāsu zemes atradnes un rodnes Latvijā, pētīts to sastāvs un izstrādāta oriģināla tehnoloģiju krāsu pigmenta iegūšanai izmantošanai mākslinieku krāsu rūpnieciskai izgatavošanai. Iegūtie rezultāti ir ļoti pozitīvi, un pašlaik jau ir izstrādātas atbilstošas tehnoloģijas un produkcijas prototipi, kas tiek daudzpusīgi testēti [17]. Valsts pētījumu programmas ietvaros paveiktais vēl ir turpināms un to jau vairākus gadus atbalsta LU Fonds, bet nākotnē – arī vairāki citi fondi, kas virza pētniecību un atbalsta jauno produktu komercializāciju.

Pieminami arī vairāki citi zinātniskie pētījumi, kas saistīti ar Valsts pētījumu programmā izstrādāto akmens materiāla pētniecības metodisko paņēmieni adaptāciju un attīstību ģeoarheoloģiskos pētījumos citās zemēs. Tie ir metodiski nozīmīgi pētījumi, kas ļauj atpazīt Latvijā veikto metodisko izstrāžu augstvērtīgumu un tiek izmantoti citās valstīs šo pētījumu tālākā attīstībā [18].

Minētais sasaucas ar daudziem pasākumiem citu zinātņu nozaru pētnieku, sociālo partneru un plašākas sabiedrības informēšanu, starp tiem, Valsts pētījumu programmas projekta organizētās daudzās zinātniskās konferences. Kā nozīmīgākās ir izceļamas plaši apmeklētās starptautiskās konferences „Māli un keramika” (2016), „Smilts un stikls” (2017), “Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā” (2017). Atzīmējamas arī gadskārtējās LU un RTU Starptautiskās zinātniskās konferences, kurās projekta pētījumu jomas tiek izskatītas atsevišķi organizēto zinātnisko sekciju un apakšsekciju darbā. Nozīmīgs ir projekta zinātniskais piensums sabiedriskos un izglītojošos pasākumos, tajā skaitā, Zinātnieku naktī, kā arī populāri zinātniskos rakstos [19]. Īpaši daudz izglītojošu pasākumu tiek veikts projektam aktīvā sadarbībā ar Latvijas Mālu biedrību un Latvijas Lauksaimniecības Universitāti. Lai arī līdz šim uzmanība, galvenokārt, ir tikusi pievērsta mālu zinātniskiem pētījumiem - pētniecības metodēm, laboratorisko pētījumu datu interpretācijai, Latvijas mālu iegulām un to izmantošanas iespējām, tomēr visai plašais apmeklētāju skaits un pārstāvēto organizāciju daudzums, ļauj šos uzsāktos pasākumus vērtēt kā daudzsoļus [20].

Secinājumi

Iepriekšēji izklāstītais norāda uz Valsts pētījumu programmā noteikto mērķu sasniegšanu un uzdevumu izpildi, jo īpaši attiecībā uz iegūto zinātnisko rezultātu nodošanu projekta sabiedriskajiem partneriem. Plaši apmeklētās zinātniskās konferences, izglītojošie pasākumi, zinātniskās monogrāfijas latviešu valodā, kā arī izstrādātās metodikas un produktu prototipi, kā arī perspektīvo pētniecības virzienu turpmākais piesaistītais finansējums kopumā norāda uz sekmīgi izvēlētu to virzību projekta gaitā.

Pateicības

Projekta izpildītāji pateicas visiem projekta atbalstītājiem, jo īpaši Studiju un zinātnes administrācijai, kā arī pētījumu rezultātos ieinteresētajiem uzņēmumiem.

Rezultatīvie indikatori

- I. Izdotas 12 oriģinālas recenzētas zinātniskas monogrāfijas.
- II. Izstrādāta jauna metode „Ģeoradara izmantošana ceļu seguma un ceļu uzbēruma izpētē” aprobēta SIA „Baltijas Zemes Resursi” 2015.gadā.
- III. Karušs J., Radiolokācijas metodes izmantošana purvu nogulumu pētījumos (promocijas darbs aizstāvēts 25.08.2015, vadītājs: Segliņš V.).
- IV. Krievāns M., Hidrogrāfiskā tīkla veidošanās Lejas Gaujas senielejai pieguļošajā teritorijā Vēlā Vislas apledošanas deglaciācijas laikā (promocijas darbs aizstāvēts 08.05.2015, vadītājs: Zelčs V.).
- V. Lamsters K., Fenoskandijas ledus vairoga Zemgales loba subglaciālā reljefa sistēmas un dinamika (promocijas darbs aizstāvēts 25.08.2015, vadītājs: Zelčs V.).
- VI. Pipira D., Subaerālās atsegšanās notikumu pazīmes un veidojumi devona slāņkopā (promocijas darbs aizstāvēts 26.08.2015, vadītājs: Stinkulis Ģ.).
- VII. Zariņa L., Krama rīki kā liecības par prasmju un zināšanu attīstību paleolītā (promocijas darbs aizstāvēts 27.11.2015, vadītājs: Segliņš V.).

Publikācijas

1. Andersons, B., Segliņš, V., Dubrovskis, D., Galoburda, R., Paeglītis, A. (red.) Vietējo resursu (zemes dziļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes). Valsts pētījumu programma, 2010 – 2013. Rakstu krājums. Rīga, Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, 2013, lpp. 13-65.
2. Karušs J. Radiolokācijas metodes izmantošana purvu nogulumu pētījumos, 2015. http://www.geo.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/gzzf/zinas/Disertacija_Janis_karuss.pdf
3. Karušs J. Ģeoradara izmantošana ceļu seguma un ceļu uzbēruma izpētē. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2015, 41 lpp.
4. Karušs J. Ģeoradara izmantošana purvu nogulumu pētījumos. Rīga, LU Akadēmiskais Apgāds, 2015, 136 lpp.
5. Stinkule A., Stinkulis Ģ. Latvijas devona dolomīti. Daugavpils Universitātes izdevniecība “Saulē”, 2015, 80 lpp.
6. Stinkule A., Stinkulis Ģ. Latvijas kvarca smiltis. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2017, 78 lpp.
7. Pipira D., Kostjukovs J., Stinkulis Ģ. Mineral Composition and Morphology of Dolocretes of the Devonian Burtņieki and Amata Formations, Latvia. RTU zinātniskie raksti, Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, 32, 2015, lpp. 13-18. <https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/21483>
8. Pipira D. Subaerālās atsegšanās notikumu pazīmes un veidojumi devona slāņkopā. 2015, http://www.geo.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/gzzf/zinas/Pipira_PROMOCIJAS_DARBS_13.08.2015_gala.pdf
9. Lamsters K. Fenoskandijas ledus vairoga Zemgales loba subglaciālā reljefa sistēmas un dinamika. 2015, http://www.geo.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/gzzf/zinas/Prom-kops_Lamsters_Kristaps_final.pdf
10. Lamsters K. Zemgales ledus loba subglaciālās reljefa formas un to uzbūve. Rīga, LU Akadēmiskais Apgāds, 2015, 157 lpp.
11. Krievāns M. Hidrogrāfiskā tīkla veidošanās Lejas Gaujas senielejai pieguļošajā teritorijā Vēlā Vislas apledošanas deglaciācijas laikā. 2015, https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/28297/298-46546-Maris_Krievans_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
12. Krievāns M. Hidrogrāfiskā tīkla veidošanās Lejas Gaujas senielejā pēdējā apledošanas beigu posmā. Rīga, LU akadēmiskais apgāds, 2015, 132 lpp.
13. Segliņš V. Aiz dzintara spīduma. Daugavpils Universitāte, akadēmiskais apgāds “Saulē”, 2015, 170 lpp.
14. Segliņš V. Sāls druska. Daugavpils Universitāte, akadēmiskais apgāds “Saulē”, 2015, 150 lpp.; Segliņš V. Dārgakmeņi un rotakmeņi. Daugavpils Universitāte, akadēmiskais apgāds “Saulē”, 2015, 144 lpp.
15. Segliņš V. Raibas pēdas akmeņi un mums visapkārt. Daugavpils Universitāte, akadēmiskais apgāds “Saulē”, 2015, 88 lpp.
16. Zariņa L. Krama rīki kā liecības par prasmju un zināšanu attīstību paleolītā. 2015, http://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/31330/298-51430-Zarina_Liga_lz12007.pdf?sequence=1

17. Kokins A., Kostjukovs J., Zariņa L. Natural iron oxide (colour earth) deposits in Latvia: possibility for inorganic pigments manufacturing. *Coloration Technology*. In print. (SCOPUS, Impact factor 1.107, SNIP 0.761).
18. Seglins V., Kukela A., Potable water as critical resource in antiquity and a warning for the development of the Island of Mallorca. In: *Proceedings of 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2017, Austria, Vol. 17: Hydrology and Water Resources, 2017*, p. 323-329. (DOI: 10.5593/sgem2017H/33/S12.040); Seglins V., Kukela A., Lazdina B. Nazca lines as an indicator of ancient irrigation system elements. In: *Proceedings of 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2017, Austria, Vol. 17: Hydrology and Water Resources, 2017*, p. 299-306. (DOI: 10.5593/sgem2017H/33/S12.037); Seglins V., Kukela A., Lazdina B. The structure of the Step Pyramid of Djoser in Egypt as a concept of Primordial Hill. In: *Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying Geology & mining Ecology Management, SGEM2017, Bulgaria, Vol. 17: Cartography and GIS, 2017*, p. 761-767. (DOI: 10.5593/sgem2017/23/S11.095)
19. Segliņš V. Latvijas zemes dziļu resursi pārtop jaunos produktos. *Ilustrēta Zinātne*, 2015, nr. 120. <http://www.ilustretazinatne.lv/content/ilustreta-zinatne-novembris-2015>.
20. „Draudzīgs seminārs mālu draugiem” - dr. geol. I. Vircavas vadītais ikmēneša seminārs LLU telpās Jelgavā.

INVESTIGATION OF THE ENTRAILS OF THE EARTH TO OBTAIN VARIOUS NATURAL RAW MATERIALS AND DEVELOP NEW TECHNOLOGIES

Valdis Segliņš¹, Agnese Kukela^{1*}, Ilze Vircava¹, Jānis Karušs¹, Aigars Kokins¹, Līga Zariņa¹, Kristpas Lamsters¹, Māris Krievāns¹, Austra Stinkule¹, Ģirts Stinkulis¹, Valērijs Ņikuļins¹

¹University of Latvia, Faculty of Geography and Earth sciences, Riga, Latvia

**agnese.kukela@lu.lv*

The sub-project “Exploration of entrails of the earth for the diversification of natural raw materials and development of new technologies” focused on the development of geological and geophysical research methods of certain qualities of mineral resources, in order to increase their efficiency. It resulted in five doctoral theses, twelve monographs, many scientific papers and reports at the international conferences.

New research activities allowed us to go into details of the research fields initiated before. It also enabled us to perform the diversification of research subjects, which would allow the project to be concluded with business solutions potentially useful for our social partners. At the same time, it should be highlighted that close collaboration between individual researchers allowed the dynamic exchange of the research results between individual groups and further targeted use of scientific infrastructure, regardless at what institution it was located.

Particularly outstanding are the results in the development of geophysical methods in peat and road infrastructure research fields, as well as modern monographic characteristics of dolomite and glass sand resources in Latvia, which allows these data to be used directly in production. Very high-quality results have been obtained in the research of earth colors of Latvia. This research allowed us to develop a wide variety of shades of ocher pigments production technologies and to obtain pigment prototypes using local resources only. It should be noted that the research in all above mentioned directions is continued with the support of other sources of finance, and knowledge has been passed on to the social partners for further implementation in the production.

MĀLU ĪPAŠĪBU IZPĒTE IZMANTOŠANAI KOSMĒTIKĀ, BIODEGRADABLA ATKRITUMU IKDIENAS PĀRKLĀJUMA UN KERAMISKU SORBENTU IEGŪŠANAI

INVESTIGATION OF CLAY PROPERTIES FOR APPLICATION IN COSMETICS AND TO OBTAIN BIODEGRADABLE DAILY COVER MATERIAL AND CERAMIC SORBENTS

Inga Jurgelāne^{1*}, Olita Medne¹, Agnese Stunda-Zujeva¹,
Andrejs Šiškins¹, Līga Bērziņa-Cimdiņa¹

¹ Rīgas Tehniskā Universitāte, Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts, Rīga, Latvija

¹ Riga Technical University, Institute of General Chemical Engineering, Riga, Latvia

* inga.jurgelane@rtu.lv

Pētījumu mērķis ir rast iespējas izmantot Latvijas atradņu mālus jaunu tehnoloģiju un inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību izstrādei. Darba uzdevumi ietver literatūras pētījumus, mālu sagatavošanu un apstrādi izmantošanai kosmētikā, sorbentu un biodegradabla atkritumu pārklājuma izstrādei, kā arī iegūto materiālu raksturošanu. Mālu izmantošanai kosmētikā noteikta UV starojuma caurlaidība un pētīta emulsiju stabilitāte. Latvijas illīta māliem piemīt neliela UV aizsardzības spēja, vienlaicīgi nodrošinot gaiši brūnu toni un uzlabojot viskozitāti. Illīta mālu pievienošana uzlabo emulsiju stabilitāti. Izstrādāts illīta mālus saturošs biodegradabla kompozītmateriāla prototips, kas paredzēts kā alternatīvs ikdienas pārklājums atkritumu poligoniem. Rezultāti uzrādīja, ka materiāls nodrošina atkritumu nekustīgumu vēja un nokrišņu ietekmē, kā samazina smaku izdalīšanos tādā pašā mērā kā komerciāli pieejamais pārklājums, kura izgatavošanas izmaksas ir vairākas reizes lielākas. Izveidoti Liepas mālus saturoši keramiskie sorbenti, kas paredzēti krāsvielu un naftas produktu sorbcijai. Noteiktas fizikālās un sorbcijas īpašības. Iegūtie rezultāti uzrāda, ka iegūtie materiāli var tikt izmantoti ūdens attīrīšanai.

Mūsdienās aizvien plašāk dažādu materiālu izgatavošanai tiek izmantoti dabai un cilvēka veselībai nekaitīgi izejmateriāli. Viens no šādiem materiāliem ir māls. Latvijā māli ir ļoti plaši izplatīts derīgais izrakteņš, to izmantošana un pētījumi, galvenokārt, saistās ar būvmateriālu un dažādu keramikas materiālu ražošanu. Līdz ar to, šī pētījuma pamatā ir izvērtēt Latvijas mālu izmantošanas iespējas dažādās nozarēs – kosmētikā un vides tehnoloģijās vides kvalitātes uzlabošanai.

Ekspierimentālā daļa

Māli kosmētikā. Visos pētījumos izmantota mālu frakcija zem 2 μm. Paraugi iegūti ar izsmidzināšanas žāvētāju, optimizējot izsmidzināšanas parametrus [2, 4, 8, 9]. Sākumā UV starojuma aizsardzība noteikta suspensijām, kas sastāv no glicerīna/ūdens šķīduma un neapstrādātiem un ķīmiski apstrādātiem mālu paraugiem. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem [II, 3, 8], tālāk tika pētītas ķīmiski neapstrādāti illītu saturoši mālu paraugi brūnā krāsā. Izveidoti vairāki krēmu paraugi ar atšķirīgu mālu un citu komponentu daudzumu. Daļai no paraugiem tika noteiktas saules aizsardzības faktora SPF vērtības. To palielināšanai paraugiem tika pievienotas vairākas dabiskas eļļas. Paraugu termiskā stabilitāte tika pētīta inkubatorā 45°C temperatūrā [I].

Mālu spēju stabilizēt emulsijas sākumā nosaka ar ķīmiski neapstrādātiem un apstrādātiem mālu paraugiem, izmanto saffloras eļļu. Stabilitāti nosaka, vizuāli novērtējot emulsijas homogenitāti miera stāvoklī – pēc cik ilga laika eļļas un ūdens fāzes sāk atdalīties. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem [I, II, 5], tālāk pētīti neapstrādāti māli un ar sālsskābi apstrādāti paraugi. Pētītas saulespuķu eļļu saturošas emulsijas ar 3 un 6 masas% mālu, dabisku pH un pH 5,5. Stabilitāti vizuāli novērtēja pēc 3 nedēļām un ar centrifugēšanas metodi [I, 1].

Biodegradabls atkritumu ikdienas pārklājums. Sākumā pētīta un apkopota informācija par dažādiem atkritumu ikdienas pārklājumiem [7]. Pētītas mālu fizikālās īpašības pārklājuma izveidei, kā arī piemērotākā mālu masas daļa, kas veido vēlamu suspensijas konsistenci [8]. Noteikta dažādu biezinātāju ietekme uz slāņa konsistenci, stabilizējot pārklājumu, neļaujot tam noslidēt no atkritumiem. Samazināta slāņa plaisu veidošanās pēc sacietēšanas, pievienojot dažāda veida pildvielas.

Izstrādāti 2 pārklājuma sastāvi, kuri uzklāti uz organiskiem un plastmasas atkritumiem un novēroti vienu mēnesi āra apstākļos – gan saulē, gan lietū. Izsmidzinātā slāņa biezums uz atkritumiem ir mazāks par 1 cm. Testēta gaistošo organisko savienojumu aizture laboratorijas apstākļos.

Keramiskie sorbenti. Dobu granulu veidošanai tika izmantotas putupolistirola granulas, kas rotējošā cilindrā pārklātas ar pulverveida Liepas māliem un šķidru saistvielu. Izžāvētas granulas apdedzina 950-1150°C (Zīm. 3a). Tālāk veikti sistemātiski pētījumi par sasmalcināta stikla (5-13%) piedevu un saķepināšanas temperatūras (800-1050°C) ietekmi uz granulu mehāniskām un sorbcijas īpašībām [I].

Mālu-stikla putu keramikas iegūšanai izmantoti Liepas māli un zaļās stikla pudeles. Keramikas izgatavošana veikta, izmantojot tiešo uzpuošanas metodi. Tika sagatavoti paraugi ar 5, 7 un 10 masas % stikla piedevu. Paraugi apdedzināti dažādās temperatūrās (Zīm. 3b). Pētītas materiāla fizikālās un sorbcijas īpašības [I].

Rezultāti

Māli kosmētikā. Mālu un glicerīna suspensiju pētījumi liecina, ka UV starojuma aizsardzība pētītajiem Latvijas māliem nav pietiekoša, līdz ar to ir nepieciešami papildus savienojumi, kas to palielinātu [II, 3, 8]. Mālu saturošo paraugu UV starojuma caurlaidību samazina (līdz ar to palielina UV aizsardzību) daļēja avokado eļļas aizvietošana ar kokosriekstu eļļu. No māliem vislabākās UV aizsardzības spējas uzrādīja Apriķu māli, kas būtu izskaidrojams ar salīdzinoši vislielāko dzelzs jonu saturošo savienojumu klātbūtni šajos mālos, jo tieši dzelzs joni uzlabo UV aizsardzības spējas. Spēja aizsargāt pret UV starojumu palielinās, palielinot mālu koncentrāciju no 5 – 50 masas % un uzklātā parauga daudzumu no 0,45 līdz 0,95 mg/cm². Pēc mēneša inkubatorā paraugos esošā eļļas fāze nebija neatdalījusies, kas liecina par mālu spēju stabilizēt emulsijas. Pētījuma rezultātā izveidots krēms no dabīgām sastāvdaļām (Tabula 1) ar SPF 8,8, kas piešķir ādai gaiši brūnu toni (Zīm.1) [I, V].

Tabula 1. Izveidotā UV krēma prototipa un biodegradablā materiāla sastāvs

UV krēma sastāvs		Biodegradablā materiāla sastāvs	
Izejviela	Daudzums, masas%	Izejmateriāls	Daudzums, masas%
Kokosriekstu eļļa	25	Māli (Laža vai Planči)	58- 73
Avokado eļļa	15	Sasmalcināta kokšķiedra (1,18 mm)	12- 14,5
Šī sviests	4	Sasmalcināta kokšķiedra (> 0,125 mm)	3,5
Bišu vasks	2	Džuta	4
Glicerīns	2	Biodegradabls polimērs	0,5
D-pantenols	1	Termiski aprādātas koka šķiedras	7,5
Vitamīns E	1	Biezīnātājs	0,5
Apriķu māli	50	Pārstrādāts papīrs	25,5
		Ūdens	Pēc nepieciešamības



Zīmējums 1. Pa kreisi - āda bez krēma, pa labi - krēms uz ādas, kura uzklātais biezums atbilst SPF 8,8

Latvijas illītu saturošo mālu pievienošana emulsijai eļļa-ūdenī uzlabo tās stabilitāti. Palielinoties emulsiju viskozitātei, attiecīgi uzlabojās to stabilitāte. Visstabilākās emulsijas izveidojās, pievienojot mālus ar lielāko mālu minerālu koncentrāciju, kā arī palielinot pievienotās mālu frakcijas daudzumu līdz 10 masas %. Lielāka stabilitāte bija emulsijām ar pH 5,5 nekā ar pH 7-8 [I, 1].

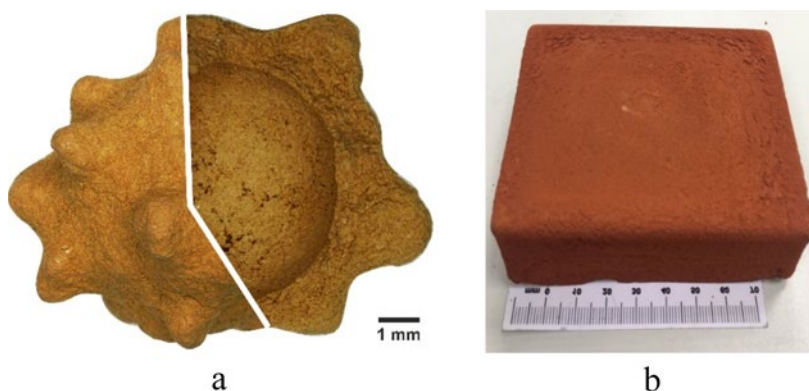
Biodegradabls atkritumu ikdienas pārklājums. Smaku testa rezultāti rāda, ka, palielinoties laika periodam, tvertnē, kur nav pārklājuma slāņa, palielinās smaku izplūde. Salīdzinot ar komerciāli pieejamu paraugu smaku testiem, gaistošo organisko savienojumu izdalīšanās rezultāti ir līdzīgi. Tas norāda, ka materiāls var samazināt smaku izplatīšanos apkārtējā vidē no degradētās vides. Laikapstākļu ietekmē (lietus, sniegš) nav novēroti izskalojumi vai polimērmateriālu atklāšanās (Zīm. 2). Abi izstrādātie pārklājuma materiāli uzrādīja līdzīgas īpašības, līdz ar to, jaunizveidotā pārklājuma sastāvs apkopts 1. tabulā [IV, VI, VII].



Zīmējums 2. Pa kreisi – atkritumi pārklājuma uzsmidzināšanai, pa labi – uzsmidzināts pārklājums

Keramiskie sorbenti. Pētot sasmalcinātā stikla (5-13%) piedevu un saķepināšanas temperatūras 800-1050°C ietekmi uz granulu mehāniskajām īpašībām, novērots, ka, palielinoties apdedzināšanas temperatūrai no 800°C uz 900°C, visi paraugi uzrāda spiedes stiprības paaugstināšanos par vismaz 52%. Granulu mehāniskā izturība spiedē pieaug, palielinoties apdedzināšanas temperatūrai un stikla saturam. Maksimālā mehāniskā izturība spiedē ir sasniegta granulām, kas satur 13% stikla un apdedzinātās 1000°C temperatūrā. Sorbents uzrāda naftas produktu (motoreļļa, dīzeļdegviela) kapilāro uzsūkšanas spēju no 1,1 līdz 1,4 g/g [I, III].

Pievienojot stiklu mālu putu keramikai, tiek novērsta plaisu rašanās, kas rodas žāvēšanas procesā. Samazinot stikla saturu keramikā, palielinās tās mehāniskā izturība, sasniedzot 14 MPa ar 5% stiklu pie 1050°C. Ūdens uzsūktspēja palielinās, palielinot stikla saturu, sasniedzot 122% paraugam ar 10% stikla apdedzinātam 900°C. Vislielākā krāsvielas Bezaktivturquise blue V-G sorbcijas kapacitāte novērojama paraugiem, kas iegūti salīdzinoši zemās temperatūrās (800, 900 °C) un ar 10% stikla [I].



Zīmējums 3. Keramiskie sorbenti a) dobas granulas; b) mālu – stikla putukeramika bloka formā

Secinājumi

Latvijas illīta mālus var izmantot kā vienu no UV filtriem saules aizsargkrēmos, kā arī tie ir piemēroti tonālo krēmu izstrādei, piešķirot krēmam ne tikai gaiši brūnu toni, bet arī nelielu aizsardzību pret UV starojumu. Tāpat rezultāti uzrādīja, ka abi biodegradabli izstrādātie atkritumu pārklājumi samazina smaku izdalīšanos tādā pašā mērā, kā komerciāli pieejamais pārklājums, kura izgatavošanas izmaksas ir vairākas reizes lielākas nekā jaunajam pārklājumam. Līdz ar to, pašlaik izstrādātais pārklājuma materiāls nodrošina atkritumu nekustīgumu vēja un nokrišņu ietekmē, samazina smaku izdalīšanos, kas

piesārņo apkārtējo vidi un piesaista savvaļas dzīvniekus un insektus, kā arī ir ekonomiski izdevīgāks. Savukārt, izstrādātās dobās granulas ir potenciāli iespējamas izmantot kā sorbentus kārtidžu tipa filtros. Stikla atkritumus var izmantot putu keramikas ražošanai kā kušņus, kas pazemina apdedzināšanas temperatūru, padarot procesu energoefektīvu un kā piedevu, kas uzlabo putu keramikas mehānisko izturību pie zemām apdedzināšanas temperatūrām. Pateicoties samērā vieglai putu keramikas iegūšanas tehnoloģijai, lētām un viegli pieejamām izejvielām, šis materiāls būtu konkurētspējīgs ar citiem materiāliem ūdens attīrīšanā.

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāti un aizstāvēti 1 bakalaura un 4 maģistra darbi
- II. Jurgelāne (aizstāvējusi kā Dušenkova) I., Latvijas mālu sagatavošanas tehnoloģijas izstrāde un īpašību pētījumi izmantošanai kosmētiskajos produktos (promocijas darbs aizstāvēts 5.02.2015, vadītājs: Mālers J.)
- III. Mālu granulas ar tukšu vidu uzkrās ūdeni. Ilustrētā zinātne, 2016, decembris, 14. lpp.
- IV. Jauns pārklājums palīdzēs atkritumu uzglabāšanā, Ilustrētā zinātne, 2016, decembris, 14. lpp.
- V. Latvijas māli palīdzēs cīnīties ar kaitīgo saules starojumu, Ilustrētā zinātne, 2017, jūlijs, 13. lpp.
- VI. Jauna veida atkritumu pārklājums, Ilustrētā zinātne, 2017, decembris, 14. lpp.
- VII. RTU zinātnieki izstrādā jaunu pārklājumu atkritumu poligoniem, Panorāma, 2018. gada 15. janvārī, tiešsaiste: <https://ltv.lsm.lv/lv/raksts/15.01.2018-rtu-zinatnieki-izstrada-jaunu-parklajumu-atkritumu-poligoniem.id115548/>

Publikācijas

1. Jurgelane I., Sevjakova V., Dzene L. Influence on illitic clay addition on the stability of sunflower oil in water emulsion. *Colloids and Surfaces A*, 2017, vol. 529, pp. 178-184.
2. Stunda-Zujeva A., Irbe Z., Berzina-Cimdina L. Controlling the morphology of ceramic and composite powders obtained via spray drying – A review. *Ceramics International*, 2017, vol. 43, pp. 11543-11551.
3. Dušenkova I., Kusiņa I., Mālers J., Bērziņa-Cimdiņa L. Application of Latvian illite clays in cosmetic products with sun protection ability. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources."*, 2015, Vol. I, pp. 28-32, <http://journals.ru.lv/index.php/ETR/article/view/203/607>
4. Stunda-Zujeva A., Stepanova V., Bērziņa-Cimdiņa L. Effect of spray dryer settings on the morphology of illite clay granules. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources."*, 2015, Vol. I, 216–222, <http://journals.ru.lv/index.php/ETR/article/view/200/642>
5. Jurgelane I., Stunda-Zujeva A., Berzina-Cimdina L. Stability of suspensions and emulsions containing illitic clays. *Key Engineering Materials*, 2016, vol. 721, pp. 337-342.
6. Shishkin A., Laksa A., Shidlovska V., Timermane Z., Aguedal H., Mironovs V., Ozolins J. Illite Clay Ceramic Hollow Sphere - Obtaining and Properties. *Key Engineering Materials*, 2016, vol. 721, pp. 316-321.
7. Medne O., Serzane R., Berzina-Cimdina L. Composition for alternative daily cover materials with a perspective of usage of Latvian local resources. *Material Science and Applied Chemistry*, 2015, No. 32, pp. 45-48, <https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/20943>
8. Dušenkova I., Medne O., Šiškins A., Stunda-Zujeva A., Bērziņa-Cimdiņa L. Mālu īpašību izpēte izmantošanai kosmētisko produktu, biodegradablu kompozītmateriālu un jauna granulveida sorbenta iegūšanai. *Zinātnisko rakstu krājums "Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti"*, 2016, pp. 60-69.
9. Stunda-Zujeva A., Dušenkova I., Stepanova V., Bērziņa-Cimdiņa L. Mālu suspensijas sastāva ietekme uz izžāvētu granulu morfoloģiju un spēju atkārtoti disperģēties ūdenī. *Zinātnisko rakstu krājums "Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti"*, 2016, pp. 70-77.

INVESTIGATION OF CLAY PROPERTIES FOR APPLICATION IN COSMETICS AND TO OBTAIN BIODEGRADABLE DAILY COVER MATERIAL AND CERAMIC SORBENTS

Inga Jurgelāne^{1*}, Olita Medne¹, Agnese Stunda-Zujeva¹,
Andrejs Šiškins¹, Līga Bērziņa-Cimdiņa¹

¹ Riga Technical University, Institute of General Chemical Engineering, Riga, Latvia

* inga.jurgelane@rtu.lv

The aim of this project is to estimate application of Latvian clays in cosmetics and environmental technologies for environment quality improvement. This study contains literature research, clay preparation and treatment for application in cosmetics and development of ceramic sorbents and biodegradable daily cover material, as well as characterization of materials obtained.

Clay in cosmetics. UV protection and emulsion stabilization abilities were investigated. Clay fraction under 2 µm was used and obtained with spray drying. The results showed that Latvian illite clays (mostly brown colour) can partly protect skin from UV irradiation, therefore the next step was to investigate the possibility to develop a cream with UV protection ability. Different clays and natural oils were used. The best results of SPF 8.8 showed the cream containing 50 mass% Apriki clays, 25 mass% coconut oil and 15 mass% avocado oil (the rest part contains shea butter, bee wax, glycerol, E vitamin and D-panthenol). Overall the results showed that Latvian illite clays can be used in sunscreens as UV filter together with other UV filters. Also, these clays can be used in tonal creams, both adding a light brown colour and slight UV protection to the cream.

The addition of illite clays improves the stability of oil-in-water emulsions. The stability effect increases by increasing the viscosity of emulsions. The highest stabilisation effect was observed by adding clays with the highest clay mineral concentration. The pH also has an effect of the stabilization – emulsion with pH 5.5 was more stable than with pH 7-8. Overall, illite clays can slightly stabilize oil-in-water emulsions but some additional stabilizers need to be added.

Biodegradable daily cover material. The developed material consists mostly of Latvian illite clays, wood fibre and recycled paper. The material was sprayed onto organic and plastic waste, left outdoors in sun and rain and observed for 1 month. The cover layer was less than 1 cm thick. Minimal shrinkage was observed, but cracks were not observed, showing good attachment to the waste and mechanical properties. Odour test with volatile organic compounds was done separately in the laboratory. The results showed that this material layer reduces odour emission to the same level as commercially available materials whose manufacturing costs are much higher than this developed material. This material can be sprayed onto waste and the obtained layer ensures the immobility of waste during wind and precipitation, reduces odour emission that pollutes the environment and attracts wild animals and insects, and is cost effective.

Ceramic sorbents. Two types of sorbents were developed and investigated. To obtain hollow granules foam polystyrene granules were covered in rotating cylinder with Liepas clay powder and liquid binder. The obtained granules were dried and sintered at 950-1150°C. The influence of crushed glass (5-13%) addition and sintering temperature (800-1050°C) on mechanical and sorption properties were investigated. Overall the compressive strength increases by increasing the sintering temperature and glass concentration. Granules sintered at 1000°C with 13 mass% glass showed the highest compressive strength. The capillary sorption of oil products (motor oil, diesel) was from 1.1 to 1.4 g/g. Therefore the hollow granules can be used as sorbent in cartridge type filters.

Clay-glass foam ceramics was obtained from Liepa clays and green glass bottles by direct foaming method. The glass additive was 5, 7 and 10 mass%. Samples were sintered in different temperatures. The glass addition eliminated the formation of cracks during the drying process. By decreasing the glass concentration the compressive strength increases, reaching 14 MPa with 5 mass% glass at 1050°C. The water absorption capacity increases by increasing glass content, reaching 122% for sample with 10% glass at 900°C. The highest sorption capacity of dye Bezaktiv turquoise blue V-G showed samples at lowest temperatures (800 and 900°C) and with 10 mass% glass. Overall application of glass waste in formation of foam ceramics lowers the sintering temperature, making the process energy efficient, and improves the mechanical properties. Due to relatively easy technology, low cost and easy available raw materials, this ceramic material could be competitive with other materials in water treatment.

ZEMTEMPERATŪRAS KERAMIKAS MATERIĀLU IZSTRĀDE, PIELIETOJOT LATVIJAS MINERĀLĀS IZEJVIELAS

DEVELOPMENT OF LOW TEMPERATURE CERAMIC MATERIALS USING MINERAL RAW MATERIALS OF LATVIA

Gaida Sedmale^{1*}, Māris Rundāns¹, Mārtiņš Randers¹,
Līga Grase¹, Andris Cimmers², Aija Krūmiņa²

¹ Rīgas Tehniskā universitāte, Silikātu materiālu institūts, Rīga, Latvija

² Rīgas Tehniskā universitāte, Neorganiskā ķīmijas institūts, Rīga, Latvija

¹ Riga Technical University, Institute of Silicate Materials, Riga, Latvia

² Riga Technical University, Institute of Inorganic Chemistry, Riga, Latvia

*gaida-maruta.sedmale@rtu.lv

Apakšprojekta „Zemtemperatūras keramikas materiālu izstrāde, pielietojot Latvijas minerālās izejvielas” ietvaros veiktais pētījums tika virzīts uz struktūras un īpašību modificēšanu un izpēti tipiskiem alumosilikātiem, galvenokārt, illītu māliem, arī kvarca smiltīm un karbonātus saturošām izejvielām (dolomītam, kaļķakmenim), pakļaujot tos vienam vai vairākiem apstrādes veidiem – mehāniskai, ķīmiskai, bioloģiskai, kā arī termiskai apstrādei, lai ievērojami pazeminātu domāto keramikas materiālu, galvenokārt, saķepināšanas/ apdedzināšanas temperatūru.

Projekta izpildei pielietoti, galvenokārt, Latvijas māli un no tiem izdalītie mālu minerālu – illīti, kas ir tipiski [SiO₄] un [AlO₆] grupējumu saturoši kārtainie alumosilikāti ar mainīgu ķīmisko sastāvu un ūdens saturu. Projekta rezultātā ir parādīts, ka no pielietotiem apstrādes veidiem illītiem efektīvākā ir termiskā apstrāde, kā arī apstrāde ar 8M NaOH šķīdumu un intensīva maļšana, kas aktivizē saķepināšanas temperatūru.

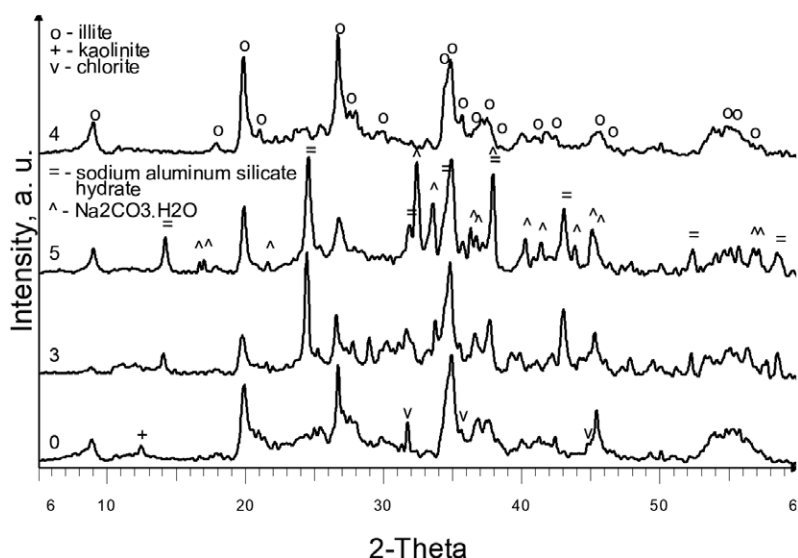
Pētītie un izstrādātie keramikas materiāli ietver: paaugstinātās (≤ 600°C) un normālās temperatūrās pielietojamus augstas porainības kordierīta keramiku vides aizsardzībai, būvmateriālu paraugus, kas iegūti izmantojot ražošanas atlikumus - pelnus, nano-līmeņa, korunda kristālisko fāzi saturošu, blīva temperatūras triecienu un paaugstinātās stiprības izturīgu keramiku, kā arī jaunu funkcionālu šūnveida biokeramikas materiālu ieguves metodiku, kurā tiek izmantotas dabas materiālu „veidnes” (biomimētika).

Latvijas mālu un mālu minerāla – illīta modificēšana un nozīme keramikas tehnoloģijā.

Kā zināms, mālu minerāli un konkrētā projekta izpildei pielietotie Latvijas māli un no tiem izdalītie mālu minerālu- illīti ir tipiski [SiO₄] un [AlO₆] grupējumu saturoši kārtainie silikāti ar mainīgu ķīmisko sastāvu un ūdens saturu. Māli ir nozīmīgi Zemes virskārtas veidošanas nogulumu ieži, kas, savukārt, satur virkni piemaisījumus, kā kvarcu (kvarca smiltis), karbonātus saturošus minerālus – kalcītu (kaļķakmeni, dolomītu). Māli būtiski ietekmē Zemes virspusē notiekošos fizikālos bioloģiskos un ķīmiskos procesus. Mālu minerāli kopumā ir ekstrēmi dispersi kristāli, kas reti sastopami makroskopiskos izmēros. Pēdējos gados ir pieaugusi interese par mālu minerālu daļiņām kā dabisku nano- izejmateriālu dažādiem procesiem un pielietojumiem. Viens no tādiem ir dažādu materiālu (piemēram, celulozes, tekstiliju uc.) virsmas modificēšana ar mālu minerālu nanodaļiņām, vai arī, izmantojot dabas materiālus kā «veidņus», tos keramizējot, apstrādājot ar mālu nanodaļiņām un iegūstot jaunus produktus ar lielu pievienoto vērtību.

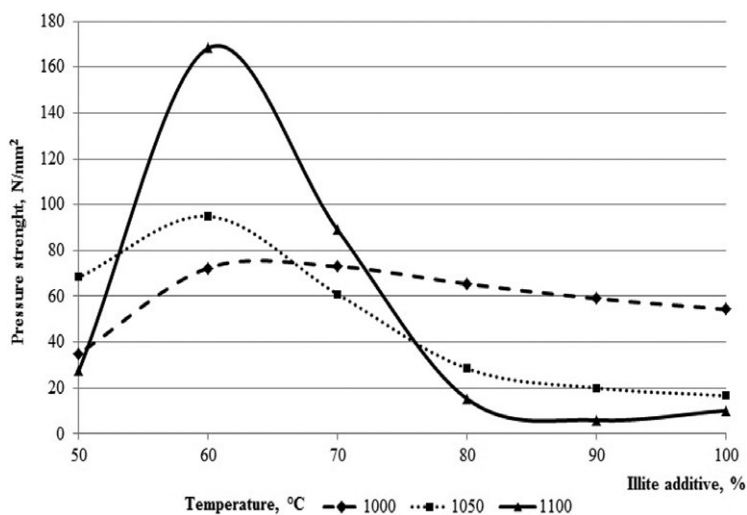
Šajā sakarībā ir turpināts izpētes cikls saistībā ar mālu minerālu- illītu dažādu apstrādes veidu (ķīmiska, mehāniska, termiska, bioloģiska) [1-6] apstrādes nozīmi dažu jaunu keramikas produktu izstrādē, pielietojot pētījumu metodes, kas ir aprakstītas iepriekšējā izdevumā par Valsts pētījumu programmas pētījumu rezultātiem [7].

1.attēlā ir parādīta neapstrādātu un apstrādātu mālaino minerālu, galvenokārt illītu, rentgenogrammas, kurās var izsekot mālaino minerālu intensitāšu nelielām izmaiņām un jaunu savienojumu veidošanai apstrādes rezultātā.



1.attēls. Dažādi apstrādātu mālaini minerālu rentgenogrammas:: 0 – neapstrādāti, 3 – apstrādāti ar 6M NaOH šķīdumu, 5 – apstrādāti ar 8M NaOH šķīdumu, 4 – termiski apstrādāti pie 580 °C.

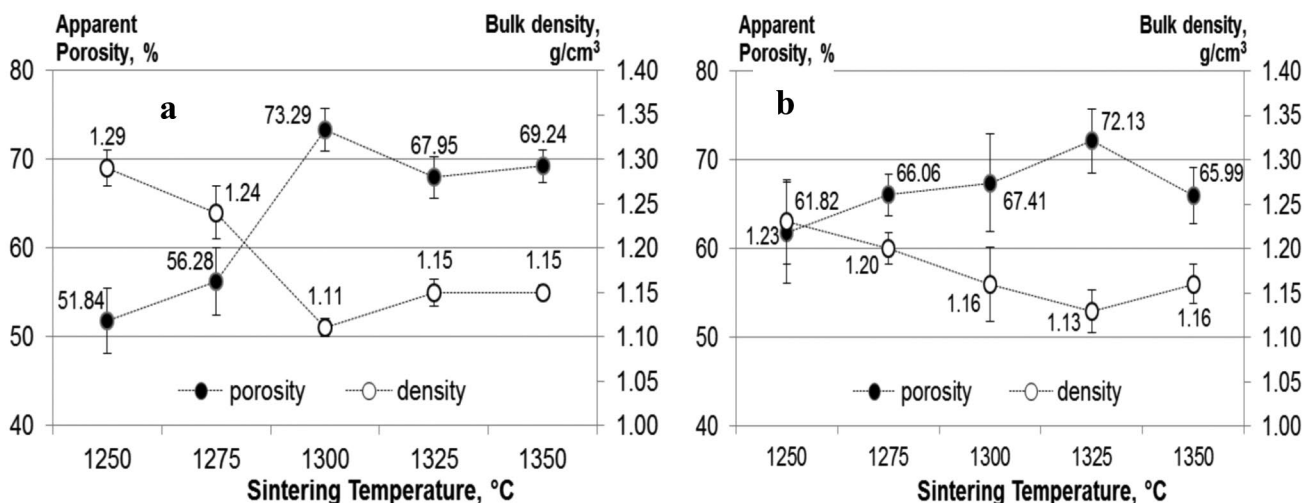
Pielietojot ne vien šo izpēti metodi apstrādātiem paraugiem, bet arī infrasarkanā spektroskopiju, diferenciālo termisko analīzi un mikrostruktūras izpēti (SEM) ir iegūts galvenais secinājums par to, ka ir novērojamas illītu struktūras izmaiņas, bet tās pilnīga «sagrāve» nerealizējas kā tas ir kaolīnīta mālu minerāla gadījumā. No pielietotiem veidiem efektīvākā ir termiskā apstrāde, kā arī ar 8M NaOH šķīdumu. Šādi apstrādātu aktivizētu mālu minerālu, kā arī intensīvi maltu mālu pielietojums ir efektīvs augstas stiprības (piemēram, korunda keramikas) saķepināšanas temperatūras ievērojamam samazinājumam, piemēram, 2.attēls, kā arī šūnu biokeramikas izstrādei, pielietojot dabas materiālus par t.s. veidņiem (sk. zemāk),



2.attēls. Spiedes izturības izmaiņas atkarībā no termiski apstrādātu illītu piedevas to maisījumos ar $Al(OH)_3$ korunda keramikas (αAl_2O_3) veidošanās procesā pie dažādām saķepināšanas temperatūrām (optimums pie illītu piedevas ~ 60%).

Augsttemperatūras kordierīta poru saturoša keramika.

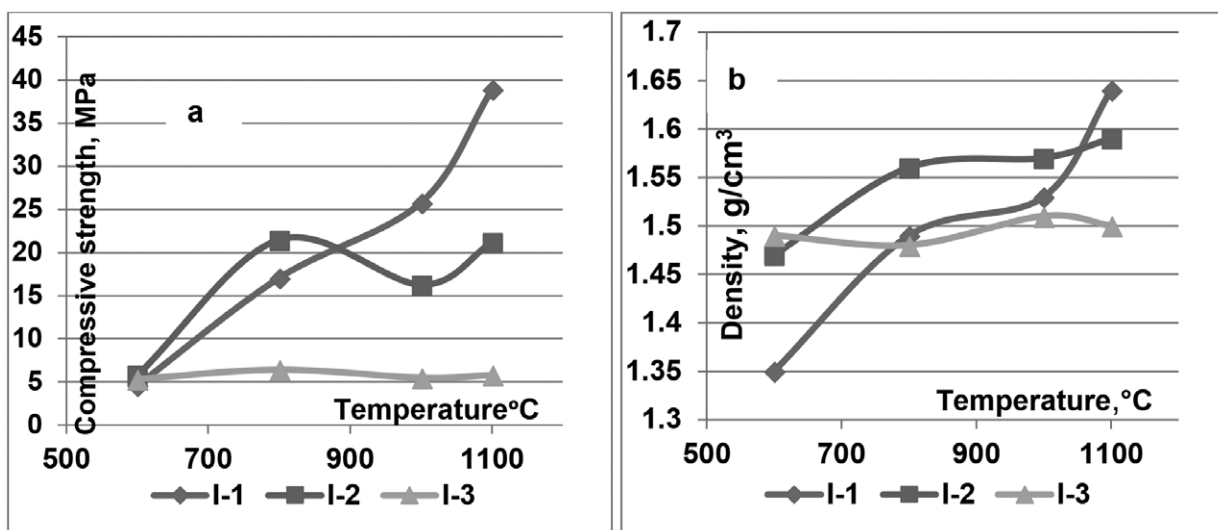
Darbu turpinājumā [9-13] par šādas keramikas izstrādi galvenais akcents likts uz dažiem tehnoloģiskiem rādītājiem, no kuriem viens no būtiskiem apbētiem ir pielietoto Latvijas mālu izvēle. Ir pielietoti divu atradņu māli – Apriķu un Nīcgales atradnes, kuru galvenā atšķirība ir mālaino daļiņu saturs, kas Apriķu atradnes māliem ir lielāks, un norāda uz to, ka stiklveida fāze, kas veidojas saķepšanas procesā un ir nepieciešama poru ‘saglabāšanai/iekapsulēšanai’ keramikas matricā norit pie nedaudz zemākas temperatūras, nekā pielietojot Nīcgales atradnes mālu (paraugu poru izmēri ar abu veidu māliem atrodas ap 100 μm poru diapazonā) (3.attēls).



3.attēls. Porozitāte un šķietamais blīvums (a) paraugiem ar pielietotu Apriķi atradnes mālu (33%) un (b) tas pats ar 33% NiOgales atradnes.

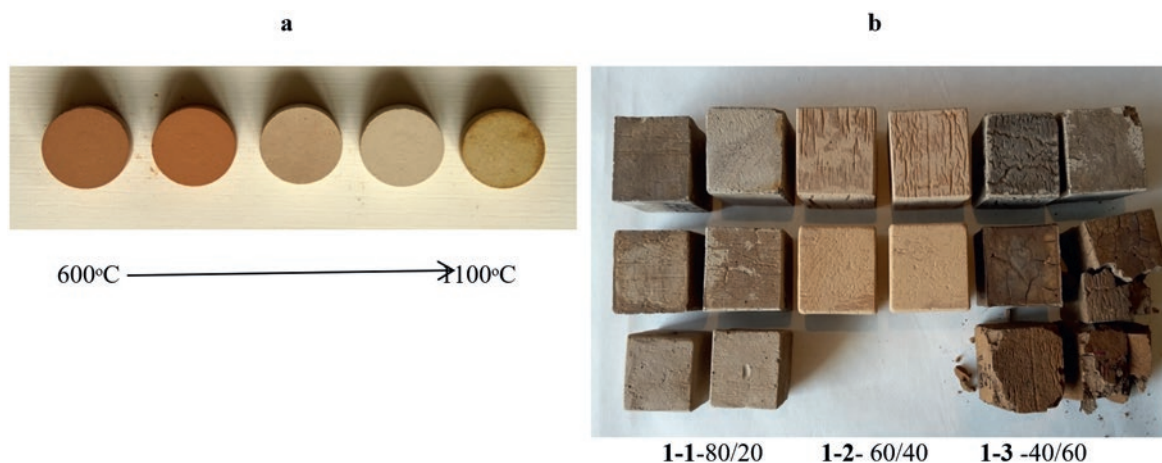
Koku pelnu iestrāde mālu – pelnu zemtemperatūras keramikas paraugos.

Ir zināms [piemēram 14], ka alkaliju vai alkaliju saturošu atlikumu materiālu (kā piemēram, koku pelnu), kuru sastāvā ir relatīvi augsts CaO un K₂O saturs (ap 10%), var būt rezultatīva izmantošanai maisījumos ar mālu. Pelnu piedeva mālam var dažādi ietekmēt domātā materiāla veidošanos: tā var pazemināt attiecīgu mālu pelnu maisījumu saķepšanas temperatūru, veicinot amorfās/ stiklveida fāzes veidošanos pie zemākām par tām temperatūrām, kas nepieciešamas tradicionālās māla keramikas saķepšanai; var veicināt arī poru veidošanos keramikā, kā arī pelnu piedeva, it sevišķi karbonātus saturošu savienojumu klātienē var veicināt zemākas stiprības saistvielu (piemēram, romāncementa) veidošanos- cietēšanu parastās temperatūrās. 4. attēlā ir parādītas apdedzināto paraugu divu galveno tehnoloģisko rādītāju vērtības un to izmaiņas gan no pievienotā pelnu daudzuma Apriķu mālam, gan arī no paraugu apdedzināšanas temperatūras.



4.attēls. Mālu - pelnu maisījumu apdedzināto paraugu spiedes stiprības (a) un šķietamā blīvuma (b) izmaiņas atkarībā no paraugu apdedzināšanas temperatūras un mālu - pelnu attiecības maisījumos (mas.%): 1-1-80/20 ; 1-2- 60/40 ; 1-3 -40/60.

Apdedzināto paraugu, kā arī to pašu maisījumu (kas cietējuši 28 diennaktis mitrā vidē parastā temperatūrā) vizuālais vērtējums parādīts 5. attēlā.



5.attēls. Mālu – pelnu maisījumu paraugi. a) saķepināti 600- 1100°C temperatūrā; b) cietējuši mitrā vidē parastā temperatūrā. Apzīmējumi: mālu pelnu attiecība %

Biokeramika - izstrādes veids.

Biokeramikas materiālu izstrāde ietver procesu, kura rezultātā tiek realizēts daudzveidīgu dabas materiālu (kā t.s. veidņu) izmantošana. Tos kombinējot ar sintētiskiem ķīmiskiem materiāliem, saķepināšanas (mineralizācijas) procesa rezultātā iegūst jaunu keramikas materiālu, kurš saglabā "veidņa" formu un tekstūru [15]. Valsts pētījumu programmas ietvaros ir izmantoti divu veidu dabas materiāli – sūna un/vai ķērpis un to mineralizācijai pielietota illītu mālu (vai mālu minerālu) – ūdens suspensija. Saķepinot paaugstinātā temperatūrā (>600°C), ir iegūti šūnveida biokeramikas materiālu paraugi ar tilpuma masu - $\leq 0.70 \text{ g/cm}^3$. Paraugu vizualizācija parādīta 6. attēlā.



6. attēls. Slāpekļa vidē (pa kreisi) un gaisa atmosfērā (pa labi) saķepinēti paraugi, pielietojot par „veidni” ķērpī un Apriķu māla – ūdens suspensiju

Secinājumi

Valsts pētījumu programmas turpinājums laika periodā no 2014. līdz 2018. gada pirmajam ceturksnim ir virzīts uz struktūras un īpašību modificēšanu un izpēti tipiskiem kārtainiem alumosilikātiem– mālu minerāliem illītiem un māliem, un to pielietošanai jaunu keramikas materiālu izstrādei, kā arī karbonātus saturošām izejvielām (dolomītam, kaļķakmenim) un kvarca smiltīm, un to pielietošanai, pakļaujot tos vienam vai vairākiem apstrādes veidiem – mehāniskai, ķīmiskai, bioloģiskai, kā arī termiskai apstrādei.

Ir parādīta apstrādāto mālu efektīva pielietošana, lai izstrādātu jaunus (nosacīti) keramikas materiālus pie pazeminātām saķepināšanas/apdedzināšanas temperatūrām, nodrošinot tiem nepieciešamu īpašību kompleksu.

Ir izstrādāti sekojoši laboratorijas keramikas paraugi un parādīta to pielietojamība: paaugstinātās ($\leq 600^{\circ}\text{C}$) un normālās temperatūrās pielietojamus augstas porainības kordierīta keramikas materiāli, (piemēram, atejošo gāzveida izmešu filtrācijai); reciklējot ražošanas atlikumus, koku pelnus, maisījumos ar illītu ķīmiski apstrādātiem māliem, iegūti dažādu nokrāsu laboratorijas paraugu prototipi celtniecībai ar augstu stiprību un raksturīgo šķietamo blīvumu atkarībā no pielietoto pelnu piedevas un apdedzināšanas temperatūras; nano-līmeņa blīva temperatūras triecienu un paaugstinātas stiprības korunda keramikas materiālu paraugi, izmantojot frakcionētus illītu mālus, lai pazeminātu šīs keramikas saķepināšanas (apdedzināšanas) temperatūru, potenciālam pielietojumam, piemēram, ražošanas cikla nodrošinājumam citu izstrādājumu tehnoloģiskās līnijās, t.sk. pie paaugstinātām temperatūrām ($\leq 300^{\circ}\text{C}$), piemēram, pārtikas tehnoloģijā u.c.; aprobēta un pierādīta jauna metodika šūnveida keramikas materiālu, biokeramikas izstrādei, keramizējot dabas materiālu „veidņus”.

Pateicības

Šī apakšprojekta atbildīgie izpildītāji izsaka visdziļāko pateicību pētniecei Margaritai Karpei par mālu veiktām ķīmiskām analizēm un tehnikām Ziedonim Dommeram par tehnisku palīdzību presformu izgatavošanā, kā arī dažu iekārtu darbības nodrošinājumam.

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāti poru saturošs un temperatūras triecienu izturošs kordierīta keramikas materiāls, kas aizsargāts ar Latvijā reģistrētu patentu (sk. 13. lit.avotu).
- II. Izstrādāti korunda keramikas paraugi no maisījumiem termiski apstrādāti māli $-\text{Al}(\text{OH})_3$ ar pazeminātu saķepināšanas temperatūru.
- III. Izstrādāti dažādas nokrāsas keramikas paraugi būvniecībai no māu- pelnu maisījumiem.
- IV. Izstrādāta metode šūnveida keramikas ieguvei, pielietojot organiskas dabas materiālu kombinācijā ar illītu māliem.
- V. Aizstāvēts viens bakalaura darbs (Inga Raubiška) un trīs maģistra darbi (Lidija Isajeva, Mārtiņš Randers un Polina Špeļa), aizstāvēšanai sagatavots viens promocijas darbs „Poru saturoša kordierīta keramika, pielietojot Latvijas minerālās izejvielas”, Māris Rundāns, vad. G.Sedmale).

Publikācijas un izmantotā literatūra

1. Rundans M., Sperberga I, Sedmale G, Vecstaudza D., Muter O. Influence of Bacteria *Pseudomonas fluorescens* on the Properties of Latvian Clay. Trans Tech Publications, Key Engineering Materials, 2014, Vol. 604, p. 208-211. <http://dx.doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.604.208>
2. Sedmale G, Sperberga I, Rundans M., Grase L. Different Treatment Application of Illite Clay for Low Temperature Ceramics. Advance in Science and Technology, 2014, Vol.92(2014), pp. 62-67. On line available since 2014, www.scientific.net (2014) Trans Tech Publications, Switzerland <http://dx.doi:10.4028/www.scientific.net/AST.92.62>
3. Sedmale G, Randers M. Grase L. Kostjukovs J., Seglins V. Use of Differential Treatment of Illite to Modify their Structure and Properties, Material Science and Applied Chemistry, 2015, 32, pp. 19-23.
4. Sedmale G., Randers M., Rundans M., Seglins V.. Application of differently treated illite and illite clay for the development of ceramics. Applied Clay Science, 2017, vol. 146, p. 397-403. <http://dx.doi.org/10.1036/j.clay.2017.06/016>
5. Randers M., Sedmale G., Sperberga I., Krumina A. Behavior of illite clay mineral by differential treatments. Book of abstracts of the 7th Baltic Conference on Silicate Materials Baltsilica 2016, Kaunas KTU, p. 49-50.
6. Sperberga I, Rundans M., Seglins V. Low temperature Ceramic materials via Alkaline Activation of Illite Clays. Book of abstracts of the 7th Baltic Conference on Silicate Materials Baltsilica 2016, Kaunas KTU, p. 47-48.
7. Sedmale G., Sperberga I., Korovkins A., Segliņš V., Rundāns M.. Jauni keramikas materiāli un tehnoloģijas. Vietējo resursu ilgtspējīga izmantošana- jauni produkti un tehnoloģijas (Nar Res). Valsts pētījumu programma, 2000-2013. Rakstu krājums, Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts. ISBN 978-9934-14-010-5, lpp. 29-35

8. Sedmale G., randers M., rundans M., seglins V. Application of differently treated illite and illite clay for development of ceramics. XVI International Clay conference ICC 2017, Scientific research abstracts, 2017, p.640-641.
9. Rundans M., Sedmale G., Šperberga I. Development of Cordierite Ceramics from Natural Raw Materials. *Advance in Science and Technology*, 2014, Vol.89(2014), pp. 62-67. Online available since 2014 (Oct.3). (www.scientific.net (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi: 10.4028/www.scientific.net/AST.89.94
10. Rundāns, M., Šperberga, I., Sedmale, G. High Temperature Porous and Dense Ceramic from Latvian Quaternary Clay. In: *Latvijas derīgie izrakteņi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti: zinātnisko rakstu krājums*. Rīga: RTU izdevniecība, 2014, pp.81-8, ISBN 978-9934-10-552-4.
11. Rundans M., Šperberga I., Sedmale G. Porous and Dense Cordierite Ceramic from Illite Clay. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 123 (2016), 012042 doi:10.1088/1757-899X/123/1/012042,4 p.
12. Rundans M., Sedmale G., Krumina A., Ivdre A. Influence of Technological Parameters on Thermal Properties of Cordierite Ceramics. *Material Science and Engineering*, ISSN: 1662-9793, Vol. 762, pp 300-305. Doi 10.1088/1757-899X/762/1/012042,4 p. 2018 Trans Tech Publications, Switzerland.
13. Rundans M., Sedmale G.M., Šperberga I. Pret temperatūras triecienu izturīga kordierīta keramika. Pozitīvs ekspertīzes lēmums par Latvijas patentes piešķiršanu. Pieteikums P-17-92. Starpt. klasifikācijas indekss C04B35/01, C04B3/02, C041F5/24, C01F7/02. Publikācijas datums 20.03.2018.
14. Chowdhury S., Mishra M., Suganya O. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*. Vol.6 (2), 2015, pp. 429–437, ISSN 2090-4479, Available from: doi.org/10.1016/j.asej.2014.11.005.
15. Tong-Xiang Fan, Suk-Kwan Chow, Di Zhang. Biomorphical mineralization: From biology to materials. *Progress in Material Science*, 2009, 54, 542- 659.

Izstrādāts materiāls un tehnoloģija, kas šobrīd akceptēts kā Latvijas patents

Rundans M., Sedmale G.M., Šperberga I. Pret temperatūras triecienu izturīga kordierīta keramika. Pozitīvs ekspertīzes lēmums par Latvijas patenta piešķiršanu. Pieteikums P-17-92. Starptautiskās klasifikācijas indekss C04B35/01, C04B3/02, C041F5/24, C01F7/02. Publikācijas datums 20.03.2018.

DEVELOPMENT OF LOW TEMPERATURE CERAMIC MATERIALS USING MINERAL RAW MATERIALS OF LATVIA

Gaida Sedmale^{1*}, Māris Rundāns¹, Mārtiņš Randers¹,

Līga Grase¹, Andris Cimmers², Aija Krūmiņa²

¹ *Riga Technical University, Institute of Silicate Materials, Riga, Latvia*

² *Riga Technical University, Institute of Inorganic Chemistry, Riga, Latvia*

**gaida-maruta.sedmale@rtu.lv*

Currents sub-project of the State research programme focuses on the modification and research of the structure and properties of typical aluminosilicates, mainly, illite clay, as well as quartz sand and carbonate-containing materials (dolomite, limestone), subjected to one or more types of treatment – mechanical, chemical, biological, and thermal, mainly in order to significantly reduce the target ceramic materials' sintering/ firing temperature.

Latvian clays were mainly used in the project. The clay minerals – illites, typical [SiO₄] and [AlO₆] group containing quartz aluminosilicates with varying chemical composition and water content, were distributed from them. Scientific interest in clay mineral particles, as natural nano-material source, has grown significantly in recent years in relation as natural nano-material source for various processes and applications.

The main conclusion resulting from our research indicates that the treatment of illite's, as well clay's has not given results to complete structure change, i.e. the “destruction” of clay minerals illite structure completely is not realized, as it has been demonstrated in the case of kaolinite clay minerals. It was concluded that the most effective is thermal treatment, as well as treatment with 8M NaOH solution and intensive milling. The application of treated - activated clay minerals, as well as intensively milled clays is sufficiently effective for a significant reduction in the sintering temperature required for the development of new ceramic materials.

The studied and developed ceramic materials are: high-porosity cordierite ceramic materials for environmental protection (e.g. exhaust gas filtration) that are used at elevated ($\leq 600^{\circ}\text{C}$) and normal temperatures; specimens of various-shaded building materials obtained using production residues, such as tree ash, mixed with chemically treated clay; nano-level, corundum crystalline phase-containing, dense, temperature shock and high-strength ceramic materials obtained using chemically treated illites.

The obtained ceramic materials could be applied and be useful for ensuring the production cycle in technological lines of other products, also at the elevated temperatures ($\geq 300^{\circ}\text{C}$) and under certain load conditions such as food technology, etc., new functional cellular bio-ceramic material production methodology, which employs usage of natural material “mould” (i.e., biomimetic), which are exposed to the ceramization process after coating with clay particles.

AUGSTI PORAINA MĀLU UN OKSĪDU KERAMIKA

HIGHLY POROUS CLAY AND OXIDE CERAMIC

Ruta Švinka^{1*}, Visvaldis Švinka¹, Lauma Lindiņa¹

¹Rīgas Tehniskā universitāte, Silikātu materiālu institūts, Rīga, Latvija

¹Riga Technical University, Institute of Silicate Materials, Riga Latvia

* ruta.svinka@rtu.lv

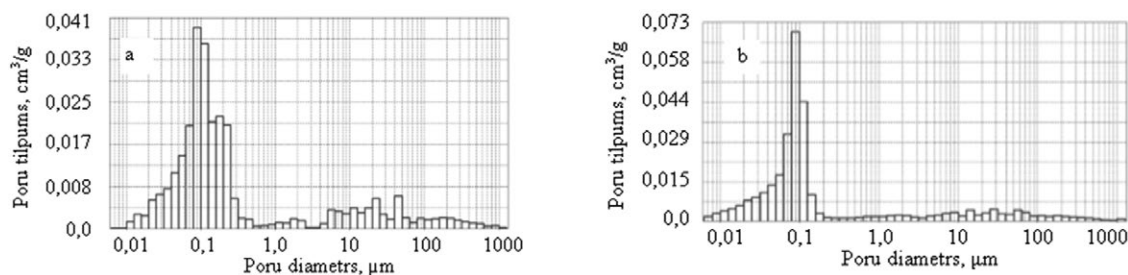
Pētījuma mērķis ir iegūt jaunus porainus keramikas materiālus ar jaunām vai uzlabotām īpašībām. Pētījuma uzdevums ir iegūt šādus materiālus no plastiskām masām vai suspensijām, un pēc apdedzināšanas noteikt to īpašības, kas saistītas ar šo materiālu praktisko pielietojumu: porainību, poru struktūru mikronu un nanometru diapazonos, īpatnējo virsmu, sorbcijas spēju, matricu fotokatalizatoru uznešanai. Darba rezultātā noteikta Latvijas mālu keramikas selektīva noderība dažāda veida ūdens piesārņojuma novēršanai, tai skaitā organisku (etiķskābe, organiskās krāsvielas) un molekulāru neorganisku savienojumu (jods) adsorbcijai. Iegūti fotokatalītiski pārklājumi uz keramikas granulu virsmas ar lielu fotokatalītisko aktivitāti. Iegūti augsti poraini mālu un oksīdu keramikas filtri, kuri vienlaicīgi ar suspendēto daļiņu atdalīšanu no ūdens sista arī ūdeni izšķīdušos jonus, par ko liecina ūdens elektro vadāmības samazināšanās. Programmas noslēgumā, izmantojot iepriekšējos pētījumos iegūtos rezultātus un praktisko pieredzi, iegūts jauna veida kompozīta materiāla sorbents, kurā apvienotas divas komponentes ar atšķirīgi darbošamies sorbcijas mehānismiem. Saņemts pozitīvs lēmums par pieteikto patentu.

Materiāli un metodes

Keramikas granulu iegūšanai darbā izmantoti Šļūcenieku un Prometeja atradņu kvartāra māli. Keramikas granulu porainības palielināšanai māliem pievienots 3 % sijātu zāģu skaidu ($\varnothing \leq 2$ mm) vai 2 % glicerīna, kas ir dīzeļdegvielas ražošanas blakus produkts. No plastiskām masām izgatavotas 5 mm granulas, kuras apdedzinātas 800 - 1100°C temperatūrās. Prometeja mālu granulas tika pārklātas ar ZnO nanodaļiņām. Nanometru izmēru daļiņu iegūšanai uz keramikas granulu virsmas izmantota piesūcināšana ar 10% cinka acetāta šķīdumu un tai sekojošu granulu apdedzināšanu 800°C temperatūrā, kā rezultātā uz keramikas virsmas izveidojas nanoizmēru ZnO pārklājums. Ar ZnO pārklātās minēto kvartāra mālu un devona Kupravas mālu granulas izmantotas fotokatalītiskiem pētījumiem attiecībā uz organisku vielu sadalīšanu. Tūjas atradnes devona māli izmantoti augsti porainas filtrējošas keramikas iegūšanai, kur poras materiālā veidojas ķīmiskas reakcijas rezultātā starp alumīnija pulveri un ūdeni bāziskā vidē. Bāziskas vides nodrošināšanai māliem pievienots 15 % γ -Al₂O₃. Paraleli gatavoti sastāvi, kuros papildus pievienots talks un γ -Al₂O₃ un talka daudzumu attiecība ir 1:1. Paraugi apdedzināti 900, 950, 1000 un 1050°C temperatūrās ar temperatūras celšanas ātrumu 300°C/h un izturēšanas laiku konkrētajā temperatūrā 1h. Adsorbējoša kompozīta materiāla iegūšanai izmantoti Liepas un Kupravas devona māli, kā arī Apriķu atradnes kvartāra un Saltišķu atradnes triasa māli. Māliem pievienots 30 % zāģu skaidu un no plastiskas masas izgatavotas granulas. Pēc izžāvēšanas granulas termiski apstrādātas 800 - 1000°C temperatūrās 5-8 minūtes. Augsti porainas oksīdu (kordierīta) keramikas iegūšanai izmantoti kaolīns, γ -Al₂O₃ un talks, kā arī mehānisko īpašību uzlabošanai 5 masas % SiO₂ piedevas. Poras veidojas izejvielu koncentrētā suspensijā izdaloties ūdeņradim ķīmiskā reakcijā starp alumīnija pastu un ūdeni bāziskā vidē. Paraugus apdedzina atkarībā no sastāva 1250 - 1450°C temperatūrās. Iegūto mālu un oksīdu keramikas materiālu fāžu sastāva noteikšanai izmantots rentgena staru difraktometrs Rigaku Ultima + (Japāna) CuK α starojums. Poru izmēru sadalījums, porainība un īpatnējā virsma noteikta ar dzīvsudraba porozimetriju (Quantachrome Instrument, ASV) un slāpekļa adsorbcijas (BET) metodi (NOVA 1200e, Quantachrome instrument). Sorbentiem paredzētajiem materiāliem noteikts daļiņu virsmas lādiņš –zeta potenciāls ar Malvern firmas mērinstrumentu Zetasizer Nano Z (Lielbritānija). Izgatavotajām granulām tika noteiktas to radītās pH izmaiņas pēc iemērķšanas destilētā ūdenī. pH noteikšanai izmantots pH-metrs Mettler Toledo Seven Multi (Šveice). Iegūto keramikas granulu sorbcijas spēja noteikta attiecībā uz molekulāriem savienojumiem (jods). Organiskas krāsvielas metiloranža adsorbciju uz granulām nosaka ar spektrofotometru GENESYS 10S UV – Vis, analizējot palikušo krāsvielas daudzumu šķīdumā atkarībā no sorbcijas laika. Šo metodi izmanto arī ar ZnO pārklāto granulu fotokatalītiskās aktivitātes novērtēšanai pēc apstāšanās ar LED lampu ($\lambda=460$ nm). Augsti porainās mālu keramikas filtrācijas spēja tika noteikta, mērot filtrējamā šķīduma elektro vadītspējas izmaiņu filtrācijas procesā ar konduktometru Mettler Toledo SevenMulti pH-meter with electrode InLab® 413 (Šveice). Materiālu struktūras pētījumiem izmantots skenējošais elektronu mikroskops „FEI Nova NanoSEM 650 (FEI Company, Eindhoven, Nīderlande). Keramiskās īpašības – ūdens uzsūce, porainība, tilpuma masa noteiktas pēc Arhimēda likuma.

Rezultāti

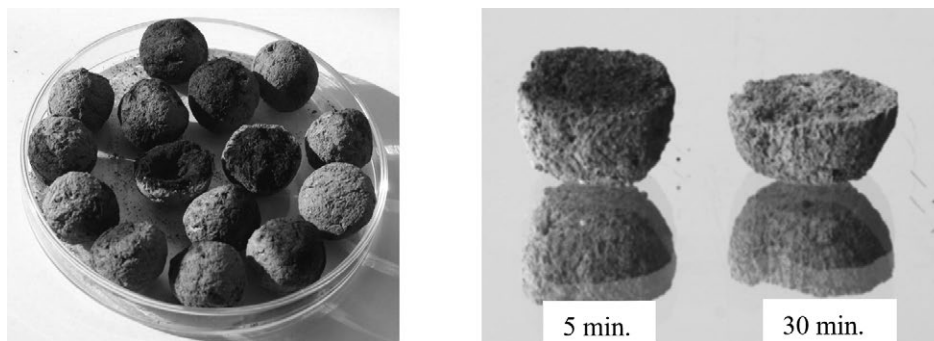
Divi granulometriskā sastāva ziņā atšķirīgi kvartāra māli izmantoti porainu keramisku granulu iegūšanai ar mērķi, analizēt to iespējamo pielietojumu piesārņota ūdens attīrīšanai no vielām ar dažādu sastāvu un ķīmisko raksturu [1]. Dundagas novada Prometeja atradnes māli ir ļoti plastiski, jo mālu frakcijas (daļiņu $\text{Ø} \leq 0,005 \text{ mm}$) ir 84,9 %, bet smilšu (daļiņu $\text{Ø} \geq 0,05 \text{ mm}$) ir tikai ap 2 %. Turpretim Vecumnieku novada Šļūcenieku mālos mālu frakcijas saturs ir 46,0 %, bet smilšu frakcijas saturs ir ievērojami lielāks, un tas ir 8,5 %. Ļoti atšķirīgs ir arī karbonātu saturs šajos minētajos mālos: Šļūcenieku mālos tas ir aptuveni 2 reizes lielāks nekā Prometeja mālos. Apdedzinot granulas 800 līdz 1100°C temperatūrās, tām ir atšķirīga poru struktūru, t.i., poru izmēru sadalījums un īpatnējās virsmas laukums vienādā apdedzināšanas temperatūrā (zīm.1). Līdz ar to atšķirīgas ir arī šo mālu keramikas granulu sorbcijas īpašības, ko ietekmē arī ūdens pH izmaiņas, iemērcot tajā attiecīgas apdedzinātās granulas. Lieso Šļūcenieku mālu granulu īpatnējās virsmas laukums, paaugstinot to apdedzināšanas temperatūru, samazinās no 3,29 līdz 1,75 m²/g, turpretim, Trekno Prometeja mālu granulu gadījumā īpatnējās virsmas laukums ir ievērojami lielāks visās apdedzināšanas temperatūrās un, paaugstinot apdedzināšanas temperatūru, tas samazinās no 12,35 līdz 3,79 m²/g [1].



Zīmējums 1. Poru tilpuma histogrammas 800 °C temperatūrā apdedzinātām granulām: a – Šļūcenieku māli; b – Prometeja māli.

Abu šo mālu un arī Kupravas mālu keramikas granulas izmantotas par matricu fotokatalītisku materiālu iegūšanai. ZnO nanodaļiņu pārklājums uz 800 un 900°C temperatūrās apdedzinātām Kupravas mālu granulām uzrādījis vērā ņemamu fotokatalītisko aktivitāti. 0,5 h laikā 800°C temperatūrā apdedzinātās granulas sadala etiķskābi 105,7 mg/g ZnO, bet 900°C temperatūrā apdedzinātām granulām šis skaitlis ir 128,9 mg/g ZnO. Šļūcenieku un Prometeja apdedzinātu mālu granulu gadījumā ZnO pārklājuma nanodaļiņu ietekme uz etiķskābes sadalīšanu bija mazāka, jo matrica bija poraināka un lielāks nanodaļiņu pārklājums bija porās, nevis uz parauga virsmas. Veikti arī pētījumi par iegūto keramikas granulu dažāda veida virsmas apstrādi ar mērķi palielināt sorbcijas aktivitāti. Viens no šādiem mēģinājumiem bija apstrādāt apdedzinātās Kupravas mālu granulas ar paātrinātajiem elektroniem [2]. Neliels sorbcijas spējas palielinājums apm. 2 % tika konstatēts 800°C temperatūrā apdedzinātām un ar 5 MGy dozu apstarotām granulām, kas, iespējams, saistīts ar paātrināto elektronu iedarbību uz keramikas materiālā esošo hematītu.

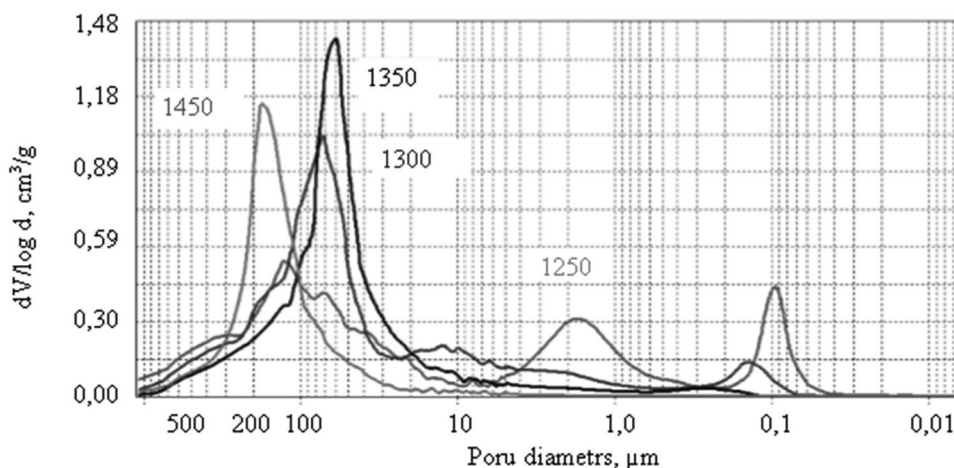
Pēdējā laikā ir iegūts jauns kompozīta materiāls, kas sastāv no dehidroksilētiem māliem un aktivētās ogle. Materiāla iegūšanai devona māliem pievienots 30 % un vairāk zāģu skaidu vai mikrokristāliskas celulozes granulu un no plastiskas masas izgatavotas granulas, kuras pēc izžāvēšanas strauji apdedzinātas 800 – 1000°C temperatūrās [4,5]. Iegūtajam materiālam ir labas adsorbcijas īpašības, jo tās uzrāda gan dehidroksilēts illīts, gan aktīvā ogle, jo ogle aktivācija notiek pašā materiāla iegūšanas procesā sadaloties illītam. Paaugstinot apdedzināšanas temperatūru, kompozīta materiāla sorbcijas spēja samazinās, jo ogleklis veido grafitu ar sliktākām adsorbcijas īpašībām, un arī vienlaicīgi veidojas špineli saturoša keramikas komponente. Paaugstinot apdedzināšanas temperatūru, samazinās arī īpatnējās virsmas laukums, kas arī var būt sorbcijas īpašību pasliktināšanās iemesls. Palielinot apdedzināšanas ilgumu, ogleklis sadeg, un iegūstam parastu keramikas materiālu (zīm. 2).



Zīmējums 2. Kompozīta materiāla granulas.

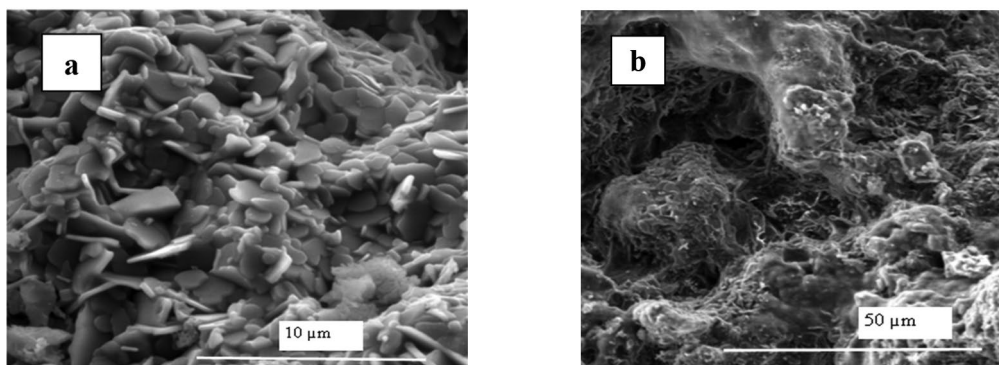
Veikti arī pētījumi par augsti porainu keramiku, kas iegūta no koncentrētas izejvielu suspensijas un poras veidojas ūdeņraža izdalīšanās rezultātā. Šo pētījumu mērķis bija iegūt keramikas filtrus ar caurejošām porām noteiktā poru izmēru diapazonā, kas būtu noderīgi ūdenī suspendētu daļiņu atdalīšanai. Pievienojot devona māliem papildus tādu filosilikātu kā talku, iespējams izmainīt materiāla poru struktūru. Talka piedeva palielina 900 un 950°C temperatūrās apdedzinātu materiālu porainību, bet paaugstinot apdedzināšanas temperatūru, materiālu porainība samazinās. Filtrējot jūras ūdeni, kas bez ļoti sīkām cietas vielas daļiņām satur arī tajā izšķīdušus Ca^{2+} un Mg^{2+} jonus un, pieslēdzot konduktometru, filtrēšanas procesā ūdens elektrovadāmība samazinās. Filtrējamā ūdens elektrovadāmība vairāk samazinās materiālam bez talka piedevas. Piemēram, 950°C temperatūrā apdedzinātiem paraugiem bez talka piedevas tā samazinās par 1,8 mS/cm 3 minūšu laikā, bet paraugiem ar talka piedevu elektrovadāmības samazinājums ir tikai 0,28 mS/cm 5 min. laikā. Filtru caurplūdes spēja ir robežās no 600 līdz 1000 l/m² h.

Tā kā mālu keramikas filtru ķīmiskā izturība nav sevišķi liela, tad pētīta augsti poraina oksīdu (kordierīta) keramika, kuras iegūšanai arī kā viena no izejvielām izmantots talka [6]. Iegūto paraugu porainība atkarībā no apdedzināšanas temperatūras ir robežās no 45 līdz 56 %, bet poru izmēru sadalījums ir mainīgs (zīm.3). 1300 un 1350°C temperatūrās apdedzinātiem paraugiem raksturīgais poru izmēru diapazons ir 50 līdz 100 μm . 1250°C temperatūrā apdedzinātā paraugā poru izmēri ir plašā diapazonā, turpretim 1450° apdedzinātai keramikai ir šauri liela izmēra poru diapazons 100 – 200 μm . SEM fotogrāfijās redzami plākšņveida kordierīta graudi, adatveida mullīts un noapaļoti korunda graudi (zīm. 4a). Mazākā palielinājumā (zīm.4b) redzams, ka poras izvietotas starp dažāda sastāva kristālisku fāžu agregātiem.



Zīmējums 3. Poru tilpuma izmaiņu logaritms dažādās temperatūrās apdedzinātai kordierīta keramikai.

Augsti porainas kordierīta keramikas trūkums ir ierobežota mehāniskā izturība, kas varētu būt šķērslis praktiskas izmantošanas gadījumā. Mehāniskās izturības uzlabošanai izejvielu maisījumam papildus tika pievienots 5 % malta amorfa SiO_2 ar daļiņu izmēru 7 μm .



Zīmējums 4. SEM attēls 1300°C apdedzinātai kordierīta keramikai

Apdedzināšanas rezultātā 1300 - 1350°C temperatūrās papildus uz korunda daļiņu virsmas veidojās sekundārais mullīts, kas uzlaboja materiāla mehānisko izturību.

Secinājumi

Latvijas mālu keramika, izmantojot dažādas organiskas dabas piedevas, piemēram, zāģu skaidas, glicerīnu (biodegvielas ražošanas blakus produkts) ir izmantojama vides tehnoloģijās piesārņota ūdens attīrīšanai. Konkrētu atradņu mālu keramikai piemīt selektīva adsorbcijas spēja, piemēram, kvartāra vai devona māliem, jo šo mālu granulas izmaina ūdens pH, kas ir viens no galvenajiem sorbcijas procesus noteicošajiem parametriem. Mālu keramikas granulas ir izmantojamas par matricu fotokatalītisku nanoizmēru daļiņu pārklājumiem, piemēram, ZnO, kas iegūts sāļu termiskas disociācijas rezultātā.

Latvijas devona māli ir izmantojami kompozīta materiāla iegūšanai, kurš sastāv no dehidroksilēta illīta un aktīvās ogles, kuri veidojušies koksnes pirolīzes laikā ierobežotas skābekļa piekļuves apstākļos. Materiālam piemīt ļoti labas sorbcijas īpašības, pateicoties divu atšķirīgas dabas sorbentu apvienojumam.

Augsti poraina mālu un oksīdu keramika, kas iegūta bez izdegošām piedevām, noderīga kā keramiskie filtri ar regulējamu poru izmēru plašā diapazonā un ar labu ūdens caurlaidību. Šāda veida filtri izmantojami gan cietu suspendētu daļiņu atdalīšanai, gan arī ūdenī izšķīdušu savienojumu vai jonu absorbcijai.

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāti un aizstāvēti 5 maģistra darbi.
- II. O.Leščinskis. 2.gada doktorants. Nanokompozītu materiāli uz mālu minerālu bāzes. Darba vadītājs: asoc.prof. R. Švinka.

Publikācijas

1. Svinka R., Svinka V., Pudze I., Damberga M. Clay Ceramic Pellets for Water Treatment. *Scientific Journal of Riga Technical University, Material Science and Applied Chemistry*, 2015, vol.32, pp.39-44.
2. Svinka R., Svinka V., Dabare L., Lescinskis O. Porous clay ceramic for environmental technologies. *Advances in Science and Technology*. 2014, vol.91, pp.88-93.
3. Svinka R., Svinka V., Lescinskis O. Possible Modification of Porous Clay Ceramic for Environmental Technologies. *Proceedings of Material Science and Applied Chemistry, MSAC 2016*, pp.186-190.
4. Svinka R., Svinka V., Lescinskis O., Lindina L. Catalytic pyrolysis of wood in presence of clay minerals. *Key Engineering Materials*, 2018, vol. 762, pp.311-316
5. Svinka,R., Svinka, V.. New clay ceramic materials. *Book of Abstracts. International Symposium "Clay and Ceramic"* Riga, LU, 2018, pp.7-9.
6. Svinka R., Svinka V., Bobrovik J. Modification of Porous Cordierite Ceramic. *Key Engineering Materials*, 721, 2017, pp.322-326.

HIGHLY POROUS CLAY AND OXIDE CERAMIC

Ruta Svinka^{1*}, Visvaldis Svinka¹, Lauma Lindina¹

¹Riga Technical University, Institute of Silicate Materials, Riga, Latvia

** ruta.svinka@rtu.lv*

Obtaining of new porous ceramic materials with new or improved properties was the goal of these studies. The raw materials were quaternary and Devonian clays of Latvia, as well as such phyllosilicate as kaolin and talc. These materials were designed for the use in environmental technologies such as wastewater purification in the sorption processes or filtration together with sorption.

Two different methods for the formation of ceramic body were used. Ceramic pellets from plastic mass with additive of organic substances 3 % of sawdust or glycerol (by-product in biodiesel technology) were formed. Ceramic for filtration purpose by casting of concentrated suspension of raw materials was obtained. Porosity, pore structure in the micrometer and nanometer range, specific surface area, sorption ability and phase composition were determined for materials obtained. Suitability of clay ceramic pellets as matrix for the obtaining of photocatalytic coatings was investigated.

The chemical and mineralogical composition of used clays as well the grain size distribution in these clays as well as firing temperature of materials were the determining factors for the structure and sorption properties of obtained ceramic materials.

The results of our studies demonstrate that ceramic obtained from Latvia clays by addition of sawdust or glycerol (by-product in biodiesel technology) in amount of 3 mass % was useful for the purification of wastewater. The sorption ability of materials was selective because the pellets of Quaternary and Devonian clays changed pH of water medium. pH is one of the main determinants of sorption processes. The clay ceramic pellets were also useful as matrixes for the nanosize particles coating of ZnO, that were obtained by thermal decomposition of zinc acetate. The photocatalytic activity of such coating was 128.9 mg/g ZnO of acetic acid during 1 h by irradiation with light 460 nm.

Devonian clays are useful for the obtaining of composite material which is composed from dehydroxilated illite and activated carbon. These components during process of wood pyrolysis by limited access to oxygen were formed. The material has very good sorption properties due to the combination of two different sorbents.

Highly porous clay and oxide ceramics obtained without combustible additive are useful as ceramic filters with good water permeability and possible regulation of pore size distribution in a wide range. Such filters are useful for the removal of solid particles and also adsorption of compound or ion dissolved in the water.

KŪDRAS, SAPROPEĻA, MĀLU ĪPAŠĪBU UN MODIFIKĀCIJAS IESPĒJU PĒTĪJUMI

PROPERTIES AND MODIFICATION POSSIBILITIES OF PEAT, SAPROPEL AND CLAY

Māris Kļaviņš^{1*}, Rūta Ozola¹, Vaira Obuka¹, Linards Kļaviņš¹,
Marta Jemeljanova¹, Viesturs Ozols¹

¹Vides zinātnes nodaļa, Latvijas Universitāte, Rīga, Latvija

¹Department of Environmental Science, University of Latvia, Riga, Latvia

*maris.klavins@lu.lv

Kūdra, sapropelis un māli ir nozīmīga Latvijas zemes dziļu resursu grupa, kas pašlaik lielā mērā tiek izmantota zemas pievienotās vērtības produktu ražošanai ar minimālu vai bez apstrādes. Risinājumi jaunu, augstas pievienotās vērtības, produktu izstrādei tautsaimniecības vajadzībām var pamatoties uz sekojošiem risinājumiem: 1) detalizēta resursu sastāva izpēte, kas var pamatot jaunus izstrādes risinājumus; 2) dabas resursu modifikācijas risinājumu izstrāde, kas nodrošina jaunas pielietojuma jomas; 3) attīstīt līdz šim maz izmantotu resursu formu jaunas pielietojuma jomas. Saskaņā ar izstrādāto koncepciju Valsts pētījumu programmas apakšprojekta ietvaros pētītas iespējas: 1) izmantot zemā purva kūdru; 2) modificēt kūdru, lai izstrādātu jaunus sorbentus; 3) modificēt mālus, lai paaugstinātu to izmantošanas iespējas sorbcijai; 4) izmantot sapropeli kompozītmateriālu iegūšanai. Pētījumu rezultātā pierādītas iespējas izstrādāt jaunus materiālus ar unikālām īpašībām un plašām to izmantošanas iespējām.

Latvijā ir atrodams relatīvi liels skaits un ievērojami apjomi dažādu Zemes dziļu resursu, kuru izmantošana var sniegt būtisku ieguldījumu tautsaimniecības attīstībai un tautas labklājības nodrošināšanai. Vienlaikus mūsdienīgas šo resursu iegūšanas tehnoloģijas var novērst resursu iegūšanas negatīvo ietekmi uz vides kvalitāti, vai pat to sekmēt. Piemēram, sapropeļa iegūšana var sekmēt Latvijas iekšējo ūdeņu kvalitātes uzlabošanu, nodrošinot aizaugušu ezeru attīrīšanu, izņemot no tiem nogulumu masu un bioloģiskās daudzveidības atjaunošanu eitrofās un citādi degradētās ekosistēmās. No otras puses, izsmeltā sapropeļa izmantošana lauksaimniecībā var dot ieguldījumu bioloģiskās lauksaimniecības attīstībā, bet pētīt citus sapropeļa izmantošanas risinājumus, ir iespējams meklēt iespējas aizvietot sintētiskas limvielas ar dabiskas izcelsmes limvielām.

Arī kūdras īpašību izpēte var sekmēt zemā purva kūdras (kuras izmantošana pašlaik ir ierobežota un nereti veido kūdras ieguves atkritumus) jaunu izmantošanas risinājumu attīstību. Izvirzot kā uzdevumu jaunu augstas pievienotās vērtības produktu izveidi, ir iespējams izstrādāt risinājumus jaunu produktu izveidei, kuru ražošana vienlaikus ļautu samazināt kūdras ieguves apjomus (kas pašlaik ir definēts kā Eiropas Savienības daudzu valstu politisks uzstādījums), vienlaikus paaugstinot iegūtās produkcijas vērtību. Kūdra kā strukturāli un funkcionāli daudzveidīgs produkts ir modificējama, saglabājot kūdras vērtīgās īpašības, vienlaikus nodrošinot jaunu īpašību dizainu. Jaunu kūdru saturošu produktu izstrādei perspektīvi risinājumi pieejami gan augstā purva kūdras, gan zemā purva kūdras gadījumā. Kūdras izmantošanas risinājumus var sekmēt tradicionāli spēcīgā kūdras ieguves industrija Latvijā un atbalsts tās attīstībai.

Latvijas māli veido nozīmīgu zemes dziļu resursu grupu, kuru raksturo to sastāva daudzveidība, kā arī daudzas tradicionālas to izmantošanas jomas. Latvijas mālu izmantošanas attīstības iespējas, līdzīgi, var tikt saistītas ar jaunu produktu izstrādi uz to bāzes, kas var pavērt jaunus risinājumus. Perspektīvas mālu izmantošanas jomas var tikt saistītas ar sorbentu izstrādi uz mālu bāzes, izmantošanai vides un biotehnoloģijās.

Kūdras īpašību un izmantošanas risinājumu izpēte

Tautsaimniecības attīstībai ļoti nozīmīga ir produktu radīšana, kuru realizācija ne tikai nodrošina darbavietas, bet arī rada ienākumus. Sevišķi nozīmīgi ir eksporta spējīgi produkti, kuriem nereti nepieciešams gan veiksmīgs mārketinga modelis, gan augsta zināšanu kapacitāte. No kūdras šobrīd tiek un iepriekš ir tikuši radīti dažādi produkti, piemēram, kūdras vaski, sveķi, cukuri, fenoli, humusvielas, aktivētā ogle u.c. Šī pētījuma mērķis ir aplūkot šobrīd esošās kūdras izmantošanas jomas, kas ļautu izvērtēt to izmantošanas potenciālu, kā arī radīt pamatu jaunu ideju radīšanai. Jaunu produktu un tehnoloģiju

radišana, izmantojot kūdru, ir saistīta ar šādām Viedās specializācijas stratēģijas jomām, tādām kā uz zināšanām balstīta bioekonomika, viedie materiāli, biotehnoloģijas un inženierzinātnes. Nākotnē radītie risinājumi un produkti spēs sniegt ieguldījumu efektīvā un ilgtspējīgā vietējas izcelsmes zemes resursu izmantošanā, ietverot dažādas tautsaimniecības nozares.

Kūdras fizikālās un ķīmiskās īpašības: attīstīta porainība, liela īpatnējā virsma, jonu apmaiņas spēja un citas, padara kūdru par augstvērtīgu materiālu dažādu sorbentu izgatavošanai. Kūdru visai tradicionāli izmantoja par filtru dažādām gāzēm, smaržām un šķīdumiem. Pasaulē ir zināmas visai attīstītas biofiltrācijas sistēmas, kurās tiek izmantota kūdras šķiedra. Kūdras šķiedrai raksturīgs liels virsmas laukums, tādejādi padarot kūdru par kvalitatīvu sorbentu mikrobiem un dažādām ķīmiskajām vielām. No kūdras tiek izgatavota arī aktivētā ogle. Termiski apstrādāta kūdra absorbē dažādas eļļas taču neabsorbē ūdeni – ar šādu preparātu iespējams attīrīt ūdeni piemēram no naftas piesārņojuma. Kūdru iespējams izmantot arī kā gaisa filtru.

Kūdra var tikt izmantota kā efektīvs, bet tajā pašā laikā lēts, viegli pieejams un viegli izmantojams biosorbents, kas efektīvi saista ķīmiskos elementus un to savienojumus no dažāda veida piesārņotiem ūdeņiem. Šie ūdeņi visbiežāk ir komunālie notekūdeņi, bet pētījumi parāda, ka kūdru var veiksmīgi izmantot arī piesārņotu gruntsūdeņu, lauksaimnieciskās ražošanas notekūdeņu un atkritumu izgāztuvju infiltrāta attīrīšanā.

Lai apzīmētu kūdras (un arī citu bioloģiskas izcelsmes materiālu) spēju attīrīt piesārņotus ūdeņus, tiek lietots termins „sorbcija” vai „biosorbcija”. Jāuzsver, ka termins „biosorbcija” apvieno vairākus mehānismus, kas nodrošina kūdras spēju attīrīt piesārņotus ūdeņus. Tie ir ne tikai adsorbcija un/vai absorbcija, bet arī jonu apmaiņa, kompleksu veidošanās un izgulsnēšanās. Ja kūdra tiek izmantota smago metālu sorbcijai, tad jonu apmaiņa ir noteicošais mehānisms - kūdras humifikācijas procesa laikā rodas humusvielas, kas satur karboksilgrupas un fenolu hidroksilgrupas, kuras reakcijā ar metāliem atbrīvo protonus.

Biosorbentu, t.sk. arī kūdras izmantošanas nepieciešamību nosaka tas, ka tradicionālām attīrīšanas metodēm, piemēram, izgulsnēšanai ar karbonātiem vai hidroksīdiem, jonu apmaiņai un reversajai osmozei, piemīt vairāki trūkumi – lielas izmaksas (līdz ar to, samazinās uzņēmuma konkurētspēja), bieži rodas kaitīgas dūņas un šīs metodes nav iespējams izmantot, ja ūdenī ir zemas piesārņojošo vielu koncentrācijas. Ņemot vērā minētās nepilnības, ir nepieciešams izmantot jaunus tehnoloģiskos paņēmienus, kuri būtu lēti un efektīvi. Tā kā minētajam nosacijumam labi atbilst kūdras izmantošana, tad ir veikti daudzi pētījumi, kuros ir noteiktas kūdras sorbcijas spējas un šo spēju ietekmējošie faktori.

Smagie metāli (piemēram, svins, varš, kadmijs, cinks, hroms) ir viena no visbiežāk pētītajām piesārņotāju grupām biosorbcijas pētījumos, jo tie atrodas daudzos rūpniecības notekūdeņos, līdz ar to, radot draudus gan ekosistēmām, gan cilvēka veselībai, jo tie ir toksiski jau zemā koncentrācijā, nav biodegradējami un daudzi no tiem var būt kancerogēni. Pētījumi parāda, ka kūdra ir viens no efektīvākajiem smago metālu biosorbentiem. Kūdras spēju sorbēt smagos metālus, nodrošina kūdras fizikālķīmiskās īpašības, piemēram, augstā katjonu apmaiņas kapacitāte, lielā porainība un īpatnējās virsmas platība. Kūdras sastāvdaļas, īpaši lignīns, satur funkcionālās grupas, piemēram, spirtus, aldehīdus, skābes, fenolkarbonskābes un ēterus, kuras var iesaistīties smago metālu sorbcijā. Šo funkcionālo grupu sastāvs kūdrā ir atkarīgs no kūdras īpašībām un tās veidošanās apstākļiem (piemēram, vecuma, veģētācijas, no kuras kūdra ir veidojusies, klimata, ūdens pH). Jāuzsver, ka kūdras sorbcijas spēju ietekmē ne tikai pašas kūdras īpašības, bet arī notekūdeņu fizikālās un ķīmiskās īpašības, piemēram, metāla koncentrācija ūdenī, pH, temperatūra un citu vielu klātbūtne. Līdzšinējie pētījumi parāda, ka šķīduma pH būtiski ietekmē kūdras sorbcijas efektivitāti – izmantojot kūdru notekūdeņu attīrīšanā, lielāka efektivitāte ir sagaidāma pie lielākām pH vērtībām, nekā pie zemākām. Tas ir izskaidrojams ar to, ka pie zemākām pH vērtībām H⁺ jons konkurē ar metāla katjoniem par adsorbcijas saitēm sistēmā. Samazinot H⁺ jonu daudzumu šķīdumā (t.i. palielinot pH) nozīmē to, ka samazinās „konkurence” par jonu apmaiņu šķīdumā ar jonu apmaiņu sorbentā, rezultātā palielinās sorbcijas kapacitāte.

Lai uzlabotu kūdras sorbcijas efektivitāti un novērstu vai samazinātu vairākus trūkumus, piemēram, kūdras zemo mehānisko izturību un zemo ķīmisko stabilitāti, ir iespējams kūdru modificēt – tiek veikta fizikāla vai ķīmiska sorbenta priekšapstrāde. Izmantotās fizikālās metodes ir karsēšana, autoklāvēšana vai liofilizācija, savukārt, ķīmiskās metodes ir apstrāde ar skābēm, sārmjiem vai organiskajām ķīmikālījām. Kūdras sorbentu ir iespējams sagatavot arī granulu veidā, tādā veidā nodrošinot labāku piesārņoto ūdeņu caurplūdi, kā arī samazinot iespēju sistēmai aizsērēt kūdras daļiņu mazā izmēra dēļ.

Minēto materiālu pieejamība konkrētā vietā tiek minēta kā galvenais faktors biosorbentu izvēlē, līdz ar to Latvijā, kurā ir lieli kūdras resursi, būtu perspektīvi izmantot kūdru piesārņotu ūdeņu attīrīšanā.

Kūdras sorbenti var tikt izmantoti, lai attīrītu notekūdeņus no fosfora un slāpekļa savienojumiem, kā arī dažādām organiskajām vielām, piemēram, poliaromātiskajiem ogļūdeņražiem.

Lai uzlabotu kūdras sorbcijas kapacitāti, to ir iespējams dažādos veidos modificēt, piemēram, ar dzelzs savienojumiem modificēta kūdra spēj ievērojami palielināt sorbcijas kapacitāti, sorbējot arsēna un fosfora savienojumus. Ar dzelzs savienojumiem modificētu kūdru ir iespējams efektīvi izmantot metaloīdu (As, Sb, Te) savienojumu sorbcijai. Metalloīdiem sorbējoties uz dzelzs modificētas kūdras, sorbcijas mehānisma pamatā iespējams ir metaloīds – O – Fe (piemēram, As – O – Fe) saites veidošanās. Savukārt karboksil-, hidroksil- un aminogrupas, iespējams, ir galvenās funkcionālās grupas, kas

var mijiedarboties ar metaloīdiem, izmantojot nemodificētu kūdru. Kūdra ir viens no daudziem dabiskiem materiāliem, ko modificējot ir iespējams iegūt sorbentu. Kūdras sorbentu sorbcijas kapacitāte, sorbējot metaloīdus, ir salīdzināma ar citu dabas materiālu, piemēram, ar dzelzs oksīdu klātām smiltīm, modificētu biomasu, sorbcijas kapacitātēm. Tomēr, lai salīdzinātu dažādus sorbentus, ir svarīgi tādi parametri kā izmantotais sorbenta daudzums, metaloīda koncentrācija, pH un citi parametri, kas būtiski ietekmē sorbcijas kapacitāti.

Kūdras sorbentiem ir visai vienkārši piešķiramas nepieciešamās īpašības: uz tās bāzes ir iespējams radīt kā hidrofilus sorbentus uzmantošanai ūdens šķīdumos, tā arī hidrofobus, dažādu organisko savienojumu (piemēram eļļu, vai naftas produktu) sorbcijai. Tāpat no kūdras ir iespējams izgatavot tādu plaši pielietojamo produktu kā aktivētā ogle.

Pētītas kūdras spējas sorbēt metālus, piesārņojums ar kuriem aktuāls Latvijas vides apstākļos, kā arī metālu ģeoķīmiskās akumulācijas īpatnības kūdrā dabiskā, mazpiesārņotā vidē. Raksturota sorbcijas procesu termodinamika un kinētika, pierādīta traucējošo faktoru ietekme uz kūdras kā biosorbenta izmantošanas iespējām. Tāpat ir pierādīts, ka zemā purva kūdras gadījumā sorbcija notiek aizvietojošā veidā, aizvietojošā veidā saistītos sārņzemju un sārņu metālu jonus. Veikti izmēģinājumi, lai kūdras iegūtu granulētā formā, tādējādi uzlabojot hidrodinamiskās īpašības. Pētītas atšķirīgas valences metālu jonu sorbcijas īpatnības (Tl (I), Cu(II), Cr(III)) sorbcijas raksturs un aprakstītas sorbcijas likumsakarības un noteikts sorbcijas procesu modelis uz augstā tipa purvu kūdras. Pierādīts, ka sorbcija notiek spontāni, saskaņā ar Lengmīra sorbcijas modeli, tomēr zemā tipa kūdra sorbē saskaņā ar Raduškevica-Dubiņina sorbcijas modeli. Pētīts sorbcijas raksturs gan dinamiskā, gan statiskā režīmā.

Tāpat ir pētītas zemā tipa kūdras izmantošanas iespējas lauksaimniecībā. Izstrādāta kompozīcija, kas ļauj izveidot kūdras substrāta kompozīciju un izmantot to bioloģiskajā lauksaimniecībā saskaņā ar ES un Latvijas prasībām. Pierādīta izstrādātās kompozīcijas izmantošanas priekšrocības un sfēra.

Ir pētītas kūdras īpašības un analizēta zemā purva kūdras organisko vielu grupu sastāvs, lai raksturotu kūdras organisko vielu uzbūvi un, līdz ar to, attīstītu priekšstatu par jaunām tās izmantošanas jomām. Izmantojot 3D fluorescences emisijas spektroskopijas metodi un spektru dekompozīciju, kā arī izmantojot PARAFAC datu apstrādes algoritmus, pirmo reizi veikta zemā tipa kūdras grupu sastāva izpēte. Kombinējot fluorescences spektroskopiju ar ¹³C KMR, raksturota kūdras humusvielu uzbūve un izstrādāti tās iespējamie modeļi. Izmantojot šo pētījumu rezultātus, un veicot augu augšanas testus, izstrādāts bioloģiskajā lauksaimniecībā izmantojams zemā tipa purvu kūdras substrāts, kura sastāvs un iegūšanas metode aizsargāta ar patentu.

Mālu modifikācijas risinājumi jaunu sorbentu sintēzei

Uzsākta mālu modifikācijas risinājumu izpēte, izmantojot to modifikāciju ar silīcijorganiskiem savienojumiem. Iegūta rinda mālu atvasinājumu, kuru sastāvā ievadītas -SH, -NH₂, -COOH un citas funkcionālās grupas un uzsākta to izmantošanas iespēju izpēte bioloģiski aktīvu savienojumu imobilizācijai. Tāpat ir uzsākta hidrīdmateriālu pieejas attīstība mālu modificēšanai, veicot metālisko elementu oksīdu un oksipatīta piesaisti uz to virsmas, lai iegūtu jaunas klases sorbentus un materiālus uzmantošanai biofarmācijā. Turpināta kūdras humusvielu uzbūves un īpašību izpēte. Veikta kūdras humusvielu struktūras modeļa izpēte, analizēta humusvielu un metālu jonu, kā arī humusvielu un „jauno” vidē piesārņojošo vielu (oglekļa, metālu oksīdu nanodaļiņas, farmācijā izmantoto vielu atliekas notekūdeņos) mijiedarbības izpēte. Tika pētītas mālu un sapropeļa īpašības un analizētas to modificēšanas iespējas.

Mālu minerālu kristāliskā struktūra nosaka to spēju saistīt dažādas vielas ar sorbcijas un jonu apmaiņas palīdzību. Latvijas mālu īpašību uzlabošanas pamatā ir to struktūras pārveide (modifikācija), tādējādi uzlabojot to fizikāli ķīmiskās īpašības. Viens no perspektīviem pētījumu virzieniem ir mālu modificēšana ar neorganiskām un organiskām vielām un to īpašību izpēte.

Eksperimentu ietvaros māli tika modificēti ar hidroksilapatītu (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂), dzelzs oksihidroksīdu (FeOOH), silīcijorganiskajiem savienojumiem un virsmas aktīvām vielām (gan nejonotvērīgām, gan katjonotvērīgām), tādējādi ievērojami paaugstinot to spējas sasaistīt dažādas piesārņojošās vielas – organiskās molekulas, krāsvielas, smago metālu un fosfora savienojumus, metaloīdus. Modificētie mālu paraugi tika raksturoti, izmantojot fizikāli ķīmiskās īpašības raksturojošās multiparametru metodes - Furjē transformācijas infrasarkanā starojuma spektroskopiju (FTIS), skenējošo elektronmikroskopiju (SEM), rentgenstaru difraktometriju (XRD) un Braunera, Emmeta, Tellera (BET) metodi īpatnējās virsmas laukuma noteikšanai. Papildus, lai raksturotu modificēto mālu materiālu efektivitāti piesārņojuma izņemšanā no ūdens vides, tika veikti sorbcijas pētījumi atkarībā no laika, temperatūras, vides pH un izejas šķīduma koncentrācijas.

Pētījumu rezultāti norāda, ka Latvijā atrodamo mālu modifikācijas produkti ir efektīvi pielietojami piesārņojuma imobilizācijā (sasaistīšanā), paplašinot mālu izmantošanas iespējas perspektīvās vides tehnoloģiju nozarēs ar augstu pievienoto vērtību. Iegūtie rezultāti publicēti recenzējamos izdevumos un ziņoti starptautiskās un vietējas nozīmes konferencēs.

Sapropēja īpašības un izmantošana kompozītmateriālu izveidei

Tika veikta sapropēja īpašību izpēte izmantošanas potenciāla attīstībai. Pētījumu mērķis ir izpētīt sapropēja kā saistvielas izmantošanu videi draudzīgu kompozītmateriālu un lauksaimniecības produktu ražošanā, veikt produkta īpašību izpēti, dzīves cikla un tirgus analīzi, kā arī noteikt optimālo izejvielu sastāva attiecības un raksturot iegūtā kompozītmateriāla īpašības. Tika pētītas Latvijas ezeru sapropēja īpašības atkarībā no nogulumu veidošanās apstākļiem, un izvērtētas kūdrainā sapropēja veidošanās apstākļu/sorbcijas spēju kopsakarības.

Pētījumā par sapropeli kā limvielu (būtiskāko īpašību novērtējums) bērsa saplāksnis, dižskābardis un gabalkūdra tika salīmēta ar Pilveļu un Vēveru ezera sapropeli. Tika noteikta stiprība statiskā liecē un limējuma stiprības pārbaude, izmantojot LVS EN 314-1 un LVS EN 314-2 standartus, pielietojamības grupas (D1 – D4) sapropelīm kā limei, izmantojot LVS EN 204 un LVS EN 205 standartus. Papildus tika veikta gabalkūdras salīmēšana ar sapropeli un stiprības noteikšana stiepē perpendikulāri plātnes plaknei (LVS EN 319 standarts).

No rezultātiem izriet, ka robežstiprības liecē mehāniskajām pārbaudēm sapropēja limvielai (EN 310 standarts - elastības moduļa un lieces spēka noteikšanai) augstāko rezultātu uzrāda Pilveļu ezera sapropelis (paralēli liecē - 88,7 MPa). Savukārt, zemāko rezultātu uzrāda tas pats sapropēja veids, tikai perpendikulārā liecē. Papildus nosakot pielietojamības grupu sapropelīm, kā limvielai izriet, ka Pilveļu sapropēja – dižskābarža paraugi uzrāda rezultātu 3,67 MPa. Toties gabalkūdras – Pilveļu sapropēja paraugi uzrāda 0,077 MPa, gabalkūdras – Vēveru sapropēja paraugi uzrāda- 0,067 MPa.

Pētījumā par videi draudzīgu granulu lauksaimniecības vajadzībām izveidi no sapropēja un kūdras tika noteikts bēruma blīvums (LVS EN 1097-3), ūdensuzsūce (LVS EN 1097-6) un mehāniskā izturība (EN 1606). Bēruma blīvums granulām no tīra sapropēja un ūdens ir 639,6 kg/m³, bet granulām no sapropēja un kūdras ir 246,1 un 248,3 kg/m³. Ūdensuzsūce granulām no tīra sapropēja un ūdens ir ≤78,9%, bet granulām no sapropēja un kūdras ir no 163,9% līdz 167,8%. Granulu mehāniskā izturība no tīra sapropēja un ūdens ir 1,06 MPa, bet granulām no sapropēja un kūdras ir 0,44 MPa un 0,46 MPa.

Pētījumā par kompozītmateriālu izstrādi, izmantojot sapropeli un kaļķi kā saistvielu, bet kaņepju spaļus un šķiedras, bērsa koksnes slīpputekļus un koksnes vati kā pildvielu, SIA „Baltic Clay Minerals” anti-mikrobiālā piedeva tiek izmantota, lai novērtētu kompozītmateriālu mikrobioloģisko stabilitāti pret sēnēm: *Alternaria alternata* un *Cladosporium herbarum*. Iegūtie kompozītmateriāli tiek salīdzināti ar industrijā izmantotiem būvniecības materiāliem. Metodes iekļauj kompozītmateriālu vecināšanu klimata kamerā 30 sasaldēšanas – atkausēšanas ciklos. Salturības pārbaudes režīms atbilst salturības testam saskaņā ar standartu LVS CEN/TS 12390-9. Materiāliem tika noteikta papildus siltumvadītspēja (sapropelis – kaļķis – kaņepju spaļi un šķiedras: 0,089 W/m*K un 0,099 W/m*K), mehāniskā izturība (sapropelis – kaļķis – kaņepju spaļi un šķiedras: 0,25 – 0,77 MPa), kā arī mikrobioloģiskā stabilitāte.

Publikācijas

1. Stankevica K., Kalnina L., Klavins M., Cerina A. Kaup E. Reconstruction of the Holocene palaeoenvironmental conditions accordingly to the multiproxy sedimentary records from Lake Pilvelis, Latvia, *Quaternary International*, 72, 2015, pp. 1-14.
2. Dudare D., Klavins M. The interaction between humic substances and metals, depending on structure and properties of humic substances. In: International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering, 85, 2015, pp. 10-15.
3. Klavins M. Biomaterial sorbents for antimony and tellurium removal. In: Proceedings of 8th ISERD International conference, Istanbul, Turkey, 2015, pp. 44-50.
4. Klavins M., Purmalis O. Structure and Properties of Peat Humic Substances. In Proceedings of IWA 6th specialist conference on Natural organic matter in waters. Malmo, Sweden, 2015, pp. 26-38.
5. Dūdare M., Kļaviņš M. Chemical Element Accumulation in Peat and Its Humic Substances. *Material Science and Applied Chemistry*, 32, 2015, pp. 53-57.
6. Muter O., Limane B., Strikauska S., Kļaviņš M. Effect of humic-rich peat extract on plant growth and microbial activity in contaminated soil. *Material Science and Applied Chemistry*, 32, 2015, pp. 68-74.
7. Strikauska S., Bērziņš A., Arbidāns L., Kukela A., Muter O., Kļaviņš M. Physicochemical Pretreatment of Contaminated Microfibre Cloths after Their Use in Waterless Car Wash. *Material Science and Applied Chemistry*, 32, 2015, pp. 85-89.
8. Burlakovs J., Ozola R., Kostjukovs J., Kļaviņš L., Purmalis O., Kļaviņš M. Properties of the Jurassic Clayey Deposits of Southwestern Latvia and Northern Lithuania. *Material Science and Applied Chemistry*, 32, 2015, pp. 5-12.

9. Stankeviča K., Pujate A., Klavins M., Cerina A., Drucka A. records of the anthropogenic influence on different origin small lake sediments of Latvia. *Baltica*, 28(2), 2015, pp. 135-150.
10. Klavins M., Purmalis O. (2015) Structure and properties of peat humic substances. *Vatten – Journal of Water Management and Research*, 71, 171-185
11. Obuka V., Sinka M., Klavins M., Stankeviča K., Korjaks A. Sapropel as a biode: properties and application possibilities for composite materials. *IOP Conf. Series: Material Science and Engineering*, 2015, p. 96, doi: 10.1088/1757-899X/96/1/012026
12. Krūmiņš J., Kļaviņš M., Segliņš V. The composition of fen peat humic acids by means of 3D fluorescence spectroscopy with parallel factor modelling. *Folia Geographica*, 15, 2016, pp. 23-28.
13. Kļaviņš M., Purmalis O., Silamiķe I. Elemental composition of humic acids from raised bog peat profiles. *Folia Geographica*, 15, 2016, pp.14-23.
14. Ansone-Bertina L., Klavins M. Sorption of V and VI group metalloids (As, Sb, Te) on modified peat sorbents *Open Chemistry*, 14, 2016, pp. 46–59.
15. Stankeviča K., Vincevica-Gaile Z., Klavins M. Freshwater sapropel (Gyttja): its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture. *Agronomy Research*, 14 (3), 2016, pp. 929-948.
16. Krūmiņš J., Kļaviņš M., Kalniņa L., Segliņš V., Kaup E. Impact of the physico-chemical properties of fen peat on the metal accumulation patterns in mires of Latvia *BALTICA* 29(1), 2016, pp. 19–32. doi: 10.5200/baltica.2016.29.03
17. Ozola R., Krauklis A., Leitietis M., Burlakovs J., Vircava I., Ansone-Bertina L., Bhatnagar A., Klavins M. FeOOH-modified clay sorbents for arsenic removal from aqueous solutions. *Environmental Technology & Innovation*, 2016, doi:10.1016/j.eti.2016.06.003
18. Klavins M. Properties of peat humic substances. *Proceedings of the 15th International Peat Congress „Peatlands in harmony: agriculture, industry and nature”, Kuching, Malaysia, 2016, pp. 26-31.*
19. Krūmiņš J., Klavins M., Segliņš V. Fen peat properties and metal accumulation in it. *Proceedings of the 15th International Peat Congress „Peatlands in harmony: agriculture, industry and nature”, Kuching, Malaysia, 2016, pp. 646-661.*
20. Klavins M., Ansone-Bertina L., Robalds A., Burlakovs J. Modified biomaterial sorbents and peat for metalloid and phosphorus removal. *Proceedings: The 10th International Conference on Natural Sciences and Technologies, Kalmar, Sweden, 2016, pp. 423-436.*
21. A.Robalds, L. Dreijalte, O. Bikovens, M. Klavins, (2016) A novel peat-based biosorbent for the removal of phosphate from synthetic and real wastewater and possible utilization of spent sorbent in land application. *Desalination and Water Treatment* 57 (28), 13285-13294
22. Robalds A., Naja G.M., Klavins M. Highlighting inconsistencies regarding metal biosorption. *Journal of Hazardous Materials* 304, 2016, pp.553-556 .
23. Klavins M., Hogland W., Kriipsalu M., Burlakovs J., Denefas G. International cooperation for development of new environmental remediation technologies. *Smilts un stikls”. Zinātnisko rakstu krājums. Rīga, Latvijas Universitāte, 2017, pp. 72-76.*
24. Krūmiņš J., Kļaviņš M. Zemā tipa kūdra un tās izmantošanas iespējas. Kūdras un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā (red. Kļaviņš M.), LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 2017, pp. 67-89.
25. Purmalis O., Kļaviņš M. Energosektora adaptācija klimata pārmaiņām Kūdras un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā (red. Kļaviņš M.), LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 2017, pp.109-106.
26. Purmalis O., Kļaviņš M. Kūdras humusvielas un to pielietošanas iespējas Kūdras un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā (red. Kļaviņš M.), LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 2017, pp.116-124.
27. Purmalis O., Kļaviņš M., Silamiķe I., Platpīre E. Kūdras uzkrāšanās intensitāte purvos Kūdras un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā (red. Kļaviņš M.), LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 2017, pp.124-132.
28. Stankeviča K., Kļaviņš M., Kalniņa L. Sapropēļa definīcija un klasifikācijas iespējas Kūdras un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā (red. Kļaviņš M.), LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 2017, pp. 165-169.

29. Stankeviča K., Vinceviča-Gaile Z., Nartišs M., Varakājs D., Kļaviņš M., Kalniņa L. Sapropēja resursu sistematizācija un izmantošanas potenciāla reģionālais sadalījums Latvijā Kūdras un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā (red. Kļaviņš M.), LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 2017, pp. 169-176.
30. Krauklis A., Ozola R., Burlakovs J., Rugele K., Kirillov K., Trubaca-Boginska A., Rubenis K., Stepanova V., Klavins M. FeOOH and Mn₈O₁₀Cl₃ modified zeolites for As (V) removal in aqueous medium. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2017, DOI 10.1002/jctb.5283
31. Ozola R., Krauklis A., Burlakovs J., V.Gaile Z., Rudovica V., T.Boginska A., Borovikova D., Bhatnagar A., Vircava I., Klavins M. Illite clay modified with Hydroxyapatite – innovative perspectives for soil remediation from lead (II). International Journal of Agricultural and Environmental Research, 3(2), 2017, pp. 177 - 189.
32. Krumins J., Yang Z., Zhang Q., Yan M., Klavins M. A study of weathered coal spectroscopic properties, Energy Procedia, 128, 2017, pp. 51–58.

Patents

Kļaviņš M., Krūmiņš J., Bunere S. (2015) Augsnes substrāts izmantošanai bioloģiskajā lauksaimniecībā un tā iegūšanas paņēmieni, LV15013 no 05.03.2015

PROPERTIES AND MODIFICATION POSSIBILITIES OF PEAT, SAPROPEL AND CLAY

**Māris Kļaviņš^{1*}, Rūta Ozola¹, Vaira Obuka¹, Linards Kļaviņš¹,
Marta Jemeljanova¹, Viesturs Ozols¹**

¹*Department of Environmental Science, University of Latvia, Riga, Latvia*

^{*}*maris.klavins@lu.lv*

The aim of current sub-project is to study peat and sapropel (organogenic deposits) as well as clay properties, their relations to diagenetic transformation processes of natural organic matter, as well as to study their application potential. The work tasks of the project include sampling of Jurassic and other clay samples, sample modification and studies of properties of samples obtained, characterisation of their properties by means of different methods and relations to application options. The indirect aim of the research is related to environmental remediation possibilities, both in respect to dredging of eutrophic lakes and complex use of clay, peat and sapropel to develop added value products.

Within the project extensive field sampling of materials for further studies were done. Novel approaches have been elaborated to develop new clay based sorbents for removal of metalloids and phenolics. The sorption models, as well as kinetics were studied. The results were obtained using batch tests and the sorption was studied as a function of initial metalloid concentration, pH, sorption time, as well as presence of competing substances. Obtained results indicate that modification of peat with Fe compounds significantly enhance the sorption capacity of the sorbents used for sorption of arsenic, antimony and tellurium. For characterisation of full sample profiles besides their dating, biological composition, pollen analysis, also multiproxy physical and chemical analysis were done, including, for example, elemental analysis (C, H, N, O, S, metal concentration (18 metals), spectroscopic analysis (UV-Vis, FTIR, Fluorescence spectra, fluorescence 3D EEM, ¹³ C NMR, ¹H NMR etc). Clay samples were characterised using relevant techniques. The optimal pH interval for the sorption of Sb(III) is 6.5–9 and for As(V) and Sb(V) – 3–6 of, while As(III) and tellurium sorption using Fe-modified peat is favourable in a wider interval of 3–9. The presence of competing ions, as well as HA, affects sorption of metalloids on Fe-modified peat. Minor impact on the reduction of metalloid sorption was detected at the presence of nitrate, sulphate, carbonate and tartrate ions, while in the presence of phosphate and HA sorption ability of metalloids can be considerably reduced. Obtained results of kinetic experiments indicate that sorption of metalloids on Fe-modified peat mainly occurs relying on mechanisms of physical sorption processes. Multiproxy approach on analysis of peat and lake sediments to characterise humification conditions has been applied for first time and obtained results support further studies on application potential of sedimentary material.

MĀLUS SATUROŠU UN CITU MATERIĀLU IEVIEŠANA AGRO- UN VIDES BIOTEHNOLOĢIJĀS MIKROORGANISMU AKTIVITĀTES PALIELINĀŠANAI

APPLICATION OF CLAY-DERIVED AND OTHER MATERIALS IN AGRO- AND ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGIES FOR STIMULATION OF MICROBIAL ACTIVITY

Olga Mutere^{1*}, Vizma Nikolajeva²

¹ Latvijas Universitāte, Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūts, Rīga, Latvija

² Latvijas Universitāte, Bioloģijas fakultāte, Rīga, Latvija

¹ University of Latvia, Institute of Microbiology & Biotechnology, Riga, Latvia

² University of Latvia, Faculty of Biology, Riga, Latvia

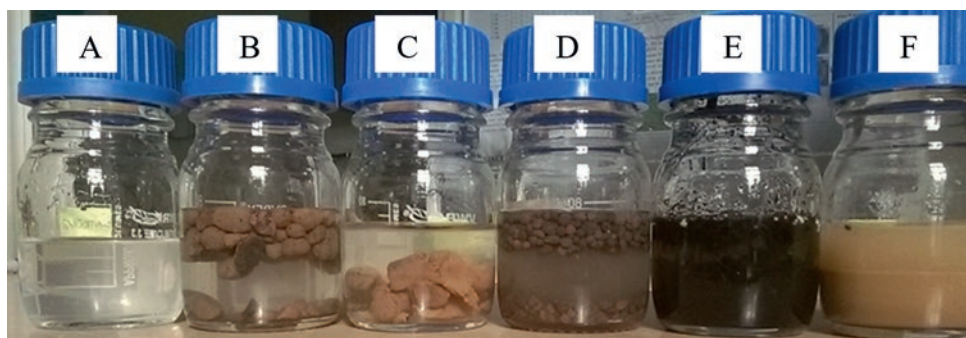
*olga.mutere@lu.lv

Apakšprojekta „Māla materiālu inovatīvs pielietojums mikroorganismu biotehnoloģijās” ietvaros tika pētīti mikrobioloģiskie procesi, kurus veicina mālus saturoši un citi materiāli. Pētījumos iegūtie dati virzīti uz augsnes kvalitātes uzlabošanu un notekūdeņu attīrīšanu. Biopreparātu izveides kontekstā tika pētīta iespēja sagatavot māla granulu optimālu formulējumu mikroorganismu iekapsulēšanai ar pielietojumu augsnes attīrīšanā, atveseļošanā un organisko atkritumu kompostēšanā. Eksperimentus veica laboratorijas un lauka apstākļos. Testēja Latvijas mālus saturošās keramikas granulas ar dažādām fizikāli-ķīmiskām īpašībām (porainība, tilpummasa u.c.) kā nesējus mikroorganismu imobilizācijai. Turklāt, ir izstrādāti un aprobēti municipālo notekūdeņu inovatīvi attīrīšanas procesi, kā arī flotējošie biopreparāti naftas produktu biodegradācijai ūdenī. Keramikas nesējus testēja notekūdeņu biofiltrācijas procesā farmaceitisko vielu un dažu pesticīdu biodegradācijas kontekstā. Eksperimentos izmantoja Daugavgrīvas notekūdeņu attīrīšanas stacijā noņemtos ūdens un aktīvo dūņu paraugus. Pētījuma rezultāti liecina par vērtīgu potenciālu Latvijas māliem arī turpmāko inovatīvo risinājumu izveidē.

Imobilizēti mikrobioloģisko mēslošanas līdzekļu aktīvie komponenti.

Lai izstrādātu uzlabotus mikrobioloģiskos preparātus agrobiotehnoloģijai, pētīta mikrobioloģisko mēslošanas līdzekļu aktīvo komponentu – augu augšanu veicinošu baktēriju *Rhizobium leguminosarum biovar viciae*, *Streptomyces griseoviridis* un *Azotobacter* sp. – imobilizēšana uz kūdras un māla izstrādājumiem. Augu augšanu veicinošu baktēriju imobilizēšanai izmantoja sterilus materiālus: kūdru, māla pulveri (SIA “Ceplis”, Lielaucē pag.), divu veidu ovālus šūnainās keramikas agregātus (“Fibo-S” un “Kano-p”), eksperimentālas cilindriskas keramikas granulas, kas izgatavotas Rīgas Tehniskajā Universitātē no Planču depozīta Devona perioda māla (Zīm. 1) un vermikulītu.

Baktērijas sekmīgi imobilizējās uz visiem pārbaudītajiem keramikas granulu veidiem, uz kūdras un uz māla, bet kūdra visilgāk nodrošināja baktēriju dzīvotspēju. *R. leguminosarum* sekmīgi imobilizējās uz vermikulīta un 4 °C saglabāja dzīvotspēju vismaz 8 mēnešus. Baktēriju dzīvotspēja suspensijā 4 °C saglabājās vismaz 20 mēnešus. *R. leguminosarum* ieteicams imobilizēt uz kūdras un uzglabāt 4 °C vai -18 °C [19, 20]. *Streptomyces griseoviridis* un *Azotobacter* sp. [1] ieteicams imobilizēt uz kūdras vai atstāt suspensijā un uzglabāt istabas temperatūrā. Uz keramikas granulām imobilizētas baktērijas ieteicams uzglabāt zemā temperatūrā, vislabāk -18 °C. Tādējādi rekomendējam uzglabāt pētīto baktēriju produktus -18 °C vai 4 °C temperatūrā, kas nodrošina ilgstošu (vismaz 2 gadus ilgu) dzīvotspējas saglabāšanos pietiekami augstā līmenī (vismaz 10⁷ kvv/g nesēja), lai tās varētu izmantot kā mikrobioloģisko mēslojumu.

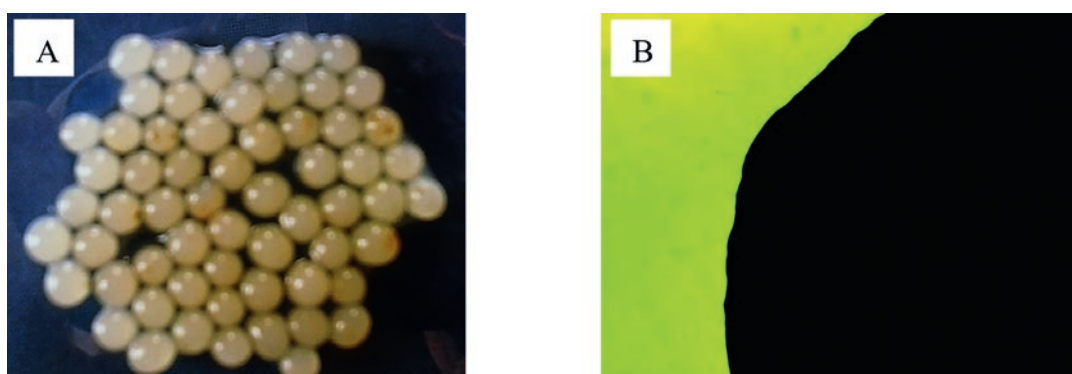


Zīmējums 1. Baktērijas ūdens suspensijā (A) un baktēriju imobilizēšana uz dažādiem nesējiem: keramzīta "Kano-p" (B), keramikas granulām (C), keramzīta "Fibo-S" (D), kūdras (E) un māla pulvera (F).

Potenciāli augu augšanu veicinošu endofitisku baktēriju un sēņu konsorcijs imobilizēts uz koka bioogles, kas apstrādāta 600-800 °C. Veikts 14 dienas ilgs veģetācijas eksperiments siltumnīcā ar miežiem 'Austris'. Mini-lauka 75 dienu eksperimentā pētīta divu eksperimentālu konsorciju ietekme uz rapša un miežu augšanu. Mērīti augu parametri, noteikta ureāzes aktivitāte un nitrifikācijas potenciāls augsnē, kā arī kvalitatīvi un kvantitatīvi raksturota rizosfēras augsnes mikrobiota, izmantojot kultivēšanas un DNS analīžu metodes [7, 10, 11, 13, 14].

Izveidots uz koka bioogles imobilizēts biopreparāts, kas satur potenciāli augu augšanu veicinošu endofitisku baktēriju un sēņu konsorciju. Veģetācijas eksperimentā ar miežiem parādījās biopreparāta ietekme uz augu augšanu un enzimatisko aktivitāti augsnē. Preparāts ietekmēja slāpekļa aprites procesus augsnē. Divi citi augsnes mikroorganismu konsorcijs, imobilizēti uz kūdras un kaņepju salmiem, ietekmēja baktēriju un sēņu koncentrāciju un palielināja sēņu daudzveidību rizosfērā [9, 15, 16].

Lai uzlabotu ar toksiskām vielām piesārņotā substrātā ievadītu mikroorganismu dzīvotspēju, veikta baktēriju iekapsulēšana biodegradējamā aizsargmateriālā – algināta gēlā (Zīm. 2). Māla pulvera pievienošana algināta kapsulām sekmēja iekapsulēto baktēriju dzīvotspējas saglabāšanos ilgtermiņā, bet glicerīna piedeva neietekmēja dzīvotspēju. Sagatavoto kapsulu inkubēšana Millera-Hintonā šķidrā barotnē trīs reizes palielināja baktēriju daudzumu. Netika konstatēta 0,2 M CaCl₂ ietekme uz iekapsulēto baktēriju dzīvotspēju inkubācijas un uzglabāšanas laikā. Uzglabāšanas laikā izmainījās proporcija starp asociācijā ietilpstošām baktēriju sugām – *Burkholderia cepacia* daudzums samazinājās, bet citu baktēriju daudzums palielinājās. 1,5 % algināta kapsulām veidošanas laikā ieteicams pievienot 5 % māla pulvera, kapsulas inkubēt Millera-Hintonā šķidrā barotnē 24 h un pēc tam uzglabāt sterilā ūdenī 4 °C [17, 18].



Zīmējums 2. Baktēriju asociāciju un mālu saturošas algināta kapsulas (A) un kapsulas mala mikroskopā (B).

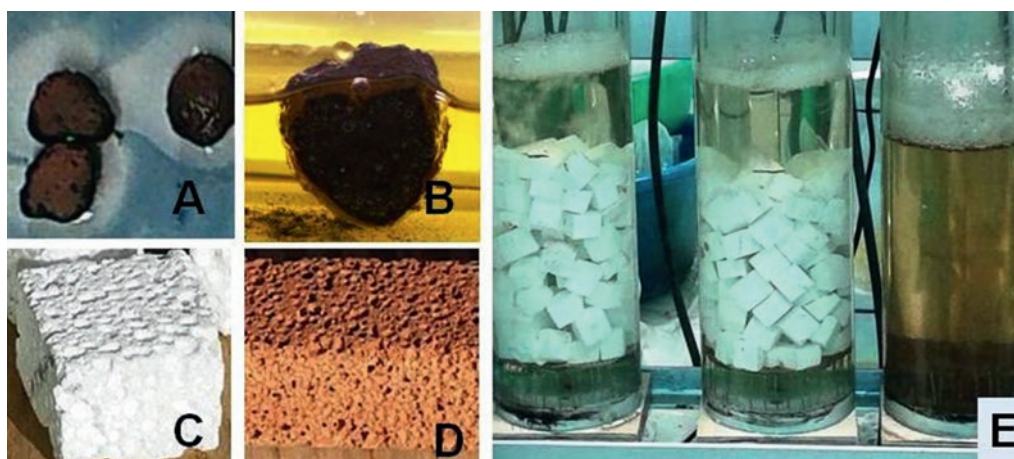
Flotējoši biopreparāti naftas produktu biodegradācijai ūdenī.

Keramikas granulas veidoja no kvartāra māliem 1200 °C temperatūrā, ar blīvumu $\rho=0,95 \text{ g/cm}^3$. Granulu flotēšana tika pārbaudīta sintētiskajos notekūdeņos bez piedevām, kā arī notekūdeņiem pievienojot eļļu un naftas produktus degradējošu baktēriju konsorciju (Zīm. 3A,B). Granulas 20 dienas saglabāja labu peldspēju, ko atviegloja eļļas klātbūtne sintētiskajā notekūdenī. Pēc 70 dienām granulu svara palielināšanās eļļas klātbūtnē norādīja uz sorbcijas procesu. Regresijas analīze parādīja ciešu sakarību starp peldspēju un granulu masu pēc 70 dienu eksperimenta gan notekūdenim ar eļļu ($r=0,91$), gan notekūdenim ar eļļu un mikroorganismiem ($r=0,72$). Bija secināts, ka testētās granulas ir piemērots mikroorganismu

nesējs [3, 6, 8]. Eksperiments ar keramikas granulām ($\rho=0,65 \text{ g/cm}^3$) pārbaudīja iepriekš mitrinātu porainās keramikas granulu efektivitāti eļļas sorbcijā un mikroorganismu imobilizācijā sāļūdeņos (NaCl 1-9 g/L). Eļļas sorbcijas efektivitāte samazinājās reizē ar sāls un eļļas koncentrācijas palielināšanu (no 12 līdz 9 % /g granulu). Imobilizēto baktēriju elpošana notika arī pēc eļļas sorbcijas [2, 8].

Keramikas granulu un mikroorganismu mijiedarbība biofiltrācijas procesā notekūdeņu attīrīšanā.

Trīs keramikas granulu veidi ar bioplēvi un bez tās bija salīdzināti biofiltrācijas procesā (pēc farmaceitisko vielu degradācijas/sorbcijas efektivitātes) (Zīm. 3C,D). Ir konstatēts, ka viens no testētiem granulu veidiem, t.i., oksīdu keramika, ievērojami samazina atgriezenisko procesu risku notekūdeņu attīrīšanas procesā, kas ir raksturīgs diklofenakam un naproksēnam [12]. Papildus eksperimenti ar oksīdu keramiku pierādīja šo granulu piemērotību glifosāta sorbcijai (Zīm. 3E). Starp testētajiem faktoriem, kas varētu stimulēt glifosāta sorbciju/degradāciju, bija aktīvās dūņas, barības vielu kompozīcija un oksīdu keramika. Procesu efektivitāti vērtēja pēc glifosāta koncentrācijas, ekotoksiskuma (*Daphnia magna*) un mikrobioloģiskiem rādītājiem [4].



Zīmējums 3. Keramikas granulu testēšana notekūdeņu attīrīšanas procesos.
A, B, D – māla keramikas granulas motoreļļas sorbcijas eksperimentos; C, E – Al_2O_3 oksīda keramika.

Pateicības

Pateicamies R. Švinkai un V. Švinkam (RTU Silikātu materiālu institūts) par sekmīgu sadarbību. Pateicamies līdzautoriem no LU MBI un BF par eksperimentu veikšanu un iegūto datu apkopošanu.

Rezultatīvie indikatori

- I. Izstrādāti jauni agrobiotehnoloģijā pielietojami mikrobioloģiskie mēslošanas līdzekļi, kas satur uz māla, keramzīta un eksperimentālām keramikas granulām imobilizētus aktīvos komponentus – mikroorganismus.
- II. Izveidots uz koka bioogles imobilizēts biopreparāts, kas satur potenciāli augu augšanu veicinošu endofītisku baktēriju un sēņu konsorciju.
- III. Izstrādāts jauns vides bioremediācijā pielietojams biopreparāts, kas satur algināta gēla kapsulās imobilizētu naftas produktus noārdošu baktēriju asociāciju.
- IV. Izstrādāta inovatīvā metode farmaceitisko vielu sorbcijai/degradācijai notekūdeņos, izmantojot keramikas granulas.
- V. Izstrādāti un aizstāvēti 2 bakalaura darbi un 2 maģistra darbi.

Publikācijas

- Berzina A., Nikolajeva V., Petrina Z. Immobilization and survival of plant growth-promoting bacteria *Streptomyces griseoviridis* and *Azotobacter* sp. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2016, Vol. 7, No. 9, pp. 3381-3386. http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol7/vol7_N9/349-JMES-2284-Berzina.pdf. SCOPUS.
- Berzins A., Mutere O., Svinka V., Svinka R. Interaction of oily water with floating porous ceramic and immobilized microorganisms. *Key Engineering Materials*, 2018, Vol. 762, pp. 69-74. SCOPUS.
- Berzins A., Petrina Z., Nikolajeva V., Svinka R., Svinka V., Strikauska S., Muter O. Characteristics of a ceramic carrier after wastewater treatment process in the model column cascade with ethanol addition. *The Open Biotechnology Journal*, 2015, Vol. 9, (Suppl 1-M8), pp. 76-84. doi:10.2174/1874070701509010076. SCOPUS.
- Birsa T., Kalneniece K., Jansons M., Kalnins M., Ozolina I., Berzins A., Svinka V., Svinka R., Bartkevics V., Muter O. Evaluation of glyphosate ecotoxicity and biodegradability in the municipal wastewaters. *Key Engineering Materials*, 2018, Vol. 762, pp. 75-80. SCOPUS.
- Dokukins E., Muter O. Comparison of paraffin and diesel oil as cultivation medium supplements for preparing a hydrocarbon degrading bacterial biomass. *Material Science and Applied Chemistry*, 2016, Vol. 33, pp. 17-21. doi:10.1515/msac-2016-0003.
- Eglītis A. Ar naftas produktiem vēsturisko piesārņojumu attīrīšanas potenciāla novērtēšana. Bakalaura darbs. LU Bioloģijas fakultāte, 2016.
- Eze D., Senkovs M., Makarenkova G., Petriņa Z., Mutere O., Nikolajeva V. Impact of new bio-fertilizers on soil microbial populations in mini-field vegetation experiments with rape and barley. 36th Annual Meeting of the European Culture Collections' Organisation (ECCO 2017), 13-15 September, 2017, Brno, Czech Republic. Abstract Book, Brno, 2017, p. 48. http://ecco2017.sci.muni.cz/media/3006567/abstractbook_ecco2017.pdf ISBN 9788036313274.
- Muter O., Berzins A., Selga T., Svinka R., Svinka V. Floating ceramics vs. floating oils: search for appropriate conditions. *Material Science and Applied Chemistry*, 2016, Vol. 33, pp. 11-16. doi:10.1515/msac-2016-0002.
- Muter O., Grantina-Ievina L., Makarenkova G., Vecstaudza D., Strikauska S., Selga T., Kasparinskis R., Stelmahere S., Steiner C. Effect of biochar and *Trichoderma* application on fungal diversity and growth of *Zea mays* in a sandy loam soil. *Environmental and Experimental Biology*, 2017, Vol. 15, pp. 289-296. doi:10.22364/eeb.15.30, http://eeb.lu.lv/EEB/current/EEB_XV_Muter.pdf
- Muter O., Limane B., Strikauska S., Klavins M. Effect of humic-rich peat extract on plant growth and microbial activity in contaminated soil. *Material Science and Applied Chemistry*, 2015, Vol. 32, pp. 68-74. doi:10.1515/msac-2015-0012.
- Muter O., Nikolajeva V., Klavins M. Optimization of microbial biopreparations for soil quality improvement: Testing new formulations. European Biotechnology Congress 2015, 20 August, Bucharest. *Journal of Biotechnology*, 2015, Vol. 208, Suppl., pp. S55-S56. SCOPUS.
- Muter O., Perkons I., Svinka V., Svinka R., Bartkevics V. Distinguishing the roles of carriers and biofilm in filtering media for the removal of pharmaceutical compounds from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 2017, Vol. 111, pp. 462-474. SCOPUS.
- Senkovs M. Ar jauniem bioloģiskiem preparātiem apstrādātas augsnes molekulāri bioloģiskais raksturojums. Bakalaura darbs. LU Bioloģijas fakultāte, 2017, 51 lpp.
- Vecstaudža D. Jaunu bioloģiskā mēslojuma preparātu izveide un testēšana veģetācijas eksperimentos ar miežiem (*Hordeum vulgare* L.) un rapsi (*Brassica napus* L.). Maģistra darbs. LU Bioloģijas fakultāte, 2016.
- Vecstaudža D., Grantina-Ievina L., Makarenkova G., Kasparinskis R., Selga T., Steinberga V., Stelmahere S., Steiner C., Muter O. The impact of wood-derived biochar on the survival of *Trichoderma* spp. and growth of *Secale cereale* L. in sandy soil. *Biocontrol Science & Technology*, 2018. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1450488>. SCOPUS.
- Vecstaudža D., Senkovs M., Nikolajeva V., Kasparinskis R., Muter O. Wooden biochar as a carrier for endophytic isolates. *Rhizosphere*, 2017, Vol. 3, No. 1, pp. 126-127. <http://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.04.002>. SCOPUS.
- Zommere Ž. Bioremediācijā izmantojamu baktēriju iekapsulēšana algināta gelā. Bakalaura darbs. LU Bioloģijas fakultāte, 2016, 37 lpp.
- Zommere Ž., Nikolajeva V. Immobilization of bacterial association in alginate beads for bioremediation of oil-contaminated lands. *Environmental and Experimental Biology*, 2017, Vol. 15, No. 2, pp. 105-111. doi:10.22364/eeb.15.09.
- Žvagiņa S., Bērziņa A., Nikolajeva V., Petriņa Z., Lielpētere A. Augu augšanu veicinošu baktēriju imobilizācija uz keramikas granulām. I starptautiskais starpdisciplinārais simpozījs "Māli un keramika", 28.01.2016. Tēzu krājums, Rīga, LU, 2016, 49-50 lpp.
- Žvagiņa S., Petriņa Z., Nikolajeva V., Lielpētere A. Immobilization and survival of root nodule bacterium *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*. *Material Science and Applied Chemistry*, 2015, Vol. 32, pp. 75-79. doi:10.1515/msac-2015-0013.

APPLICATION OF CLAY-DERIVED AND OTHER MATERIALS IN AGRO- AND ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGIES FOR STIMULATION OF MICROBIAL ACTIVITY

Olga Mutere^{1*}, Vizma Nikolajeva²

¹ University of Latvia, Institute of Microbiology & Biotechnology, Riga, Latvia

² University of Latvia, Faculty of Biology, Riga, Latvia

*olga.mutere@lu.lv

Within the framework of the sub-project “Innovative application of clay materials in microbial biotechnologies”, microbiological processes promoted by clay and other materials were studied. The research was aimed at improving soil quality and wastewater treatment. In the context of the development of biopreparations, the possibility of preparing the optimum formulation of clay granules for the immobilization of microorganisms with the use of soil treatment, bioremediation and composting of organic waste was studied. Experiments were carried out in laboratory and field conditions. Latvian ceramic granules with different physicochemical properties (porosity, density, etc.) as carrier for immobilization of microorganisms were tested. In addition, innovative treatment processes for municipal wastewater as well as floating biopreparations for the biodegradation of oil products in water have been developed and approved. Ceramic carriers were tested in the wastewater biofiltration process in the context of the biodegradation of pharmaceutical substances and some pesticides. Wastewater and active sludge sampled at the Daugavgrīva wastewater treatment plant were used in the experiments. The results show a valuable potential for Latvia's clay in the development of further innovative solutions.

Immobilized active compounds of microbial biofertilizers. Six sterilized materials were tested for immobilization of plant growth promoting bacteria: peat, clay powder, two kinds of oval aggregates of expanded clay, experimental cylindrical ceramic granules made from Planci deposit of Devonian clay, and vermiculite. Immobilization of *Rhizobium leguminosarum*, *Streptomyces griseoviridis* and *Azotobacter* sp. took place in all the carriers, but more bacteria bound to the peat. Both the carrier material and storage temperature affected bacterial viability. It is recommended to store immobilized *S. griseoviridis* and *Azotobacter* sp. products in the peat at room temperature (20 °C) and -18 °C, respectively. In the case of bacterial immobilization in the ceramic granules, it is recommended to store microbial preparations at a low temperature, i.e., -18 °C. Bacterial suspensions in sterile water can be stored at 4 °C for at least 10 months. A new biochar-based immobilized biopreparation containing consortium of potentially plant-promoting endophytic bacteria and fungi has been created. A new biopreparation, which contains an association of bacteria that is immobilized in 1.5% alginate beads with 5% clay, for bioremediation of oil-contaminated lands, has been developed.

Floating biopreparations for hydrocarbon degradation in water. Ceramic granules fabricated from quaternary clay at 1200 °C with density 0.95 g/cm³ were tested for their flotation ability in the synthetic wastewaters containing silicone oil. The presence of oil in the liquid phase improved granules' flotation, probably due to sorption of oil by ceramics. Granules were shown to be appropriate for bacterial colonization. The granule weight after 70 days incubation in the presence of oil in the synthetic wastewater system was increased. Regression analysis showed a strong correlation within the group of [synthetic wastewater + oil] ($r = 0.91$) and [synthetic wastewater + oil + bacteria] ($r = 0.72$) between flotation ability and weight of the granules. Granules were shown to be appropriate for bacterial colonization. In another study, the floating ceramic granules with a bulk density of 0.65 g/cm³ were tested in different synthetic waters varied by salinity. The sorption of motor oil was investigated for dry and wetted granules. The treatment of oily water with a low salinity (1-9 g/L) showed that oil removal efficiency decreased with increasing water salinity.

Interaction of ceramic granules and microorganisms in the process of biofiltration in wastewater treatment. Three types of ceramics differed by feed-stocks and temperature regimes were fabricated for the wastewater treatment model experiments with emphasis on the removal of pharmaceuticals. Two types of the tested ceramics were characterized as the structures permitting intraparticle diffusion. This could bring additional contribution to the removal efficiency of microcontaminants. The lab-scale model system consisted of 7 columns was used for evaluation of the efficiency of oxide ceramics as a filtering medium in the removal of glyphosate from municipal wastewater. The results on glyphosate removal were accompanied by the data related to microbial activity and eco-toxicity.

PIELIKUMI

Ministru kabineta rīkojums Nr.551

Rīgā 2013.gada 20.novembrī (prot. Nr.60 34.§)

**PAR PRIORITĀRAJĪEM VIRZIENIEM
ZINĀTNĒ 2014.-2017.GADĀ**

Saskaņā ar Zinātniskās darbības likuma 13.panta otrās daļas 3.punktu un 34.panta ceturto daļu apstiprināt šādus prioritāros virzienus zinātnē fundamentālo un lietišķo pētījumu finansēšanai 2014.-2017.gadā:

1. Vide, klimats un enerģija (vide, ekosistēmas un bioloģiskā daudzveidība, atjaunojamo resursu ieguve, enerģētiskā neatkarība, elektroapgādes drošuma paaugstināšanas tehnoloģijas, oglekļa mazietilpīgas ražošanas attīstība, klimata pārmaiņu samazināšana un pielāgošanās klimata pārmaiņām).
2. Inovatīvie un uzlabotie materiāli, viedās tehnoloģijas (daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, nanotehnoloģijas un fotonika, informātika, datorzinātne, informācijas un komunikācijas tehnoloģijas, signālapstrādes tehnoloģijas).
3. Sabiedrības veselība (profilakse, diagnostika, ārstniecība, klīniskā medicīna, ārstniecības metodes un tehnoloģijas, ārstniecības līdzekļi un biomedicīnas tehnoloģijas).
4. Vietējo resursu izpēte un ilgtspējīga izmantošana (zemes dziļi, ūdens, lauksaimniecības un mežu resursu apguves tehnoloģijas un pārtikas tehnoloģijas, biotehnoloģijas).
5. Valsts un sabiedrības ilgtspējīga attīstība (sabiedrība, pārvaldība, resursi, tautsaimniecība, demogrāfija, vide).
6. Letonika (Latvijas vēsture, valodas, kultūra, vērtības).

VALSTS PĒTĪJUMU PROGRAMMAS 2014. – 2017.GADAM, ĪSTENOTĀJI

Ministru kabineta 2014.gada 7.oktobra rikožums Nr.558 “Par valsts pētījumu programmām”

1. “Energoefektīvi un oglekļa mazietilpīgi risinājumi drošai, ilgtspējīgai un klimata mainību mazinošai energoapgādei (LATENERGI)” 1.prioritārā zinātnes virziena „Vide, klimats un enerģija (vide, ekosistēmas un bioloģiskā daudzveidība, atjaunojamo resursu ieguve, enerģētiskā neatkarība, elektroapgādes drošuma paaugstināšanas tehnoloģijas, oglekļa mazietilpīgas ražošanas attīstība, klimata pārmaiņu samazināšana un pielāgošanās klimata pārmaiņām)” apakšvirzienā “Enerģētika”. Programmas vadītājs – Dr.habil.sc.ing. L.Ribickis, Rīgas Tehniskā universitāte;
2. “Latvijas ekosistēmu vērtība un tās dinamika klimata ietekmē (EVIDEnT)” 1.virziena apakšvirzienā “Vide un klimats”. Programmas vadītājs – Dr.Ģeogr. J.Aigars, Latvijas Hidroekoloģijas institūts;
3. “Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas (IMIS²)” 2.prioritārā zinātnes virziena “Inovātīvie un uzlabotie materiāli, viedās tehnoloģijas (daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, nanotehnoloģijas un fotonika, informātika, datorzinātne, informācijas un komunikācijas tehnoloģijas, signālapstrādes tehnoloģijas)” apakšvirzienā “Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas”. Programmas vadītājs – Dr.habil.phys. A.Šternbergs, Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts;
4. “Kiberfizikālās sistēmas, ontoloģijas un biofotonika drošai & viedai pilsētai un sabiedrībai (SOPHIS)” 2.virziena apakšvirzienā “Nākamās paaudzes informācijas un komunikāciju tehnoloģiju sistēmas”. Programmas vadītājs – Dr.sc.comp. M.Greitāns, Elektronikas un datorzinātņu institūts;
5. “Biomedicīna sabiedrības veselībai (BIOMEDICINE)” 3.prioritārajā zinātnes virzienā “Sabiedrības veselība (profilakse, diagnostika, ārstniecība, klīniskā medicīna, ārstniecības metodes un tehnoloģijas, ārstniecības līdzekļi un biomedicīnas tehnoloģijas)”. Programmas vadītājs – Dr.med. V.Pīrāgs, Paula Stradiņa Klīniskā universitātes slimnīca;
6. “Meža un zemes dziļņu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas (ResProd)” 4.prioritārā zinātnes virziena „Vietējo resursu izpēte un ilgtspējīga izmantošana (zemes dziļņu, ūdens, lauksaimniecības un mežu resursu apguves tehnoloģijas un pārtikas tehnoloģijas, biotehnoloģijas)” apakšvirzienā “Meža un zemes dziļņu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas”. Programmas vadītājs – Dr.chem. B.Andersons, Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts;
7. “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā (AgroBioRes)” 4.virziena apakšvirzienā “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā”. Programmas vadītāja – Dr.inž. R.Galoburda, Latvijas Lauksaimniecības universitāte;
8. “Inovātīvi risinājumi sociālajā telerehabilitācijā Latvijas skolās iekļaujošās izglītības kontekstā (INOSOCTEREHI)” 5.prioritārā zinātnes virziena “Valsts un sabiedrības ilgtspējīga attīstība (sabiedrība, pārvaldība, resursi, tautsaimniecība, demogrāfija, vide)” apakšvirzienā “Izglītība iekļaujošas zināšanu sabiedrības un inovāciju kultūras veidošanai – jaunas pieejas izglītības politikai un procesam”. Programmas vadītāja – Dr.paed. Velta Ļubkina, Rēzeknes Augstskola;
9. “Tautsaimniecības transformācija, gudra izaugsme, pārvaldība un tiesiskais ietvars valsts un sabiedrības ilgtspējīgai attīstībai – jaunas pieejas ilgtspējīgas zināšanu sabiedrības veidošanai (EKOSOC_LV)” 5.virziena apakšvirzienā “Tautsaimniecības transformācija, gudra izaugsme, pārvaldība un tiesiskais ietvars valsts un sabiedrības ilgtspējīgai attīstībai – jaunas pieejas ilgtspējīgas zināšanu sabiedrības veidošanai”. Programmas vadītāja – Dr.hab.oec. B.Rivža, Latvijas Zinātņu akadēmija;
10. “Latvijas kultūras tradīciju ilgtspēja inovatīvā vidē (Habitus)” 6. prioritārā zinātnes virzienā “Letonika – Latvijas vēsture, valodas, kultūra, vērtības”. Programmas vadītājs – Dr. art. R.Muktupāvela, Latvijas Kultūras akadēmija.

Ministru kabineta 2014.gada 7.oktobra rīkojums Nr.559 "Par papildu valsts pētījumu programmām".

1. "Inovātivi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam (**IMATEH**)" 2.prioritārā zinātnes virziena "Inovātievi un uzlabotie materiāli, viedās tehnoloģijas (daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, nanotehnoloģijas un fotonika, informātika, datorzinātne, informācijas un komunikācijas tehnoloģijas, signālapstrādes tehnoloģijas)" apakšvirzienā "Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas". Programmas vadītājs – Dr.sc.ing. A.Čate, Rīgas Tehniskā universitāte;
2. "Nākamās paaudzes informācijas un komunikāciju tehnoloģiju (IKT) pētniecības valsts programma (**NexIT**)" 2.virziena apakšvirzienā "Nākamās paaudzes informācijas un komunikāciju tehnoloģiju sistēmas". Programmas vadītājs – Dr.sc.comp. A.Ambainis, Latvijas Universitāte;
3. "Inovācija un ilgtspējīga attīstība: Latvijas pēckrīzes procesi globālā kontekstā (**SUSTINNO**)" 5.virziena "Valsts un sabiedrības ilgtspējīga attīstība" apakšvirzienā "Tautsaimniecības transformācija, gudra izaugsme, pārvaldība un tiesiskais ietvars valsts un sabiedrības ilgtspējīgai attīstībai – jaunas pieejas ilgtspējīgas zināšanu sabiedrības veidošanai". Programmas vadītāja – Dr.sc.pol. J.Ikstens, Latvijas Universitāte;
4. "Letonika – Latvijas vēsture, valodas, kultūra, vērtības (**Letonika**)" 6. prioritārā zinātnes virzienā "Letonika". Programmas vadītājs - Dr. habil. art. O.Spārītis, Latvijas Zinātņu akadēmija.

