

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
RIGA TECHNICAL UNIVERSITY**

Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Faculty of Material Science and Applied Chemistry

Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūts
Institute of Textile Materials Technologies and Design

Mg.sc.ing. Edgars KIRILOVS

Doktorantūras specializācijas "Materiālu tehnoloģija un dizains" doktorants

**IKGADĒJI ATJAUNOJAMU IZEJVIELU EFEKTĪVA IZMANTOŠANA
ŠĶIEDRU PLĀTŅU UN KOMPOZĪTU IZGATAVOŠANAI**

**EFFICIENT USE OF ANNUALLY RENEWABLE RAW MATERIALS
FOR PRODUCTION OF FIBRE BOARDS AND COMPOSITES**

Promocijas darba kopsavilkums
The summary of the thesis

Zinātniskais vadītājs/ Supervisor
Dr.habil.sc.ing. profesore/professor

S. Kukle

Konsultanti/ Advisor:

Dr.rer.agr. **H.- J. Gusovius**

Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam- Bornim

Dr.sc.ing. J. Dolacis

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts
Latvian State Institute of Wood Chemistry

Rīga 2013

UDK 674.817(043.2)

Ki 605 i

Kirilovs E. Ikgadēji atjaunojamu izejvielu efektīva izmantošana šķiedru plātņu un kompozītu izgatavošanai. Promocijas darba kopsavilkums.-R.: RTU, 2013.- 56 lpp.

Kirilovs E. Efficient Use of Annually Renewable Raw Materials for Production of Fiber Boards and Composites. Summary of Doctorate Thesis.-R.: RTU, 2013.- 56 pages

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes „RTU P-11” (Šķiedru materiāli un tehnoloģijas) 2012.gada 23. augusta lēmumu, protokols Nr. 1.

Printed in compliance with RTU P-11 (fibre materials and technology) decision of June 14, 2013, session protocol No.1.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

This work has been supported by the European Social Fund within the project «Support for the implementation of doctoral studies at Riga Technical University».

Эта работа выполнена при содействии Европейского социального фонда в рамках проекта «Поддержка развития докторантуры РТУ».

© Rīgas Tehniskā universitāte 2013
© Edgars Kirilovs 2013

ISBN 978-9934-507-28-1

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
MATERIĀLZINĀTNES NOZARĒ KOKSNES MATERIĀLU UN
TEHNOLOĢIJAS APAKŠNOZARĒ**

**DOCTORAL THESIS HAS BEEN PROMOTED FOR OBTAINING
DOCTOR'S DEGREE IN ENGINEERING SCIENCES (MATERIAL
SCIENCE, WOOD MATERIALS AND TECHNOLOGIES) IN RIGA
TECHNICAL UNIVERSITY**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013. gada 14. jūnijā plkst. 14⁰⁰ Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un Lietišķās Ķīmijas fakultātē, Rīgā, Āzenes ielā 14/24, 272. auditorijā.

Doctoral thesis to obtain a doctor's degree in engineering sciences is publicly defended on June 14th 14⁰⁰ of 2013 in auditorium Nr. 272 of Faculty of Materials Science and Applied Chemistry of Riga Technical University in Āzenes street 14/24.

Oficiālie recenzenti/ Official reviewers

Dr.habil.sc.ing. Arnis Treimanis
Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts/
Latvian State Institute of Wood Chemistry

Dr.sc.ing. Voldemārs Skrupskis
Latvijas Lauksaimniecības universitāte/ Latvia University of Agriculture

Dr.sc.ing. Jānis Mārciņš
Latvijas Kokapstrādes uzņēmēju un eksportētāju asociācijas izpilddirektors
Executive Director of Latvian association of wood processing companies and exporters

Apstiprinājums / Confirmation

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

I confirm that I have written this thesis and it is submitted for review in Riga Technical University for acquiring the Doctoral degree in architecture. The thesis is not submitted in any other university for acquiring a scientific degree.

Edgars Kirilovs

Datums/ Date: 28.02.2013.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 3 pielikumus, 70 ilustrācijas, 21 tabulas, kopā 125 lappuses. Literatūras sarakstā ir 135 nosaukumi.

The work is written in Latvian language, consist of introduction, 4 sections, conclusions, used sources, its size is 125 pages. There are 70 pictures, 21 tables, 3 addendums and literature list consisting of 135 sources.

PATEICĪBA

Autors vēlas izteikt visdziļāko pateicību savai darba zinātniskajai vadītājai Dr.habil.sc.ing. profesorei Silvijai Kuklei. Paldies par darba procesa konstruktīvo vadīšanu, kritiku un padomu sniegšanu.

Paldies Koksnes Ķīmijas institūta pētniekam un promocijas darba konsultantam Dr.sc.ing. Jānim Dolacim par sirsnīgo attieksmi, pieejamību un vēlēšanos dalīties savā pieredzē.

Paldies Leibniza Lauksaimniecības tehnikas pētnieciskā institūta (ATB) pētniekam un promocijas darba konsultantam Dr.rer.agr. Hans-Jörg Gusovius par lielisko iespēju veikt lielu daļu eksperimentālo pētījumu ATB laboratorijās un par vērtīgajiem ieteikumiem.

Pateicos arī savai ģimenei- tētim, mammai un mātai, kā arī Ilzei par nesavtīgo palīdzību un atbalstu.

Paldies RTU praktiskajam docentam Jurim Emsiņam un profesoram Vilnim Kazākam par zinātniskajām diskusijām un iedvesmu.

GRATITUDE

The author wants to express the deepest gratitude to work supervisor Dr.habil.sc.ing. professor Silvija Kukle. Thank for the constructive work process management, criticism and advisory.

Thanks to Wood Chemistry Institute researcher and thesis advisor Dr.sc.ing. Janis Dolacis for a sincere attitude, availability and willingness to share the knowledge.

Thanks to Leibniz Institute for Agricultural Engineering (ATB) researcher and the thesis advisor Dr.rer.agr. Hans-Jörg Gusovius for a great opportunity to make a large part of the experimental research in the laboratories of ATB and for very valuable recommendations.

Thanks also to my family-my father, my mother and sister, and Ilze for their selfless help and support.

Thanks to RTU practical docent Juris Emsins and professor Vilnis Kazaks for the scientific discussion and inspiration.

SATURS/ TABLE OF CONTENT

1.	DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	8
1.1.	Tēmas aktualitāte.....	9
1.2.	Promocijas darba mērķis un uzdevumi	9
1.3.	Promocijas darba zinātniskā novitāte	10
1.4.	Promocijas darba praktiskā nozīmība	10
1.5.	Darba struktūra	11
1.6.	Darba aprobācija	11
2.	SITUĀCIJAS ANALĪZE	14
3.	PARAUGU IZGATAVOŠANAS METODIKA.....	17
4.	PARAUGU TESTĒŠANAS METODIKA	18
5.	REZULTĀTI.....	19
5.1.	Kompozītmateriāla tehniskās īpašības	19
5.1.1.	Mitruma saturs	20
5.1.2.	Šķiedru virsmas izmaiņu analīze	20
5.1.3.	Stiepes pretestība, elastības modulis.....	20
5.2.	Plātnes tehniskās īpašības.....	21
5.2.1.	Komponentu mitruma saturs	21
5.2.2.	Daļiņu izmēru analīze	22
5.2.3.	Daļiņu granulometriskā analīze	23
5.2.4.	Plātņu blīvuma un mehānisko īpašību salīdzinoša analīze	26
5.2.5.	Plātņu paraugu uzbriešana un ūdens uzsūcamība	27
5.2.6.	Robežstiprība liecē un lieces elastības modulis	28
5.2.7.	Stiepes stiprības noteikšana perpendikulāri plātnes plaknei.....	30
5.2.8.	Siltumvadītspēja.....	31
5.2.9.	Kaņepāju maisījuma plātnes orientējošs ekonomiskais novērtējums	32
5.2.10.	Kaņepāju maisījuma plātnes ekoloģiskais novērtējums	33
5.2.11.	Kaņepāju maisījuma plātnes paredzamais lietojums	33
	SECINĀJUMI	35

1.	GENERAL DESCRIPTION OF THESIS	38
1.1.	Topicality of theme	39
1.2.	Tasks and objectives of doctoral thesis	39
1.3.	Scientific novelty of doctoral thesis	40
1.4.	Practical importance of doctoral thesis	41
1.5.	Structure of thesis	41
2.	SITUATION ANALYSIS	42
3.	METHODS FOR PRODUCTION OF SAMPLES	44
4.	METHODS OF SAMPLE TESTING	45
5.	RESULTS	46
5.1.	Technical properties of composite materials	46
5.1.1.	Moisture content	46
5.1.2.	Change analysis of fiber surface	46
5.1.3.	Tensile strength, Modulus of elasticity	47
5.2.	Technical properties of board	47
5.2.1.	Moisture of fibres	47
5.2.2.	Fraction dimensions analysis	47
5.2.3.	Granulometric analysis of particles	48
5.2.4.	Comparative analysis of density and mechanical properties of boards	48
5.2.5.	Swelling of board samples and water absorption	49
5.2.6.	Bending strength and modulus of elasticity	50
5.2.7.	Determination of tensile strength perpendicular to the board's plane	51
5.2.8.	Thermal conductivity	51
5.2.9.	Indicative economic assessment of the hemp mixture board	51
5.2.10.	Ecological assessment of boards made of hemp – shives mix	52
5.2.11.	Application of boards made of hemp – shives mix	52
	CONCLUSIONS	54

Apzīmējumi / Abbreviations

ATB	Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim
MDF	vidēja blīvuma kokšķiedru plātne / Medium-density fibreboard
UF	karbamīd- formaldehīda sveķi / urea-formaldehyde resin
PF	fenolformaldehīda sveķi / phenol-formaldehyde resin
PP	polipropilēns / polypropylene
NaOH	nātrija hidroksīds / sodium hydroxide
FDH	14 dienu konservēta un sausa kaņepju auga maisījums / Mixture of 14 days wet - preserved and dry hemp
PDH	365 dienu konservēta un sausa kaņepju auga maisījums / Mixture of 365 days wet - preserved and dry hemp
8FDH	8 mm bieza FDH materiāla plātne / 8 mm thick FDH material board
16FDH	16 mm bieza FDH materiāla plātne / 16 mm thick FDH material board
p	spiediens uz paraugu / pressure to the sample, kg/cm^2
ε	stiepes relatīvais pagarinājums / elongation, %
ρ	plātnes blīvums / board density, kg/m^3
W	šķiedru mitrums / fibre moisture, %
α	plātnes uzbrišana / board swelling, %
σ	stiepe perpendikulāri plaknei / tensile strength perpendicular of plate,
σ_b	lieces pretestība / bending strength, MPa
σ_e	elastības modulis / modulus of elasticity, MPa
$W_{\bar{u}}$	plātnes ūdens uzsūktspēja / board water absorption, %
λ	siltumvadītspējas koeficients / thermal conductivity, W/mK

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Neskatoties uz strauji augošu pētījumu apjomu un arvien jaunu produktu piedāvājumu, tai skaitā plātņu materiālu jomā, joprojām ir daudz neatrisinātu vai daļēji atrisinātu problēmu, ko rada netradicionālu dabas materiālu integrēšana plātnēs, tai skaitā nepieciešamība nodrošināt vienmērīgu izejmateriālu plūsmu ar noturīgām fizikālām un mehāniskām īpašībām visa gada garumā, saīsināt tehnoloģiskos procesus, nodrošināt lietojumam atbilstošas gala produkta īpašības, minimizēt enerģijas patēriņu, atmosfēras un vides piesārņojumu izgatavošanas, lietošanas un likvidēšanas procesos, aizvietot pilnīgi vai daļēji neatjaunojamus, ilgstoši audzējamus resursus ar ātraudzīgiem un ražīgiem.

Šobrīd viens no visvairāk pētītajiem un dažādās rūpniecības jomās pieprasītajiem atjaunojamiem resursiem ir lignocelulozes šķiedru materiāli, ko globāli iegūst ~4 miljardus tonnas ikgadēji; no tām apmēram 40 % nodrošina lauksaimniecības augi, 60 % meži. Tai pat laikā mežu platības sarūk, atsevišķās pasaules daļās to samazinājums jau pārsniedz 80 %. Neskatoties uz to, līdztekus arvien augošam pieprasījumam pēc plātņu materiāliem, aug kokmateriālu patēriņš. Lai samazinātu slodzi uz ekosistēmām un tai pašā laikā nodrošinātu augošo pieprasījumu pēc videi draudzīgiem produktiem, zinātnieku un praktiķu uzmanība vērsta uz jaunu materiālu izstrādi, to sastāvā kā komponentes iekļaujot tādas ikgadēji atjaunojamas augu valsts izejvielas kā kaņepes, lini, cukurniedres, labības salmi u.c. vai to pārstrādes atlikumi.

Šai aspektā kaņepes ir ļoti cerīgs, tautsaimnieciski perspektīvs kultūraugs, kas arī Latvijas augsnē un klimatiskajos apstākļos ļauj iegūt augstas stiebru ražas un reizē ir vidi atveseļojošs augs. Lai sekmīgi risinātu kaņepju reintrodukcijas problēmas, nepieciešama virkne kompleksu risinājumu, tai skaitā klimatiskajiem apstākļiem atbilstošu šķirņu un agrotehnisko kompleksu izstrāde, novākšanas un pirmreizējās apstrādes metožu un tehnoloģiju izstrāde, kas ļautu pilnībā tautsaimnieciski lietderīgi izmantot visas auga daļas, izejvielu plūsmas nodrošināšana ar tālākai pārstrādei atbilstošām, stabilām īpašībām, jaunu sabiedriski nepieciešamu gala produktu, to izgatavošanas un lietošanas tehnoloģiju izstrāde.

Viena no iespējām samazināt riska faktoros un stabilizēt augu valsts izejvielu īpašības ir to pakļaušana konservācijas procesiem, kas līdz šim sekmīgi lietoti pārtikas un lopkopības nozarēs. Rūpnieciski pārstrādājamu izejvielu konservācija ir jauns virziens, tā attīstīšana un atbilstošu tehnoloģisko aprīkojumu izstrāde 90-to gadu beigās uzsākta Leibniza Lauksaimniecības pētnieciskajā institūtā (ATB) Potsdamā - Tomas Hoffman, Ralf Pecenka, Christine Idler, Hans-Jorg Gusovius, Ljubomir Radosavljevic pētījumos. No 1997. līdz 2005. gadam liels darbs ieguldīts kaņepju auga sagatavošanas un konservācijas tehnoloģijas izstrādē

bezgaisa vidē, kā arī veikti eksperimenti ar dažādām saistvielām, koksnes skaidu komponentu integrēšanu plātņu materiālu mehānisko īpašību uzlabošanai, tai skaitā veikti mēģinājumi veidot polipropilēna saistvielu plātnes un kompozītus. Veikto pētījumu rezultātā institūtā izstrādāta tehnoloģija kaņepju novākšanai un uzglabāšanai, veikti eksperimenti fermentizācijas procesā radušos smaku samazināšanai, izstrādāta un materiālā realizēta unikāla eksperimentāla konservētu kaņepju pārstrādes tehnoloģiskā līnija, patlaban tā tiek testēta, pētīta pārstrādes operāciju tehnoloģisko iekārtu parametru ietekme uz flīsa un plātņu paraugu īpašībām. Līdzšinējos pētījumos iegūti 10 mm biezi plātņu paraugi ar maksimālo blīvumu 1140 kg/m^3 , kas satur konservētu kaņepju un priedes kokšķiedru komponentes attiecībā 6:4, eksperimentējot ar tādām saistvielām kā pulverveida un šķīdināta ciete, celuloze, rapša izspaidas, PLA (Poly lactic acid) šķīdums, glikoze, fenolformaldehīda sveķu (PF) līme, kas deva iespēju veikt salīdzinošu lieces izturības analīzi, kā arī novērtēt saistvielas efektus. Paraugi ar augstāko lieces pretestību 48 MPa iegūti ar PF saistvielu. Samērā maza uzmanība minēto autoru darbos līdz šim vērsta uz plātņu materiālu un siltumizolācijas plātņu prototipu izstrādi no 100 % kaņepju flīsa un to īpašību spektra izpēti.

1.1. Tēmas aktualitāte

Neskatoties uz to, ka jau daudz ir paveikts, joprojām nepieciešami daudzpusīgi pētījumi gan lai noskaidrotu pārmaiņu raksturu, kas notiek kaņepju konservēšanas procesā, gan jaunu materiālu izstrāde un to īpašību spektra novērtējumi, iespēju apzināšana to uzlabošanai, kā arī iespējamo lietojumu jomas apzināšana ir joprojām aktuāla.

1.2. Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Izveidot inovatīvus plātņu materiālu prototipus, integrējot to sastāvā kaņepāju komponentes, kas iegūtas, izmantojot saīsinātas tehnoloģijas kaņepju stiebru pārstrādei šķiedru-spaļu maisījumā.

Izveidot inovatīvus kompozītmateriālu prototipus, aizstājot energoietilpīgas komponentes pilnībā vai daļēji ar ikgadēji atjaunojamiem, bioloģiski degradējamiem izejmateriāliem.

Mērķa sasniegšanai izvirzītie uzdevumi:

- balstoties uz publicētās un nepublicētās informācijas analīzi, izveidot apskatu par sagatavošanas tehnoloģijām kaņepju komponentu integrācijai plātņu materiālos un biopolimēru struktūrās;
- veikt saīsinātās kaņepāju pārstrādes rezultātā iegūto izejvielu granulometrisku analīzi un apzināt to izmantošanas iespējas plātņu materiālos;

- izstrādāt kompozītu un plātņu materiālu kompozīciju risinājumus, noteikt tehnoloģiskos parametrus un testēšanas metodes;
- izgatavot paraugus, sagatavot tos testēšanai atbilstoši standartiem/ metodikām;
- veikt paraugu testēšanu, iegūto rezultātu matemātisku apstrādi un interpretāciju;
- veikt salīdzinošu variantu fizikālo un mehānisko īpašību analīzi;
- noteikt iespējamās piedāvāto materiālu lietojumu jomas, formulēt rekomendācijas.

1.3. Promocijas darba zinātniskā novitāte

- Izveidots jauns vidēja blīvuma un zema blīvuma plātņu materiāla tips, kuru var klasificēt kā vispārēja lietojuma plātnes, bet finierējot sasniedz konstrukciju materiāla īpašības; kā izejmateriālus izmantojot uz lauka smalcinātus kaņepju stiebrus ar sekojošu konservāciju, kuriem mitruma izlīdzināšanai noteiktās proporcijās pievienoti vasarā pļauti, uz lauka žāvēti, rupji smalcināti gaissausi kaņepju stiebrī un karbamīdsveķu un fenolformaldehīda sveķu saistviela;
- Veikta izveidoto kaņepju šķiedru-spaļu maisījuma plātņu īpašību salīdzinoša analīze. Iegūtie matemātiskie modeļi un to ģeometriskās interpretācijas ļauj prognozēt konservācijas laika un presēšanas intensitātes, kā arī līmes tipa ietekmi uz plātņu fizikālajām un mehāniskām īpašībām;
- Izveidots jauns šķiedru - polipropilēna matricas kompozīta tips, kā armējumu izmantojot garas tehniskās kaņepju šķiedras, kas sagatavotas iestrādei kompozītā pēc to pirmreizējas apstrādes (tillināšana, dekortifikācija, rupja ķemmēšana);
- Veikta izveidoto šķiedru plastikātu īpašību salīdzinoša analīze, iegūti matemātiski modeļi un to ģeometriskās interpretācijas, kas ļauj prognozēt šķiedru satura un presēšanas temperatūras ietekmi uz kompozīta fizikālajām un mehāniskajām īpašībām.

1.4. Promocijas darba praktiskā nozīmība

- Promocijas darbā risinātās problēmas – jaunu produktu piedāvājuma izstrāde atbilstoši tehnoloģiskai platformai - ir daļa no apjomīga starptautiska pētniecisko darbu kopuma, kas orientēts uz principiāli jaunu pieeju - visa kaņepju stiebra pārstrādi plātņu materiālos, atbilstošas tehnoloģijas un tehnoloģisko iekārtu prototipu izstrādi tehnoloģiskajai ķēdei „kaņepju lauks-plātnes”;
- Izstrādātie materiālu paraugi ar samērā plašu fizikālo un mehānisko īpašību diapazonu un iegūtie matemātiskie modeļi ir pamats rūpnieciski ražojamu plātņu projektēšanas uzsākšanai ar īpašībām, kas atbilst paredzamajam lietojumam interjerā, mēbeļu ražošanā

un būvniecībā, kā arī vērš mašīnbūvētāju uzmanību uz eksperimentālo tehnoloģisko līniju un tās darba mašīnām, kas būtu transformējamas rūpniecisku iekārtu variantos;

- Saīsinātā kaņepju pārstrādes tehnoloģija ir efektīva, jo tiek samazināti vairāki riska faktori lauksaimniecībā, ievērojami samazināts tehnoloģisko pāreju un operāciju skaits plātņu ražotnēs, iegūts videi draudzīgs jauns, viegli modificējams produkts, kā arī rodas iespēja veidot bezatlikumu ražošanu. No ikgadēji atjaunojamiem resursiem izstrādāto plātņu, kas izgatavotas uz eksperimentālas tehnoloģiskās līnijas, paredzamā cena ir 3,54 Ls/m². Tā atbilst tirgū pieejamu augu bāzes plātņu vidējai cenai, bet ir vidēji par 60 % augstāka kā koksnes izejmateriāla plātnēm (KSP, MDF, OSB);
- Saņemts apstiprinājums patenta pieteikumam Nr. P-12-196 „Īslaicīgi fermentēta kaņepāju maisījuma plātņu izejmateriāla izgatavošanas metode” par LR patenta piešķiršanu.

1.5. Darba struktūra

Darbs strukturēts četrās nodaļās:

1. nodaļā ir literatūras apskats un analīze. Nodaļa iedalīta četrās apakšnodaļās.
2. nodaļā ir metodiskā daļa, kurā apskatīta šķiedru plātņu un kompozītu paraugu izgatavošanas metodika.
3. nodaļā apskatītas testu metodes un aprīkojums.
4. nodaļā, pamatojoties uz iepriekšējo nodaļu, veikts iegūtās informācijas apkopojums un interpretācija.

1.6. Darba aprobācija

Publikācijas

1. **Kirilovs E., Kukle S.,** „Biopolimēru sadalījuma un to īpašību analīze” **Publicēts:** RTU 51.starptautiski zinātniskās konferences, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes apakšsekcijā “Tekstilmateriālu tehnoloģija un dizains”, Rīga, Latvija, 15. Oktobris, 2010, RTU zinātniskie raksti, Materiālzinātne, 9. Sērija 5. Sējums, Rīga, 2010, 77.-81.lpp. (www.ortus.lv)
2. **Kirilovs E.,** „Akustikas problēmas un to risinājumi atvērta tipa birojos” **Publicēts:** RTU 51.starptautiski zinātniskās konferences, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes apakšsekcijā “Tekstilmateriālu tehnoloģija un dizains”, Rīga, Latvija, 15. Oktobris, 2010, RTU zinātniskie raksti, Materiālzinātne, 9. Sērija 5. Sējums, Rīga, 2010, ISSN 1691-3132, 72.-76.lpp. (www.ortus.lv; Google Scholars)
3. **Kirilovs E., Kukle S.,** „Biodegradable composites with hemp” **In:** Proceeding of 13th International Symposium „Materials, Methods & Technologies”, Sunny Beach, Bulgaria,

- June 7- 10, 2011, Book Volume 5, Part 1, Bulgaria, 2011, ISSN 1313-2539, p 143- 155.
(www.science-journals.eu/mmt/index.html; Google Scholars)
4. **Kirilovs E., Kukle S.**, „Adhesion improvement of hemp fibre polypropylene composites”
In: CD proceeding 17th International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology, NAROSSA 2011, Poznan, Poland, May 29- 31, 2011.
 5. **Kirilovs E., Soliženko R., Kukle S.** «Specific of Hemp Fibre,s Plastic Composite Projection» **In:** Proceeding of 8th International Scientific and Practical Conference „Environment. Technology. Resources” Rēzekne, Latvia, June 20- 22, 2011, Book 1. Latvia, 2011, ISBN 978-9984-44-070-5, p 310.- 317. (<http://zbd.ru.lv/>, AGRIS, Google Scholars)
 6. **Kirilovs E., Dolacis J., Kukle S.**, «With hemp fiber filled fiber plastic composites» **In:** Proceedings of 7th International Conference “Management of Technological changes” , Alexandropoulos, Greece, September 1-3, 2011, Book 1. Greece, 2011, ISBN 978-960-99486-2-3,2011, p 521-524. (www.isiwebknowledge.com, Thomsons Reuters database)
 7. **Kirilovs E., Gusovius H-J., Kukle S.**, „Inovative MDF board material for furniture from hemp” **In:** Proceedings of 12th AUTEX World Textile Conference «Innovative textile for high future demands», Zadar, Croatia, June 13-15, 2012, Book 2, Croatia, 2012, ISBN 978-953-7105-47-1, 2012, p 1641-1646.
 8. **Kirilovs E., Gusovius H-J., Pecenka R.**, „Īslaicīgi fermentēta kaņepāju maisījuma plātņu izejmateriāla izgatavošanas metode” saņemts apstiprinājums patenta pieteikumam Nr. P-12-196 par LR patenta piešķiršanu.
 9. **Kirilovs E., Gusovius H-J., Dolacis J., Kukle S.**, „Innovative fibreboard from wet-preserved hemp” publikācija iesniegta 19th International Scientific Conference „Research for rural development 2013”, Jelgava, Latvia, 15.05.2013. – 17.05.2013. (Thomson Reuters Web of Science; Elsevier SCOPUS;)

Zinātniskās konferences

1. **Kirilovs E., Kukle S.**, „Biopolimēru grupas. Attīstība un izmantošana” RTU 51.starptautiskā zinātniskā konferencē, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes apakšsekcijā „Tekstilmateriālu tehnoloģija un dizains”, Rīga, Latvija, 15.10.2010.
2. **Kirilovs E., Kukle S.**, „Adhesion improvement of hemp fibre polypropylene composites” 17th International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology, NAROSSA 2011, Poland, Poznan, 29.05.- 31.05.2011.
3. **Kirilovs E., Kukle S.**, „Biodegradable composites with hemp” un „Биоразлагаемые Композиты с Коноплей” 13th International Symposium “Materials, Methods & Technologies”, Sunny Beach, Bulgaria, 07.06. – 10.06.2011.
4. **Kirilovs E., Solizenko R., Kukle S.**, „Specific of Hemp Fibre,s Plastic Composite Projection”. 8th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources” Rezekne, Latvia, 20.06. - 22.06.2011.
5. **Kirilovs E., Dolacis J., Kukle S.**, „With hemp fiber filled fiber plastic composites” 7th International Conference „Management of Technological changes”, Greece, 01.09.2011.- 03.09.2011.
6. **Kirilovs E., Gusovius H-J., Kukle S.**, „Inovative hemp fibre board” XIII International Scientific Conference „Sustainable Business in Changing Economic Conditions” Riga, Latvia, 30.03.2012.
7. **Kirilovs E., Gusovius H-J., Kukle S.**, „Inovative MDF board material for furniture from hemp” 12th AUTEX World Textile Conference „Innovative textile for high future demands”, Zadar, Croatia, 13.06.2012. – 15.06.2012.
8. **Kirilovs E., Gusovius H-J., Dolacis J., Kukle S.**, „Innovative fibreboard from wet-preserved hemp” 19th International Scientific Conference „Research for rural development 2013”, Jelgava, Latvia, 15.05.2013. – 17.05.2013.
9. RTU TTDI 2012. gada 29. jūnija zinātniskais seminārs. RTU TTDI scientific seminar in 29 June, 2012.

Citas aktivitātes saistībā ar promocijas darba tēmu

Laika posmā no 01.08.2011. līdz 01.11.2011. ERASMUS prakse Leibnica Lauksaimniecības pētnieciskajā institūtā (ATB) Potsdamā, Vācijā.

Other activities related to theme of doctoral thesis

In the period of 1 August, 2011 till 1 November, 2011 ERASMUS praxis in Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam- Bornim, Germany.

2. SITUĀCIJAS ANALĪZE

Aplūkoto patentu un literatūras avotu analīzes rezultātā konstatēts, ka:

- pasaulē ir salīdzinoši liels koksnes patēriņš šķiedru plātņu izgatavošanai, kas ir iemesls aizvien intensīvākai mežu izciršanai; lai to samazinātu tiek meklētas iespējas daļēji vai pilnībā aizvietot koksni plātņu materiālos ar lauksaimniecības piegādātām augu valsts izejvielām un/vai to pārstrādes blakusproduktiem;
- vairums pētījumos kā aizstājējmateriāli šķiedru un skaidu plātņu izgatavošanai tiek izmantotas lignocelulozes augu šķiedras vai augu atlikumi, tai skaitā linu un kaņepju šķiedras un/vai spaļi, cukurniedru šķiedras, kviešu, rīsu un sojas pupiņu stiebi, kukurūzas un kokvilnas stiebru šķiedras, džutas un kenafa šķiedras vai stiebi, kā arī bambusa un eikalipta koksnes šķiedras;
- kā saistvielas dabas šķiedru plātņu izgatavošanai vairums pētījumos izmantotas polikondensācijas līmes, tās pievienojot no 1 % līdz 20 % no sausas masas, visbiežāk 8-12%; tām parasti tiek pievienots cietinātājs (parafīna eļļa, amonija hlorīds) ~ 1 %, ja nepieciešams tiek pievienots arī katalizators. Atsevišķos pētījumos apstrādājot sagatavoto masu pirms presēšanas ar 35 % ūdeņraža peroksīdu un paaugstinot presēšanas temperatūru līdz 190 °C iegūti plātņu paraugi bez līmes ar lieces robežstiprību 7-47 MPa un blīvumu 870-1110 kg/m³. Augu bāzes plātnēm bez līmes raksturīga 2 līdz 6 reizes intensīvāka briešana mitruma ietekmē;
- lai veidotu gludākas, izturīgākas, pārklājumiem un mehāniskai apstrādei padevīgākas plātnes, flīsa daļiņu izmēri un sastāvs vienā vai abās virsmās tiek mainīts, kā arī līmes saturs vienā vai abās virsmās tiek palielināts: vidējais sveķu līmes saturs ir 10 %, attiecīgi centrālajā slānī 6-8 % un ārējos slāņos 8-12 %;
- pētījumos augu bāzes plātņu paraugi izgatavoti gan piemērojot, gan nepiemērojot pirms presēšanu, kas savukārt var tikt veikta zem spiediena līdz 3 MPa vai pat pie 0,05 MPa; var arī piemērot „auksto” pirmreizējo presēšanu. Pirmreizējās presēšanas laiku izvēlas atkarībā no flīsa biezuma, rēķinot 5 s uz vienu biezuma mm;;
- spaļu mērcēšana karstā ūdenī ar sekojošu žāvēšanu un malšanu ļauj iegūt fenola sveķu paneļus ar 2 reizes lielāku stiepes izturību un par 35 % mazāku uzbriešanu mitrā vidē nekā attiecīgās paneļu paraugu īpašības no nemērcētiem spaļiem;
- presēšanas režīmi variē: temperatūra no 140 °C līdz 190 °C, presēšanas spiediens no 1,5 līdz 6,1 MPa, izturēšanas laiks no 4 līdz 11 min; presēšanu veic vienā vai divos paņēmienu karstā presē variējot biezumu. Sastopami arī vairākpakāpju presēšanas

varianti: divpakāpju (aukstā un pēc tam karstā presē), trīs pakāpju karstā presēšana variējot biezumu. Presēšana tiek veikta no vienas puses;

- iegūto garo šķiedru plastmasas kompozītu īpašības: ar epoksīda matricu- robežstiprība stiepē 67,3- 230 *MPa*, stiepes elastības modulis 5,7- 36 *GPa*; ar polipropilēna filmas matricu- robežstiprība stiepē 50,88 *MPa*; ar polipienskābes matricu robežstiprība stiepē 40,3 *MPa*. Šķiedru daudzums kompozītā variē no 10 – 65 % , vairumā gadījumu maksimālais šķiedru daudzums ir 40 %.
- iegūto šķiedru plātņu īpašības: a) ar UF līmi: blīvums 600-800 *kg/m³*, robežstiprība liecē 4,77- 33 *MPa*, elastības modulis 1535-2935 *MPa*, robežstiprība stiepē perpendikulāri plaknei 0,415-0,8 *MPa*, robežstiprība stiepē paralēli plaknei 9,48- 31,38 *MPa*, uzbriešana 24- 41 % , ūdens absorbcija 77- 108 %; b) ar PF līmi: blīvums 580-1000 *kg/m³*, robežstiprība liecē 12- 35,1 *MPa*, elastības modulis 1800- 3290 *MPa*, robežstiprība stiepē perpendikulāri plaknei 0,33-0,62 *MPa*, robežstiprība stiepē paralēli plaknei 3,65 *MPa*, uzbriešana 13,46- 15 % , ūdens sorbcija 96 %;
- Augu bāzes plātņu īpašību uzlabošana:
 - a) pievieno visā apjomā kokakšnes zāgskaidas (priede);
 - b) ja ir vairāki slāņi, pa slāņiem orientē skaidas/spaļus, mainot izvietojumu ass virzienā vienā slānī uz izvietojumu perpendikulāri asij nākošajā;
 - c) sagatavojot noteikta izmēra flīsa daļiņas, piem., garums ne mazāks par 20 *mm*, garuma un platuma attiecība 3:1.
- Rūpnieciski ražo plātnes pilnībā vai daļēji no augu valsts izejvielām:
 - d) vācu uzņēmumā „Kosche” vieglās mēbeļu plātnes no kaņepju spaļiem; to blīvums atkarībā no biezuma variē robežās 300 – 320 *kg/m³*, plātņu lieces robežstiprība ~ 5*MPa*;
 - e) vācu uzņēmumā „Steico” izgatavo siltumizolācijas plātnes no kaņepju šķiedrām. Plātņu blīvums ir ~40 *kg/m³* un siltumvadītspējas koeficients $\lambda=0,040$ *W/m·K*. Biezums variē no 40 līdz 200 *mm*;
 - f) „TorZo” (ASV) izgatavo plātnes no kaņepju šķiedrām, kas piesūcinātas ar poliakrilu. Uzņēmums Holandē jau no 1956.gada izgatavo termo un akustikas izolācijas plātnes ar blīvumu no 320 – 560 *kg/m³*;
 - g) beļģu uzņēmumā „Unilin” izgatavo mēbeļu plātnes „UniFlax” no līniem ar irdenāku centrālo slāni, ārējos slāņus padarot blīvākus ar koka skaidām un bagātinot ar saistvielu. Plātņu blīvums 350 – 500 *kg/m³*, tās ir ugunsdrošas un ar labu skaņas absorbcijas spēju.

- gan eksperimentālajos paraugos, gan rūpnieciski ražotās plātnēs kā pildviela tiek lietota vai nu šķiedras vai koksnainās daļas skaidas (spaļi);
- pie biodegradējamām matricām pieskaitāmas - Polikaprolaktons (PCL - Polycaprolactone), Polibutilsukcināts (PBS - Poly butylenes succinate), Poliētera sulfons (PES - Poly ether sulfones), Polihidroksibutirāta (PHB - Polyhydroxybutyrate), Ciete (Starch), Polipienskābe (PLA - Poly lactic acid). Šo matricu tūlītējus lietojumus ierobežo zemie stiprības rādītāji, zemā triecienizturība, lielā mitruma sorbcijas spēja, augstā cena;
- no daļēji biodegradējamām matricām savienojumā ar dabas šķiedrām plašāk izmantotās - Polipropilēns (PP - Polypropylene), Polietilēns (PE -Polyethylene), Neilons (NY11 - Nylon 11), Acetilceluloze (AcC - Acetyl cellulose).

3. PARAUGU IZGATAVOŠANAS METODIKA

Izejmateriāli kompozīta izgatavošanai:

- tradicionālās pārstrādes rezultātā iegūtas kaņepju šķirnes 'Bialobrzieskie' šķiedras;
- polipropilēns (PP) šķiedru formā.

Kompozītmateriāla šķiedru komponentu sagatavošana:

- šķiedru ķīmiskā apstrāde ar NaOH šķīdumu;
- šķiedru manuāla ķemmēšana, klājuma - polipropilēna šķiedras / garās kaņepju šķiedras / polipropilēna šķiedras izveide; testēšanai sagatavotas 4 paraugu grupas, variējot ar proporcijām (50 % un 70 % šķiedras) un presēšanas temperatūru (170 °C un 190 °C).

Kompozītmateriālu paraugu testēšana:

- EN ISO 527-1:1993 „Plastmasas stiepes īpašību noteikšanas standarta metode”;
- LVS EN ISO 62:2008 „Plastikātu ūdens absorbcijas noteikšana standarta metode”

Izejmateriāli šķiedru plātņu izgatavošanai:

- Leibnica Lauksaimniecības Tehnikas institūta laukos audzēta kaņepju šķirne 'Santicha 27';
- kā saistvielas tiek izmantotas fenolformaldehīda (PF) un karbamīda sveķu (UF) polikondensācijas līmes.

Plātņu paraugu sagatavošana:

- saīsinātās pārstrādes tehnoloģijas rezultātā iegūts sasmalcināts kaņepju auga maisījums; tas satur šķiedras, koksnainās daļas skaidas (spaļus), lapas un sēklas. Maisījums pakļauts konservācijai bezgaisa vidē 14 dienas un 365 dienas;
- mitruma izlīdzināšanai tiek izmantots ar giljotīnu sasmalcināts sauss kaņepju stiebrs; konservēto komponentu attiecība pret sauso ~ 2:1 (precīza attiecība tiek aprēķināta vadoties no mitruma saturu);
- testēšanai sagatavotas 8 paraugu grupas, variējot konservēšanas laiku, lietoto saistvielu un plātnes parauga biezumu saglabājot nemainīgu flīsa virsmas blīvumu.

Plātņu paraugu izgatavošana:

- konservētais šķiedru spaļu maisījums sajaukts ar sauso kaņepju sasmalcinātiem stiebriem; divu skrūvju ekstrūderī veikta pirmreizējā maisījuma sasmalcināšana un sajaukšana; diska dzirnavās maisījumam tiek veikta galēja smalcināšana; šķiedru spaļu maisījums tiek žāvēts 150 °C; materiāls tiek sajaukts ar PF un UF līmi; tiek veidots 3 slāņu flīsa klājums, tas tiek atbilstoši garināts; balstoties uz presēšanas režīmiem plātnes tiek presētas apsildāmā presē.
- Leibnica Lauksaimniecības Tehnikas institūtā iegūti 125 plātņu paraugi katrai paraugu grupai, kopā pārbaudēm sagatavoti 1000 plātņu paraugi.

4. PARAUGU TESTĒŠANAS METODIKA

Kaņepju šķiedru-spaļu maisījuma īpašību testēšanai veiktas pārbaudes:

- komponentu mitruma saturs noteikts ar masas metodi, izmantojot žāvēšanas skapi „Carbolite LHT4/60” un laboratorijas svarus „A&D GF-3000”, atbilstoši LSV EN 62:2008 standartam pirms un pēc sajaukšanas ar saistvielu;
- daļiņu izmēru sadalījums noteikts ar sijāšanas metodi, izmantojot sijāšanas testa iekārtu ar sešiem sietiem, atbilstoši LVS EN 933:2012 standartam;
- šķiedru - spaļu maisījuma daļiņu garums un platuma sadalījums noteikts ar slīdošo skeneri un attēlu analīzes programmu „Fibre Shape”.

Kaņepju augu bāzes plātņu paraugu īpašību testēšanai veiktas pārbaudes:

- noteikts plātņu blīvums, izmantojot laboratorijas svarus „A&D GF-3000” un digitālo bīdmēru „Topex PD 151”, atbilstoši LVS EN 323:2000 standartam;
- robežstiprība liecē un lieces elastības modulis noteikts, izmantojot „Zwick/ Roell Z010” testēšanas iekārtu ar palīgierīci, atbilstoši LVS EN 310:2001 standartam;
- uzbriešana un ūdens sorbcija noteikta, izmantojot digitālo bīdmēru „Topex PD 151” un laboratorijas svarus „A&D GF-3000”, atbilstoši LVS EN 317:2000 standartam;
- robežstiprība stiepē perpendikulāri plaknei noteikta, izmantojot „Zwick/ Roell Z010” testēšanas iekārtu ar palīgierīci, atbilstoši LVS EN 319:2000 standartam;
- plātņu paraugu siltumvadītspēja noteikta uz firmas Lasercomp siltuma vadītspējas mērītāja FOX600 atbilstoši ISO 8301:1991 standartam.

5. REZULTĀTI

5.1. Kompozītmateriāla tehniskās īpašības

Pēc testēšanas procesā iegūtajām mitruma satura, robežstiprības stiepē un elastības moduļa stiepē vērtībām aprēķināti matemātiskie modeļi (1.tab.) nepilna otrās pakāpes polinoma veidā, kas adekvāti apraksta mitruma saturu, robežstiprību stiepē un elastības moduli stiepē atkarībā no kaņepju satura kompozītā un izgatavošanas temperatūras.

1.tabula / Table 1

Kaņepju šķiedru kompozītmateriāla matemātiskie modeļi un to interpretācija

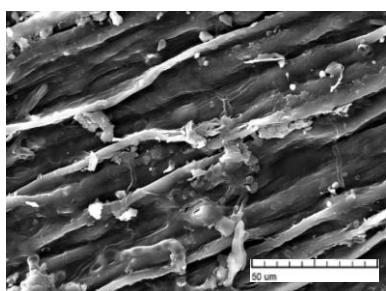
Nosaukums Name	Matemātiskais modelis Mathematical Model	Ģeometriskās interpretācijas virsma Geometrical Interpretation Area
Mitruma saturs Moisture content	$Y_{L1} = 4.10 - 0.41 * x_1 + 0.66 * x_2 + 0.23 * x_1 * x_2$ kur: Y_{L1} - mitruma saturs, %; x_1 - temperatūra, °C; x_2 - kaņepju saturs, %; were: Y_{L1} - moisture content, %; x_1 - temperature, °C; x_2 - fibre content, %;	
Robežstiprība stiepē Tensile strength	$Y_{L2} = 46.90 - 12.62 * x_1 + 9.53 * x_2 + 3.59 * x_1 * x_2$ kur: Y_{L2} - robežstiprība stiepē, MPa; x_1 - temperatūra, °C; x_2 - kaņepju saturs, %; were: Y_{L2} - tensile strength, MPa; x_1 - temperature, °C; x_2 - fibre content, %;	
Stiepes elastības modulis Modulus of tension elasticity	$Y_{L3} = 2962.93 - 77.18 * x_1 + 762.73 * x_2 + 168.06 * x_1 * x_2$ kur: Y_{L3} - elastības modulis, MPa; x_1 - temperatūra, °C; x_2 - kaņepju saturs, %; kur: Y_{L3} - modulus of elasticity, MPa; x_1 - temperature, °C; x_2 - fibre content, %;	

5.1.1. Mitruma saturs

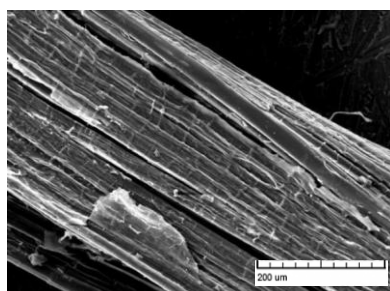
Ūdens absorbcijas pētījumi rāda (1.tab. Y_{L1}): jo augstāka ir presēšanas temperatūra un mazāks šķiedru saturs kompozītā, jo zemāka ir kompozīta absorbcija (2,81 %, ja $t = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$ un kaņepju šķiedru īpatsvars 50 %); samazinoties presēšanas temperatūrai un palielinoties šķiedru saturam absorbcija pieaug 1,75 reizes (4,93%, ja $t = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ un kaņepju šķiedru īpatsvars 70 %).

5.1.2. Šķiedru virsmas izmaiņu analīze

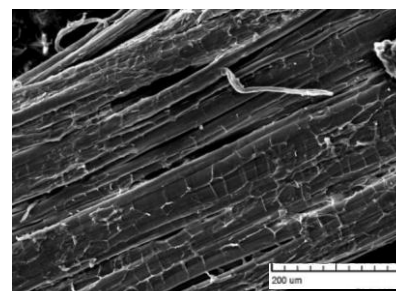
Atkarībā no paredzamā lietojuma iespējams lūksnes priekšapstrādes procesā regulēt šķiedru sadalījuma pakāpi, kā arī šķiedru kompleksu/elementāršķiedru virsmas tīrību. Kompozītu tehnoloģijās ļoti svarīgi nodrošināt labu šķiedru sasaisti ar matricas vielu, līdz ar to apstrāde ar 5 % (2.att.)- 8 % (3.att) nātrija sārna šķīdumu var ievērojami uzlabot kompozīta komponentu sasaisti.



1.att. Bez apstrādes
Fig.1. Without treatment



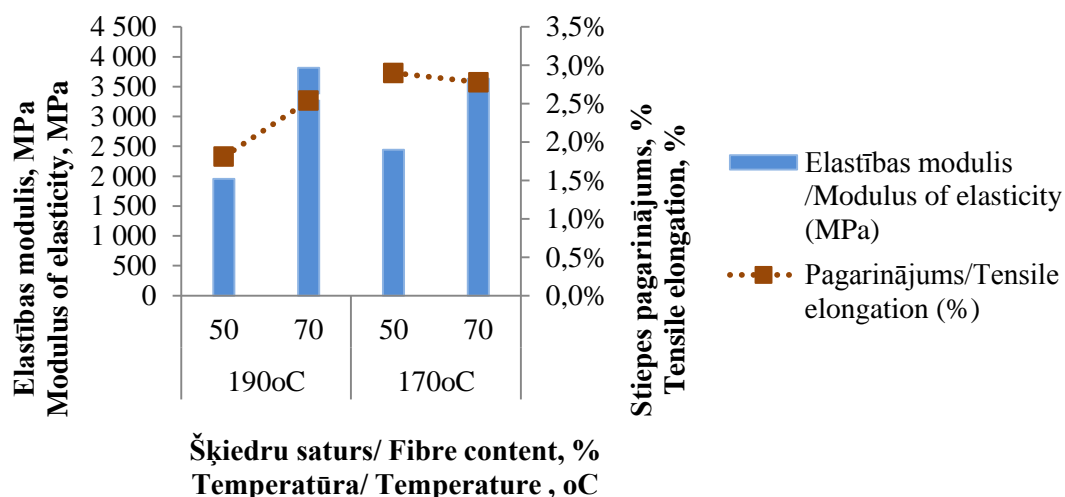
2.att. Pēc apstrādes ar 5%
NaOH
Fig.2. After treatment with
5% NaOH



3.att. Pēc apstrādes ar 8%
NaOH
Fig.3. After treatment with
8% NaOH

5.1.3. Stiepes pretestība, elastības modulis

Kā redzams 1. tabulā Y_{L2} vienādojumā un no modeļa ģeometriskās interpretācijas virsmas - gan presēšanas temperatūra, gan šķiedru īpatsvars, kā arī to mijiedarbība, būtiski ietekmē robežstiprību stiepē, kas ir visaugstākā (65,5 MPa) pie maksimālā aizpildījuma un presēšanas temperatūras $170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Presēšanas temperatūras izmaiņas par $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ no $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ uz $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ izsauc robežstiprības samazinājumu no 53,6 MPa uz 21,2 MPa (par 60,4 %), ja šķiedru īpatsvars ir 50 %, un no 65,5 MPa uz 47,4 MPa (par 27,6 %), ja šķiedru īpatsvars ir 70%.



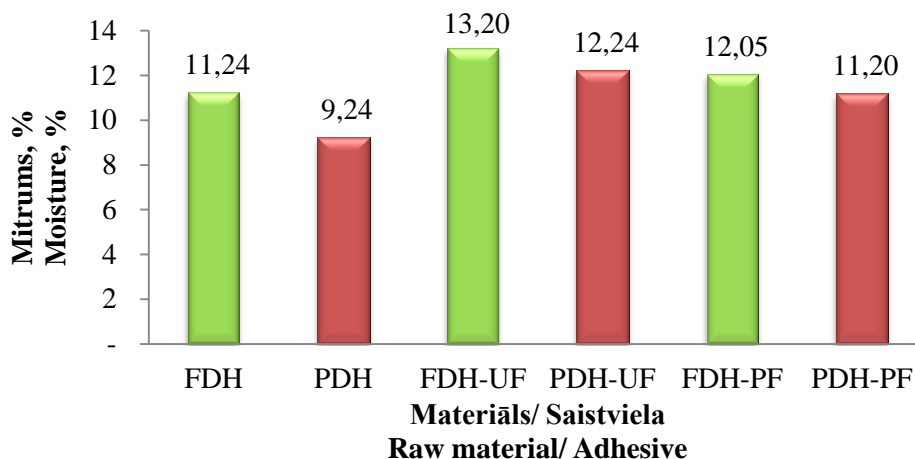
4.att. Elastības modulis un stiepes pagarinājums paraugiem
Fig.4. Modulus of elasticity and elongation of samples

Temperatūras ietekme uz elastības moduļa vērtībām ir stipri vājāka: presēšanas temperatūras izmaiņa no 170 °C uz 190 °C izsauc Junga moduļa samazinājumu par 20 %, ja šķiedru proporcija kompozītā ir 50 %; savukārt tāda pati temperatūras diference kompozīta moduli ar 70 % aizpildījumu praktiski nemaina, jo atšķirība 5 % ir kļūdas robežās (4. att.).

5.2. Plātnes tehniskās īpašības

5.2.1. Komponentu mitruma saturs

Kaņepju šķiedru - spaļu ilgstoši konservētā (365 dienas) maisījuma (PDH) sākotnējais mitrums ir par 2 % mazāks nekā 14 dienas konservētās masas FDH mitrums. Abos gadījumos mitruma saturs paaugstinās pēc sajaukšanas ar līmējošo vielu PF: par 2 % (no 11,24 % uz 13,20 %) 14 dienas konservētā materiālā un par 3 % PDH materiālā (no 9,24 % uz 12,24 %). Abu maisījumu mitrums pēc sajaukšanas ar PF līmi ir zemāks nekā tad, ja lietota UF līme un mitrums praktiski nepārsniedz 12 %, kas ir maksimālā pieļaujamā robeža. Eksperimentu rezultāti apkopoti 5. attēlā. Kopumā, izvērtējot mitruma saturu šķiedru - spaļu maisījumā pirms un pēc līmes pievienošanas un salīdzinot izmaiņas divām eksperimentā lietotajām līmēm, secinām, ka PF līmes lietojums ir efektīvāks no kompozīta tehnoloģijas viedokļa.

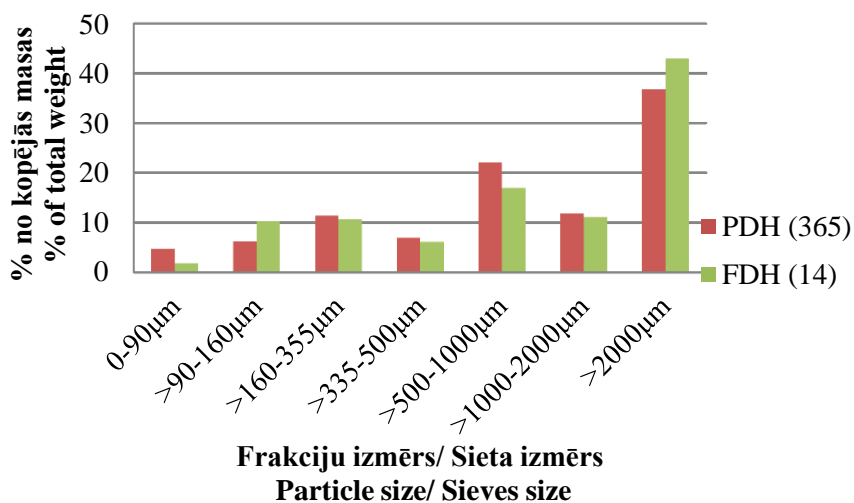


5.att. Mitruma saturs pirms un pēc sajaukšanas ar saistvielām

Fig.5. Moisture content before and after mixing with binders

5.2.2. Daļiņu izmēru analīze

Sijāšanai izmantotie septiņi sieti ļāva noteikt daļiņu masas sadalījumu atbilstoši sietu acu izmēriem (6. att.).

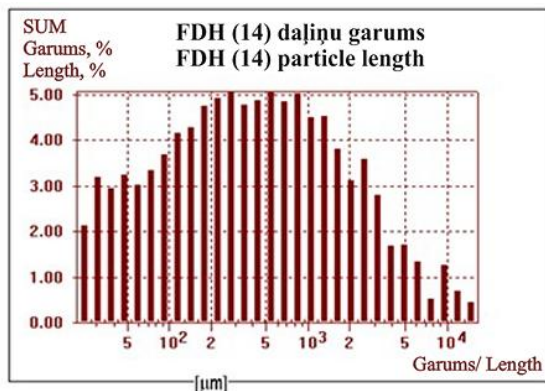


6.att. Frakciju masu sadalījums
Fig.6. Distribution of particle masses

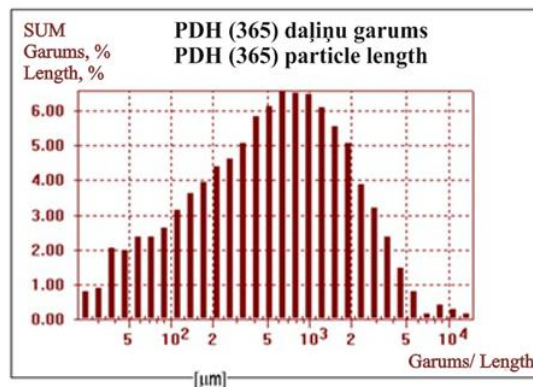
Lielākais īpatsvars ir frakcijām ar izmēru, kas pārsniedz 2000 μm , PDH materiālam tādas ir 37 % no kopējuma, bet PDH materiālam 43 %. Sajaucot divpadsmit mēnešus konservētu materiālu ar sausām kaņepēm, tiek iegūts 17 % mazāk lielo daļiņu un 60 % vairāk mazo daļiņu. FDH materiālam šo frakciju daudzums ir par 16 % lielāks salīdzinājumā ar PDH materiālu. Turpretim frakcija ar daļiņu izmēriem robežās no 500 līdz 1000 μm 12 mēnešus konservētajai komponentei (PDH) par 30 % pārsniedz attiecīgo 14 dienas konservētās komponentes (FDH) rādītāju. Putekļus ~12 % veido 0-90 μm un 90-160 μm izmēru frakcijas, kas negatīvi ietekmē plātnes stiepes robežstiprību plātnei perpendikulārā virzienā (8.att.).

Optimālu šķiedru komponentes sastāvu iegūst, ja sajauc divas nedēļas konservētu materiālu ar sausu šķiedru materiālu, jo tad lielo daļiņu ir vairāk.

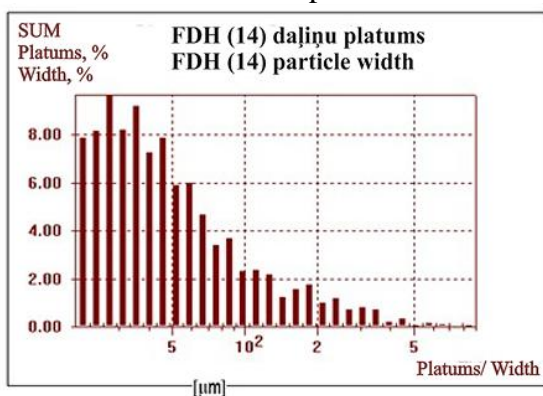
5.2.3. Daļiņu granulometriskā analīze



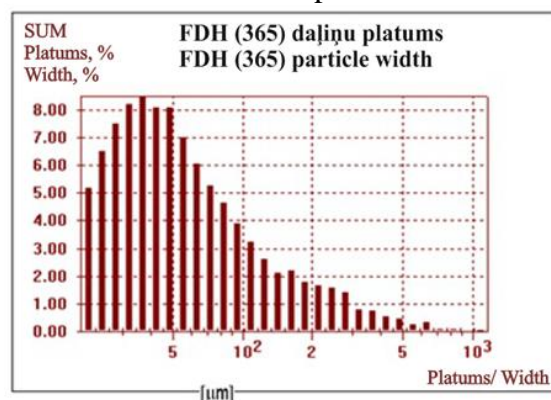
7.att. FDH materiāla daļiņu garumu sadalījums
Fig.7. Distribution of length of the FDH material particles



8.att. PDH materiāla daļiņu garumu sadalījums
Fig.8. Distribution of length of the PDH material particles



9.att. FDH materiāla daļiņu platumu sadalījums
Fig.9. Distribution of width of the FDH material particles



10.att. PDH materiāla daļiņu platumu sadalījums
Fig.10. Distribution of width of the PDH material particles

Ilgstošākā konservēšanas procesā daļiņu garuma sadalījums transformējas no multimodāla uz vienmodālu ar viegli izteiktu labo asimetriju, kas iespējams nodrošina vienmērīgāku daļiņu izkliedi plātnes veidošanas procesā. Arī daļiņu platumu sadalījums iegūst vairāk organizētu struktūru, garākā konservēšanas periodā kļūstot par vienmodālu ar izteiktu kreiso asimetriju. Tas nozīmē, ka lielākais īpatsvars ir mazāka biezuma daļiņām līdz 40 μm (10. att.). Kā redzams 2. tabulā, 50 % daļiņu garums 14 dienas konservētajā masā ir līdz 562 μm . Palielinot konservēšanas laiku līdz 12 mēnešiem, tas pieaug par 22 %, t.i. līdz 686 μm , savukārt platumu pieaug no 42 μm līdz 53 μm , t.i. par 25 %. Attiecīgi izmainās arī garuma attiecība pret daļiņu platumu, kas konservētai masai palielinās par 26 %.

2.tabula / Table 2

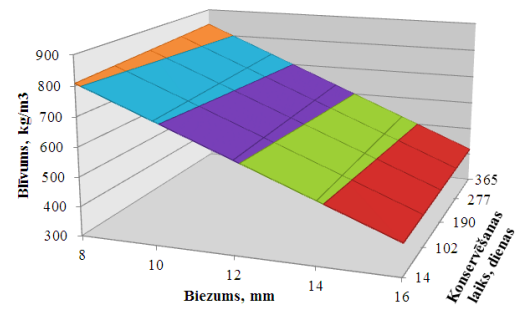
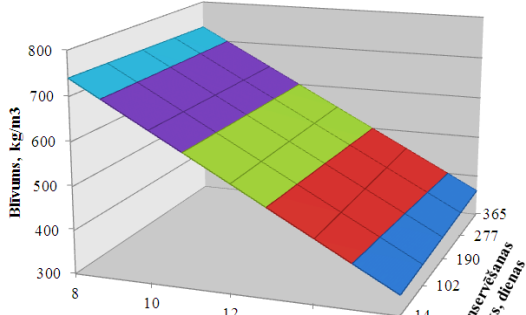
Šķiedru-spaļu maisījuma statistiskie raksturojumi
Statistical description of fiber – shives mix

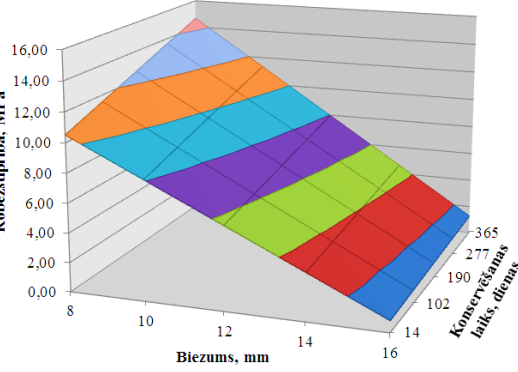
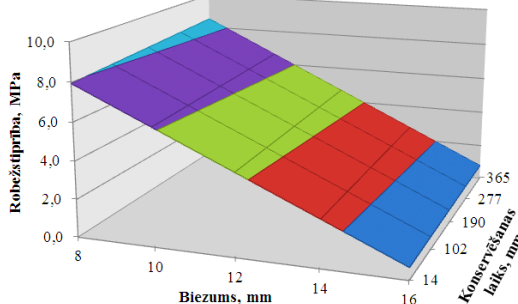
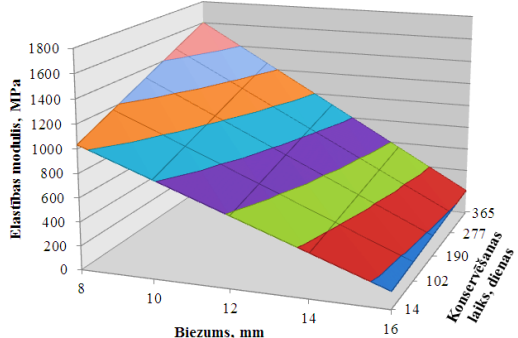
Šķiedru-spaļu materiāls Fiber – shives material	Garuma un platuma attiecība Aspect ratio	X ₅₀ - Garums, μm X ₅₀ - Length, μm	X ₅₀ - Platums, μm X ₅₀ - Width, μm
FDH	3,68	561,58	41,98
PDH	4,63	686,19	52,52

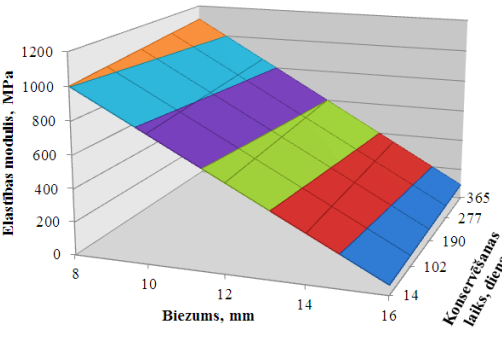
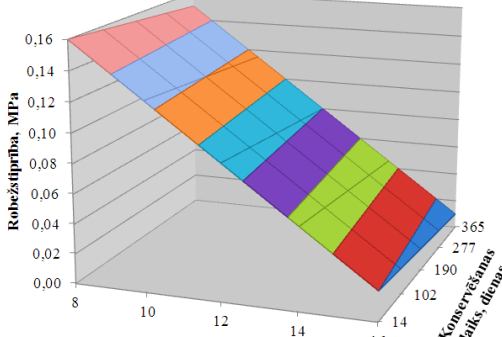
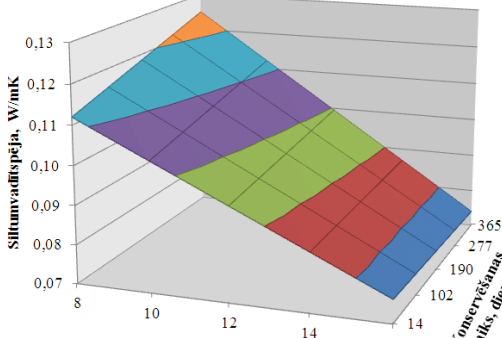
Pēc testēšanas procesā iegūtajām blīvuma, robežstiprības liecē, elastības moduļa liecē, robežstiprība stiepē perpendikulāri plaknei, siltumvadītspējas vērtībām aprēķināti matemātiskie modeļi nepilna otrās pakāpes polinoma veidā, kas adekvāti apraksta rezultātus atkarībā no plātnes biezuma un konservēšanas laika (3.tabula).

3.tabula / Table 3

Kaņepju šķiedru-spaļu maisījuma plātnes matemātiskie modeļi un to interpretācija
Mathematical models of boards of hemp fiber – shives mix and their interpretation

Nosaukums Name	Matemātiskais modelis Mathematical Model	Ģeometriskās interpretācijas virsma Geometrical Interpretation Area
PF līmes plātnes blīvums Density of the PF adhesive board	$Y_{L4} = 619,00 - 205,50 \cdot x_1 - 11,00 \cdot x_2 + 5,50 \cdot x_1 \cdot x_2$ kur: Y _{L4} - PF līmes plātnes blīvums, kg/m^3 ; x ₁ - plātnes biezums, mm ; x ₂ - konservēšanas laiks, dienas. were: Y _{L4} - density of the PF adhesive board, kg/m^3 ; x ₁ - board thickness, mm ; x ₂ - wet - preservation period, days	
UF līmes plātnes blīvums Density of the UF adhesive board	$Y_{L5} = 545,25 - 191,75 \cdot x_1 - 2,75 \cdot x_2 - 5,75 \cdot x_1 \cdot x_2$ kur: Y _{L5} - UF līmes plātnes blīvums, kg/m^3 ; x ₁ - plātnes biezums, mm ; x ₂ - konservēšanas laiks, dienas. were: Y _{L5} - density of the UF adhesive board, kg/m^3 ; x ₁ - board thickness, mm ; x ₂ - wet - preservation period, days	

Nosaukums Name	Matemātiskais modelis Mathematical Model	Ģeometriskās interpretācijas virsma Geometrical Interpretation Area
<p>Robežstiprība liecē PF līmes plātnēm</p> <p>Bending strength of the PF adhesive boards</p>	<p>$Y_{L6}=6,81-5,78*x_1-1,16*x_2+0,92*x_1*x_2$</p> <p>kur: Y_{L6}- robežstiprība liecē PF līmes plātnēm, <i>MPa</i>; x_1- plātnes biezums, <i>mm</i>; x_2- konservēšanas laiks, dienas.</p> <p>kur: Y_{L6}- bending strength of the PF adhesive boards, <i>MPa</i>; x_1- board thickness, <i>mm</i>; x_2- wet - preservation period, days</p>	
<p>Robežstiprība liecē UF līmes plātnēm</p> <p>Bending strength of the UF adhesive boards</p>	<p>$Y_{L7}=4,47-3,76*x_1-0,18*x_2+0,11*x_1*x_2$</p> <p>kur: Y_{L7}- robežstiprība liecē UF līmes plātnēm, <i>MPa</i>; x_1- plātnes biezums, <i>mm</i>; x_2- konservēšanas laiks, dienas.</p> <p>kur: Y_{L7}- bending strength of the UF adhesive boards, <i>MPa</i>; x_1- board thickness, <i>mm</i>; x_2- wet - preservation period, days.</p>	
<p>Lieces elastības modulis PF līmes plātnēm</p> <p>Modulus of bending elasticity of the PF adhesive boards</p>	<p>$Y_{L8}=748-570,27*x_1-159,07*x_2+125,63*x_1*x_2$</p> <p>kur: Y_{L8}- elastības modulis PF līmes plātnēm, <i>MPa</i>; x_1- plātnes biezums, <i>mm</i>; x_2- konservēšanas laiks, dienas.</p> <p>were: Y_{L8}- modulus of elasticity of the PF adhesive boards, <i>MPa</i>; x_1- board thickness, <i>mm</i>; x_2- wet - preservation period, days.</p>	

Nosaukums Name	Matemātiskais modelis Mathematical Model	Ģeometriskās interpretācijas virsma Geometrical Interpretation Area
<p>Lieces elastības modulis UF līmes plātnēm</p> <p>Modulus of bending elasticity of the UF adhesive boards</p>	<p>$Y_{L9} = 565,96 - 489,53 * x_1 - 34,37 * x_2 + 17,66 * x_1 * x_2$</p> <p>kur: Y_{L9}- elastības modulis UF līmes plātnēm, <i>MPa</i>; x_1- plātnes biezums, <i>mm</i>; x_2- konservēšanas laiks, dienas.</p> <p>were: Y_{L9}- modulus of elasticity of the UF adhesive boards, <i>MPa</i>; x_1- board thickness, <i>mm</i>; x_2- wet - preservation period, days.</p>	
<p>Robežstiprība stiepē perpendikulāri plaknei PF līmes plātnei</p> <p>Tensile strength perpendicular to the plane of the PF adhesive board</p>	<p>$Y_{L10} = 0,09 - 0,07 * x_1 + 0,01 * x_2$</p> <p>kur: Y_{L10}- robežstiprība stiepē perpendikulāri plaknei PF līmes plātnei, <i>MPa</i>; x_1- plātnes biezums, <i>mm</i>; x_2- konservēšanas laiks, dienas.</p> <p>were: Y_{L10}- tensile strength perpendicular to the plane of the PF adhesive board, <i>MPa</i>; x_1- board thickness, <i>mm</i>; x_2- wet - preservation period, days.</p>	
<p>Siltumvadītspēja</p> <p>Thermal conductivity</p>	<p>$Y_{L11} = 0,097 - 0,022 * x_1 - 0,003 * x_2 + 0,004 * x_1 * x_2$</p> <p>kur: Y_{L11}- siltumvadītspēja, <i>W/mK</i>; x_1- plātnes biezums, <i>mm</i>; x_2- konservēšanas laiks, dienas.</p> <p>were: Y_{L11}- thermal conductivity, <i>W/mK</i>; x_1- board thickness, <i>mm</i>; x_2- wet - preservation period, days.</p>	

5.2.4. Plātņu blīvuma un mehānisko īpašību salīdzinoša analīze

Salīdzinot vienādojuma Y_{L4} lineāro efektu koeficientus, redzams, ka plātnes biezums ir galvenais faktors, kas nosaka tās blīvumu. Tas loģiski seko no eksperimenta plāna, kurā pildvielas kvadrātmetra masa ir fiksēts faktors. Tādējādi, jo plānākā slānī viens un tas pats apjoms tiek sapresēts, jo augstāka tilpuma aizpildījuma pakāpe ar šķiedru spaļu maisījumu tiek sasniegta un jo lielāks ir iegūtās plātnes blīvums. Šķiedru spaļu konservācijas laika

ietekme uz plātnes blīvumu ir neliela (līmeņlīnijas šķēlumā praktiski paralēlas); tikai pie liela tilpuma aizpildījuma konservācijas laika palielinājums pievieno nelielu plātnes blīvuma pieaugumu, par ko liecina atbalss virsma (3.tab.).

No vienādojuma Y_{L5} un to interpretējošās virsmas redzams, ka lietotā līme kopumā maz maina plātnes blīvumu raksturu, mainoties tās biezuma un pildvielas konservācijas laikam. Palielinot plātnes biezumu divas reizes (no 8 mm uz 16 mm), praktiski divas reizes samazinās tās blīvums. Attiecībā uz līmes ietekmi, nepārprotami PF līmes lietojums palielina plātnes blīvumu par 12 % 8 mm plātnei, par 17 % 16 mm plātnei.

Plātņu paraugu variantiem, kas izgatavoti atbilstoši pilna faktoru eksperimenta darba matricai, iegūtās vērtības plātnēm attēlotas 4. tabulā. Augstākais blīvums tiek iegūts 8 mm plātnēm, kas ir robežās no 734- 841 kg/m^3 . 16mm plātes ir ar irdenāku struktūru un zemāku blīvumu, kas ir robežās no 345- 419 kg/m^3 .

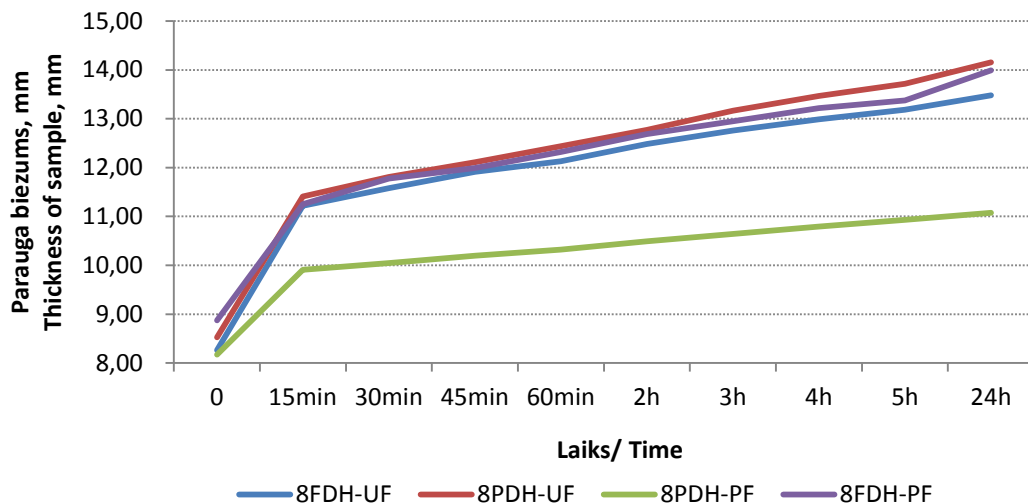
4.tabula / Table 4

Plātņu blīvumi / Densities of Boards

Parauga apzīmējums Abbreviations of sample	Parauga biezums/ Thicknes of sample, mm	Kaņepju konservācijas laiks, dienas/ Hemp wet-preservation period, days	Līme/ Adhesive	Blīvums/ Density, kg/m^3	± kg/m^3
16PDH-UF	16	365	UF	362	4,99
16FDH-UF	16	14	UF	345	6,45
8PDH-UF	8	365	UF	734	16,25
8FDH-UF	8	14	UF	740	37,15
16PDH-PF	16	365	PF	419	9,23
16FDH-PF	16	14	PF	408	20,24
8PDH-PF	8	365	PF	841	18,44
8FDH-PF	8	14	PF	808	26,62

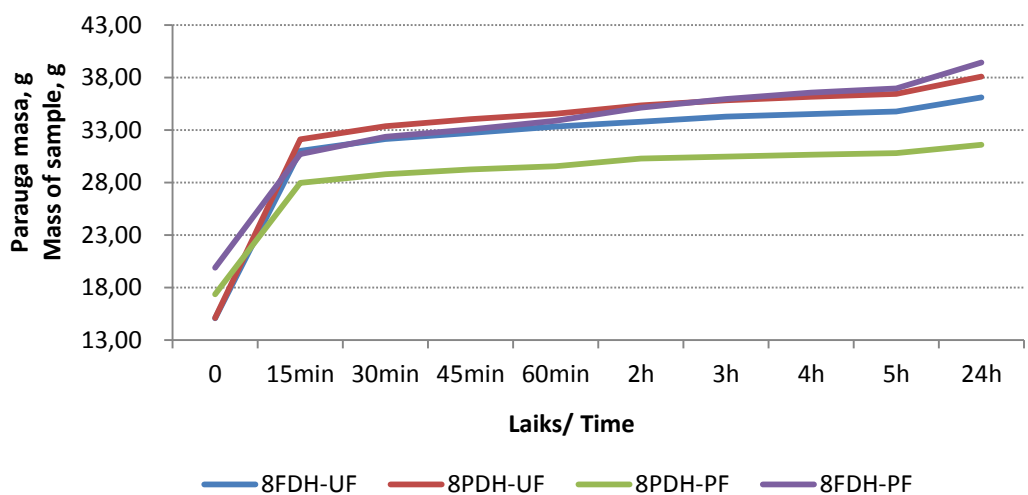
5.2.5. Plātņu paraugu uzbriešana un ūdens uzsūcamība

Biezuma izmaiņas plātnes paraugiem no konservētām kaņepēm ar PF līmi ir vidēji par 16 % mazākas nekā pārējiem paraugiem (11.att.). Tas skaidrojams ar to, ka PDH variantā no kaņepju šķiedru spaļu maisījuma ilgstošākā rūgšanas procesā pienskābju ietekmē izdalās mitrums. To sajaucot ar PF līmi, konservācijas efekts nodrošina labāku noturību pret mitruma ietekmi, ko vēl pastiprina PF līme. Ilgstošākas konservācijas efekts plātnēs ar UF līmi izpaužas vāji- FDH-UF vidēji ir par 3 % mazāka ūdens absorbcija nekā PDH-UF. Visstraujākās paraugu biezuma izmaiņas ir vērojamas pirmajās 15 minūtēs.



11.att. Parauga biezuma izmaiņas mitruma ietekmē
Fig.11. Changes of thickness of a sample under the influence of moisture

12. attēla grafikā parādīto paraugu masas izmaiņu raksturs līdzīgs paraugu biezuma izmaiņām ūdens ietekmē. Arī masas izmaiņas ir mazākas paraugiem no konservētas kaņepju masas, kas sastiprināta ar PF līmi: PDH-PF masa ir testa gaitā vidēji par 14 % mazāka nekā paraugiem no 14 dienas konservētas masas (FDH-PF). UF līmes paraugu (FDH-UF un PDH-UF) masas starpība nepārsniedz 4 %, kas ir kļūdas robežās un tādējādi atšķirības uzskatāmas par nenozīmīgām.



12.att. Parauga masas izmaiņas mitruma ietekmē
Fig.12. Mass changes of the sample impacted by moisture

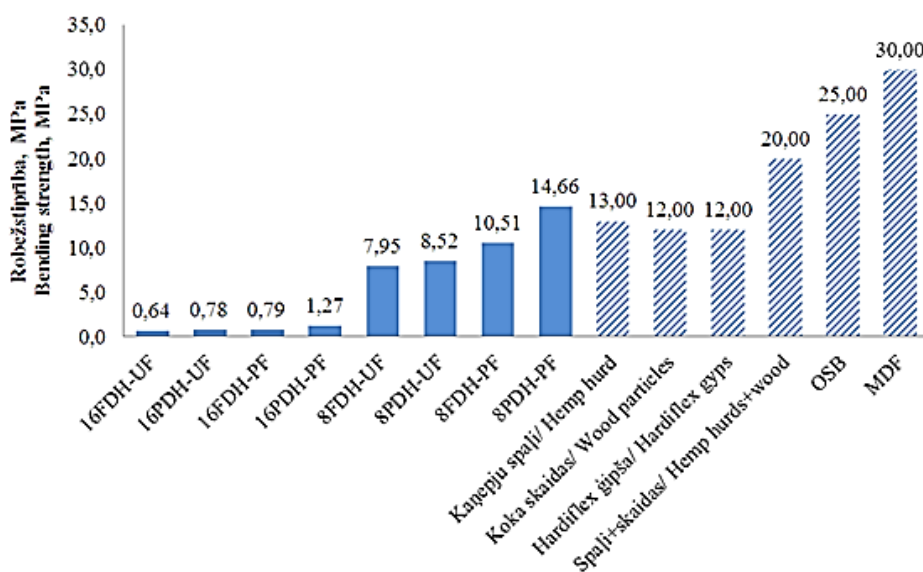
5.2.6. Robežstiprība liecē un lieces elastības modulis

Pārbaudēs izmatotas 8mm plātnes ar blīvumu $740 - 790 \text{ kg/m}^3$ un 16 mm plātnes ar blīvumu $360 - 419 \text{ kg/m}^3$. Vienādojuma lineāro locekļu koeficienti ir vienas kārtas skaitļi, kas

liecina, ka gan palielinoties plātnes biezumam, gan konservācijas laikam lieces pretestība samazinās (uz to norāda negatīvas koeficientu zīmes pie x_1 un x_2). Tā kā arī mijiedarbības efekta koeficients ir nozīmīgs, atbilstošās atbalss virsmas novietojums koordinātu telpā un tās konfigurācija ir samērā sarežģīta.

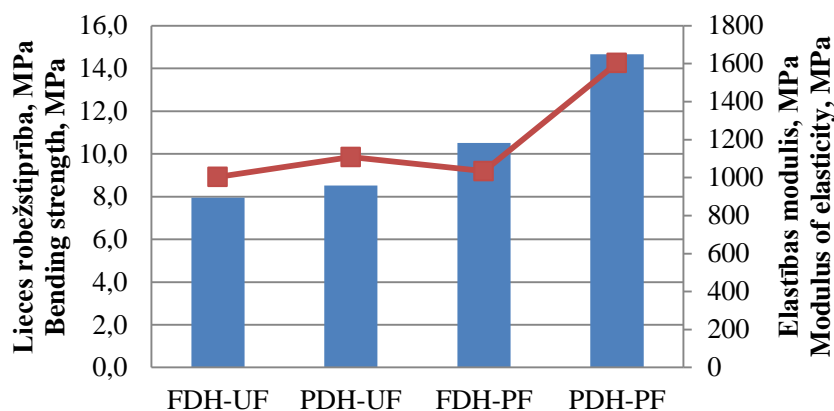
PF līmes plātņu paraugiem konservācijas laiks vairāk ietekmē blīvāko paraugu pretestību liecei, turpretim maza blīvuma paraugu lieces stiprību šķiedru bāzes komponentu konservācijas laika izmaiņas eksperimenta robežās ietekmē stipri mazāk absolūtā izteiksmē, ko skaidri attēlo Y_{L6} vienādojums un ģeometriskās interpretācijas virsma. Palielinoties konservēšanas laikam no 14 līdz 365 dienām, 8 mm biežai plātnei robežstiprība liecē palielinās no 10,51 līdz 14,66 MPa, tas ir palielinās par 39 %. Attiecīgi 16mm plātnei robežstiprība liecē palielinās no 0,79 uz 1,27 MPa, tas ir par 61 %, kaut gan absolūtais stiprības palielinājums 0,48 MPa ir gandrīz par kārtu mazāks. Tādējādi, projektējot augsta blīvuma plātnes lieces pretestības paaugstināšanai, vēlams izvēlēties ilgstoši konservētu šķiedru un spaļu maisījumu.

No Y_{L7} vienādojuma un ģeometriskās interpretācijas virsmas redzams (3.tab.), ka, mainoties konservēšanas laikam no 14 uz 365 dienām, 8mm biezas plātnes robežstiprība samazinās no 8,52 līdz 7,95 MPa, tas ir par 7 %. 16 mm biežai plātnei robežstiprība attiecīgi samazinās no 0,78 līdz 0,64 MPa, tas ir par 18 %. Eksperimenta robežās, mainoties biežumam robežās no 8 mm līdz 16 mm, plātņu paraugu lieces izturība pieaug no 0,78 līdz 8,52 MPa. No teiktā secinām, ka 8mm biezas ar 365 dienas konservētu komponenti sastāvā UF līmes plātnes lieces pretestība ir labākā šī eksperimenta robežās. Kopumā ņemot, robežstiprība liecē ir par 33% mazāka materiālam ar UF līmi nekā ar PF līmi (- 41 % PDH (365), -24 % FDH (14)).



13.att. Salīdzinoša eksperimentālo kaņepju un citu plātņu robežstiprība liecē
Fig.13. Comparison of experimental hemp and other board bending strength

Salīdzinot eksperimentālo plātņu robežstiprību liecē ar virkni tradicionālu plātņu materiālu attiecīgajām īpašībām (13.att.) redzams, ka PF līmes plātņu paraugu lieces pretestība pārsniedz kokskaidu un hardilfex ģipša plātņu robežstiprību liecē 1,22 reizes, koka skaidu plātnes attiecīgo rādītāju 1,13 reizes. Salīdzinot ar citiem literatūrā sastopamiem pētījumu rezultātiem, kaņepju šķiedru plātnes ar blīvumu 880 kg/m^3 robežstiprība liecē ir robežās no $7,8 \text{ MPa} - 20,8 \text{ MPa}$.



14.att. 8 mm biezu UF un PF līmes plātņu robežstiprība liecē un elastības moduļi
Fig.14. Bending strength of the 8 mm thick UF and PF boards and modulus of elasticity

14. attēlā redzams, ka gan lieces robežstiprība, gan modulis ir augstāks paraugiem ar 365 dienas konservētu pildvielas komponenti un PF līmes sasaisti. 14 dienas konservēta pildviela ievērojami samazina gan lieces robežstiprību, gan moduli. UF līmes paraugu lieces stiprība ir zemāka nekā PF līmes paraugiem, savukārt moduļa vērtības paraugiem ar 14 dienas konservētām pildvielām ir līdzvērtīgas abu saistvielu paraugiem.

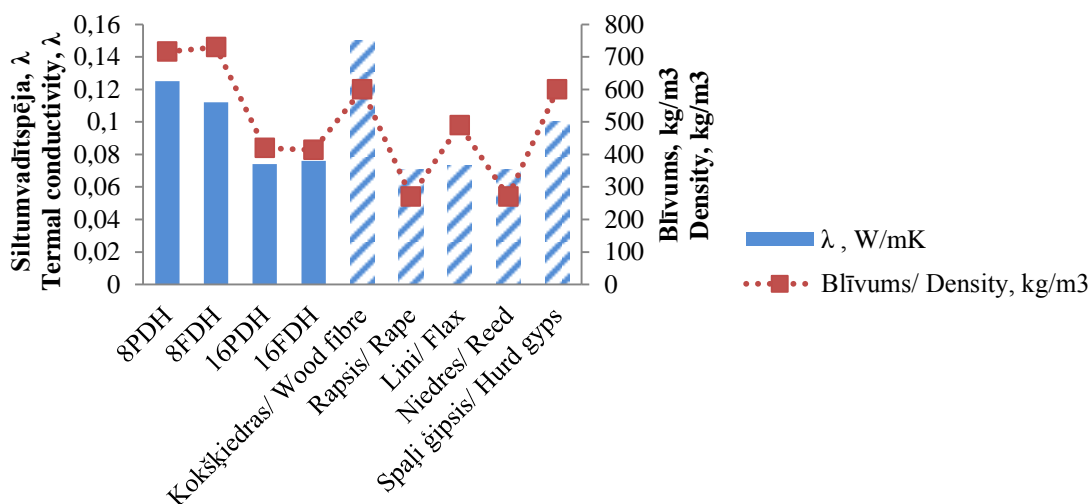
5.2.7. Stiepes stiprības noteikšana perpendikulāri plātnes plaknei

Atbilstoši matemātiskajam modelim Y_{L10} un atbalss virsmai (3.tab) redzams, ka mainoties parauga biezumam no 16 mm līdz 8 mm, strauji palielinās pretestība parauga sagraušanai perpendikulāri plaknei. Palielinoties konservācijas laikam no 14 līdz 365 dienām, 8 mm biezas plātnes apskatāmā robežstiprība nedaudz samazinās no 0,15 līdz 0,14 MPa, tas ir par 7 %. Palielinoties materiāla biezumam no 8 mm līdz 16 mm, robežstiprība perpendikulāri plaknei samazinās no 0,15 līdz 0,01 MPa, tas ir 15 reizes, ja pildvielas konservācijas laiks ir 14 dienas un no 0,14 līdz 0,01 MPa, tas ir 13 reizes, ja pildviela pakļauta 365 dienu konservācijai.

5.2.8. Siltumvadītspēja

Kā redzams 3. tabulā (Y_{L11} vienādojums un atbalss virsma), plātņu paraugu siltumvadītspēja mainās robežās no 0,074 līdz 0,125 W/mK . Mazākā siltumvadītspēja ir 16mm paraugiem ar kaņepju komponentu konservācijas laiku 278-365 dienas. Siltumvadītspējas robežās 0,08-0,09 W/mK var nodrošināt 14-16 mm biezi paraugi arī ar īsu konservācijas laiku.

Palielinoties konservēšanas laikam, 8mm biežai plātnei siltumvadītspējas koeficients palielinās robežās no $\lambda=0,112$ līdz $\lambda=0,125$ W/mK , tas ir par 12 %. 16mm plātnei siltumvadītspējas koeficients samazinās robežās no $\lambda=0,076$ līdz $\lambda=0,074$ W/mK , tas ir par 3%. Samazinoties biežumam, siltumvadītspējas koeficients palielinās no $\lambda=0,076$ līdz $\lambda=0,112$ W/mK , ja pildviela atradusies konservācijas režīmā 14 dienas un no $\lambda=0,074$ līdz $\lambda=0,125$ W/mK , ja pildviela atradusies konservācijas režīmā 365 dienas



15.att. Eksperimentālo un references plātņu siltumvadītspēja
Fig.15. Thermal conductivity of experimental and reference boards

Salīdzinājumā ar kokšķiedru plātņi, gan 16 mm eksperimentālajai plātnei ar 14 dienas konservētu pildvielu, gan plātnei ar 365 dienas ilgu pildvielas konservāciju siltumvadītspēja un blīvums ir krietni zemāks (15.att.), savukārt to siltumvadītspēja ir salīdzināma ar rapša, linu un niedru plātņu attiecīgiem radītājiem; tai pašā laikā rapša un niedru pildījuma plātņu blīvums ir mazāks, bet linu pildījuma plātnei tas ir augstāks nekā iepriekš minēto eksperimentālo 16mm biezo plātņu blīvumi. Arī 8 mm biezo plātņu siltumvadītspējas koeficienti ir zemāki nekā kokšķiedru plātnei, tomēr to blīvumi vērā ņemami pārsniedz kokšķiedras plātņu blīvumu.

5.2.9. Kaņepāju maisījuma plātnes orientējošs ekonomiskais novērtējums

Balstoties uz ATB eksperimentālās līnijas orientējošu izmaksu sadalījumu, 5. tabulā parādīts izmaksu sadalījums pa izmaksu posteņiem attiecināts uz vienu plātnes kvadrātmetru.

5.tabula / Table 5

Kaņepāju plātnes izmaksas, ja tās izgatavotas uz eksperimentālas iekārtas
Hemp board costs, if the board is produced on experiemental line

Izmaksu postenis/ Cost position	Ieguldījums kopējās izmaksās/ Contribution to the total cost, %	<i>Ls/m²</i>
<u>Mainīgās izmaksas/ Variable costs</u>		
Kapitāla izmaksas/ Capital costs	5,6%	0,19
Iekārtu darbināšanas izmaksas/ Production line maintenance costs	4,6%	0,15
Saistviela/ Adhesive	4,6%	0,15
Citas ķīmikālijas/ Other chemicals	3,5%	0,12
Izejmateriāli/ Raw materials	8,2%	0,27
Enerģija/ Energy	23,9%	0,80
Darbspēka izmaksas/ Labor costs	49,2%	1,65
Atkritumu apsaimniekošana/ Waste disposal	0,4%	0,01

100,0% 3,35

		Fiksētās izmaksas darbinot iekārtu vienā maiņā/ Fixed costs operating the equipment in one shift (<i>Ls/m²</i>)
	0,79	
Plātņu izgatavošanas izmaksa/ Board manufacturing cost	4,14	<i>Ls/m²</i>
		Fiksētās izmaksas, 2 maiņās/ Fixed costs in 2 shift (<i>Ls/m²</i>)
	0,40	
Plātņu izgatavošanas izmaksa/ Board manufacturing costs	3,74	<i>Ls/m²</i>
		Fiksētās izmaksas, 3 maiņās/ Fixed costs in 3 shift (<i>Ls/m²</i>)
	0,20	
Plātņu izgatavošanas izmaksa/ Board manufacturing cost	3,54	<i>Ls/m²</i>

Ņemot par pamatu fiksētās un mainīgās izmaksas, kas aprēķinātas ATB izstrādātajai eksperimentālajai tehnoloģiskajai līnijai, orientējošās plātnes ražošanas izmaksas ir $3,54 \text{ Ls/m}^2$, kas tuvojas tirgū jau pieejamu līdzīgu plātņu cenai. Mainīgās izmaksas plātņu izgatavošanai sastāda $3,35 \text{ Ls/m}^2$, bet fiksētas izmaksas, izgatavojot plātnes trīs maiņās sastāda $0,20 \text{ Ls/m}^2$.

Autors prognozē, ja plātnes ražotu masveidā, plātnes cena samazinātos vismaz par 15 – 20 %. Ņemot vērā, ka aprēķini veikti balstoties uz eksperimentālām iekārtām, kuru darbināšanai bez operatora nepieciešams piesaistīt vairākus speciālistus līnijas regulēšanai uz noteiktu sortimentu, pārejot no eksperimentālām iekārtām uz rūpnieciski ražotām modernām lieljaudas iekārtām, iespējams samazināt darbaspēka izmaksas. Ļoti iespējams, ka samazināsies arī enerģijas izmaksas, jo rūpnieciskās iekārtas projektē energoefektīvākas.

Kaņepju augu plātnes izmaksas ir augstākas par koksnes bāzes plātņu cenām. Cenu starpība būtu skaidrojama ar to, ka kaņepju augu plātņu izgatavošanai tiek izmantota eksperimentālā iekārta un lielāks apkalpojošais personāls, līnijas jauda ir zema. Tai pašā laikā kaņepju – šķiedru maisījuma plātņu izejmateriāla cena ir $17,15 \text{ Ls/m}^3$; tā ir par 14% zemāka nekā koksnes skaidu cena, kas ir 20 Ls/m^3 .

5.2.10. Kaņepāju maisījuma plātnes ekoloģiskais novērtējums

Šķiedru kaņepes kā izejmateriāls kompozītu un plātņu ražošanā risina praktiski visas ekoloģiskās problēmas, kas apdraud cilvēces nākotni, kā arī ir augstražīga, mazprasīga, augu rotācijai labvēlīga lauksaimniecības kultūra. Prototipu estētiskās un mehāniskā īpašības iespējams uzlabot laminējot, pārklājot ar tekstilijām, piemēram, dažādu faktūru linu/kaņepju audumiem. Lai iegūtu pilnībā ekoloģisku plātņu materiālu, sintētiskās līmes būtu jāaizvieto ar dabas produktiem, piemēram, kaņepju frakcijās esošo lignīnu, cieti utml.

5.2.11. Kaņepāju maisījuma plātnes paredzamais lietojums

Darbā izstrādātie plātņu tipi varētu gūt visai plašu lietojumu gan interjera dizainā, gan būvniecībā. Kā 8mm, tā 16mm biežās plātnes iespējams izmantot kā pildīņus rāmja pildīņa konstrukcijās- mēbeļu fasādēs, darbavietu atdalošās starpsienās. Aplīmētas plātnes iespējams izmantot kā dekoratīvus sienu un griestu paneļus, kā arī galda virsmās, ja zem tām tiek likts pabiezinājums, piemēram, kā SIA „KATE” Logo sērijā. Materiāla iespējas paplašina tā labās finierēšanas un laminēšanas iespējas. 16mm biežais plātņu materiāls, pateicoties savai irdenajai struktūrai, ir labs siltuma un skaņas izolācijas materiāls. To iespējams izmantot arī kā pildījumu kārtainās tehnoloģijas plātnēs.

Augstākā robežstiprība liecē ir 8PDH-PF plātņu paraugiem. Tos finierējot ar 0,7 mm oša koksnes drāzto finieri no abām pusēm un saistot finierējumu ar plātņi ar 120 g/m² polivinilacetāta D3 (PVA) līmi, plātnes robežstiprība liecē palielinās par 52%, sasniedzot vidējo vērtību 30,7 MPa (6.tab.), kas ir pietiekami, lai plātņi izmantotu kā konstrukciju materiālu, tā kā ar standartu EN 622 noteiktā robežstiprība ir 25 MPa. Materiālu var izmantot tādās slodzi nesošās konstrukcijās kā mēbeļu korpusos, galda virsmās, plauktu sistēmās.

6.tabula / Table 6

Kaņepju šķiedru-spaļu maisījuma plātnes matemātiskie modeļi un to interpretācija
Hemp fiber-shive mixture boards' mathematical models and interpretations

Parauga apzīmējums Abbreviations of sample	Robežstiprība liecē/ Bending strength, MPa	Ticamības intervāls robežstiprībai liecē/ Credibility interval of bending strength, MPa	Elastības modulis/ Modulus of bending elasticity, MPa	Ticamības intervāls elastības moduļim/ Credibility interval of modulus of elasticity, MPa	Cietība pēc Brineļa metodes/ Hardness according to the Brinell method, MPa	Cietība pēc Šora metodes/ Hardness according to the Shore method, MPa
8PDHV-PF	30,70	30,7 ± 3,31	3155,5	3155,5± 407,00	70,44	56,18

SECINĀJUMI

1. Konservētu sasmalcinātu kaņepju lietojums plātņu izgatavošanai ļauj pilnībā izmantot visu stiebru, tai skaitā arī lapas un sēklas. Tas padara izejmateriāla iegūšanu neatkarīgu no laika apstākļiem, materiālu kompakti uzglabājamu, samazina tā īpašību mainību, ievērojami saīsina pārstrādes ciklus, samazina to energoietilpību un vienkāršo tehnoloģiskos procesus, bet reizē arī rada nepieciešamību izstrādāt jauna tipa produktus, testēt to īpašības, noteikt lietojumu jomas.
2. Laminētu polipropilēna matricas kompozītu armēšanai lietotās garās tehniskās kaņepju šķirnes “Bialobrzeskie” šķiedras, kas apstrādātas nātrija sārma šķīdumā, variējot to apjomu no 50 % līdz 70 % un presēšanas temperatūru no 170 līdz 190 °C, ļauj iegūt kompozītus ar mitruma absorbciju robežās no 2,8 % līdz 5 %, robežizturību stiepē robežās no 21 līdz 66 MPa un Junga moduli robežās no 1960 līdz 3800 MPa; tas paver iespējas veidot slodzi nesošas konstrukcijas, kas kalpošanas laikam beidzoties ir biodegradējamas.
3. Tradicionālā kaņepju pārstrāde ir darbietilpīga, atkarīga no klimatiskajiem apstākļiem un pārstrādes procesos rodas liels procents atgāju ar ierobežotu lietojumu. Tādēļ aktuāli ir risinājumu meklējumi, kā pilnvērtīgāk izmantot izaudzētos resursus, saīsināt tehnoloģiskos procesus, nodrošināt izejvielu plūsmu ar stabilām tehnoloģiskajām īpašībām, veidot jaunus gala produktus, uzlabot to īpašības. Līdz ar to tiek samazinātas izmaksas, kā arī apstrādes un likvidācijas procesos minimizēts kaitējums dabai.
4. Balstoties uz aprēķinos noteiktās kaņepju šķirnes ‘Santhica 27’ sausās un konservētās komponentu masu attiecības 1:2,2 uz Leibnica Lauksaimniecības tehnikas pētnieciskajā institūtā (Potsdamā) izstrādātās un 28 valstīs patentētās eksperimentālās tehnoloģiskās līnijas, izveidots flīsa klājums ar virsmas blīvumu 6,7 kg/m², kas pēc piegriešanas 1200 × 800 × 100mm izmēra platēs pakļauts 7 etapu presēšanai 180 °C temperatūrā zem spiediena 10⁷ Pa, izveidojot četras 8 mm biezu un četras 16 mm biezu plātņu paraugu sērijas ar divu tipu saistvielām: fenolformaldehīda sveķiem (PF) vai karbamīd-formaldehīda sveķiem (UF).
5. PF saistvielas paraugu fizikālās un mehāniskās īpašības, mainoties izejvielas konservācijas laikam no 14 līdz 365 dienām un paraugu biezumam no 8 līdz 16 mm, atrodas intervālos:
 - 8 mm paraugam biezuma izmaiņas mitruma ietekmē ir 2 mm (mitrumā 24 h), ja konservācijas laiks ir 365 dienas;
 - blīvums 8 mm paraugiem vidēji 820 kg/m³, bet 16 mm paraugiem ~ 412 kg/m³
 - 8 mm paraugam robežstiprība liecē ir 14,66 MPa un elastības modulis statiskajā liecē 1603 MPa, ja konservācijas laiks ir 365 dienas;

- 16 mm biežam paraugam siltumvadāmības koeficients $\lambda = 0,074 \text{ W/mK}$, ja konservācijas laiks 365 dienas.
6. UF saistvielas paraugu fizikālās un mehāniskās īpašības, mainoties izejvielas konservācijas laikam no 14 līdz 365 dienām un paraugu biezumam no 8 līdz 16 mm, atrodas intervālos:
- 8 mm paraugiem biežuma izmaiņas mitruma ietekmē ir 5,3 mm (mitrumā 24 h), ja konservācijas laiks ir 14 dienas;
 - blīvums 8 mm paraugiem vidēji 737 kg/m^3 , bet 16mm paraugiem vidēji 355 kg/m^3 ;
 - 8 mm paraugam robežstiprība liecē ir 8,52 MPa un elastības modulis statiskajā liecē ir 1107,6 MPa, ja konservācijas laiks 365 dienas.
7. PF saistvielas 8 mm biezas plātnes no 365 dienas konservētām kaņepju izejvielām ir ar lielāku blīvumu un augstākiem lieces izturības rādītājiem, bet arī lielāku siltumvadītspēju, kas tuvojas koksnes vidējam rādītājam. Materiāls labi padodas aplīmēšanai. Virsmas papildapstrādē iegūtās plātnes lietojamas visai plaši interjera apdarēs, rāmja pildīņa konstrukcijās, mēbeļu fasādēs, darba vietas atdalošās konstrukcijās.
8. PF un UF saistvielas 16 mm biezas plātnes ar mazāku kaņepju masas aizpildījumu ir ievērojami vieglākas, ar samērā zemu siltumvadāmību un lietojamas kā skaņas un siltumizolācijas materiāli, vidējie slāņi daudzslāņu paketēs, ja nepieciešams palielināt skaņas un siltumizolācijas īpašības. Aplīmējot 8PDH-PF plātņi ar 0,7 mm drāzto finieri, plātnes robežstiprība liecē sasniedz 30,7 MPa, kas ir pietiekami, lai plātņi izmantotu kā konstrukciju materiālu, tā kā ar standartu EN 622 noteiktā robežstiprība ir 25 MPa tādās slodzi nesošās konstrukcijās kā mēbeļu korpusos, galda virsmās, plauktu sistēmās.
9. Promocijas darbā veikts pētījums, kurā pamatojoties uz 135 literatūras avotu apskatu un dziļu praktisku un teorētisku analīzi pirmo reizi izgatavots kaņepju šķiedru - spaļu maisījuma plātne (patenta pieteikums P-12-196), kur izejmateriāls fermentizēts 14 dienas un mitruma izlīdzināšanai izmantots sauss kaņepju augs. Iegūtās plātnes pirmo reizi finierētas un pārbaudītas to fizikālās un mehāniskās īpašības. Izgatavots kompozīta materiāls, kurā kā armējums izmantotas kaņepju garās šķiedras un kā matrica polipropilēns šķiedru formā. Variējot ar šķiedru orientāciju slāņos, iegūstams lamināta struktūras materiāls, kas būtu labi izmantojams kā kompozītmateriāls slodzi nesošās konstrukcijās.
10. Uz eksperimentālās iekārtas izgatavotas plātnes orientējošas izmaksas sastāda $3,54 \text{ Ls/m}^2$, bet, ja plātnes ražotu masveidā, plātnes izmaksas samazinātos vismaz par 15 – 20%.
11. Iespēja uzlabot kaņepju šķiedru spaļu maisījuma plātnes struktūru:
- maisījumam pievienojot koksnes šķiedras;
 - variēt smalcināšanas maisījuma parametrus;

- variējot frakciju izmērus un saistvielas daudzumu kamerās, veidojot vairākslāņu struktūru;
- variēt mitruma saturu ar mērķi atrast optimālo;
- optimizēt presēšanas parametrus (temperatūra, spiediens, presēšanas režīmi);
- precizēt, pēc cik ilga konservācijas laika stabilizējas daļiņu izmēru sadalījums;
- pirms presēšanas savienot divus flīsa klājumus, nodrošinot simetriskus ārējos slāņus.

1. GENERAL DESCRIPTION OF THESIS

Despite of constantly the increasing number of researches and offerings of new products, including those in the field of boards, there are still many unsolved or partly solved issues created by integration of non-traditional natural materials in boards, including the necessity to provide a steady flow of raw materials with stable physical and mechanical properties throughout a year, to shorten the technological processes, providing the corresponding properties of an end product for its use, to minimize the energy consumption, to substitute the completely or partly non-renewable resources to be cultivated for a long period of time with some fast growing and productive resources.

Nowadays one of the most studied and demanded renewable resources of various industry sectors are the fiber-based lignocellulose composite materials that are produced globally in the quantity of ~ 4 billion tons per year, where of approximately 40 % of them are provided by agricultural plants, and 60 % by forests. At the same time wood areas keep shrinking, in some isolated parts of the world, their reduction already exceeds 80 %. Nevertheless, along with the constantly increasing demand for board materials, the consumption of timber grows. In order to reduce the load on ecosystems and to meet the growing demand for the environmentally friendly products at the same time, the attention of scientists and theoreticians is focused on development of new materials, including such annually renewable raw materials of flora as hemp, flax, sugarcane, cereal straw, etc. or their processing residues in their composition as components.

In this aspect, hemp is a very promising, economically perspective cultivated plant, which permits producing high harvests of hemp stems in the Latvian soil and climatic conditions too and it is also a regenerating plant to the environment. In order to deal with the issues of reintroduction of hemp, it requires a range of complex solutions, including development of growths and agro technical complexes suitable for our climatic conditions, development of procedures and technologies for harvesting and first time treatment, permitting use of all parts of plants completely in the economically justified way, provision of the raw material flow with suitable, stable properties for further processing, development of new publicly needed end products, technologies of their production and use.

One of the possibilities to reduce the risk factors and to stabilize the properties of raw materials of the flora is subjecting them to the wet - preservation processes, something that has been practiced successfully in the food and live-stock farming sectors. Wet - preservation of the raw materials to be processed industrially is a new direction, its development and development of the suitable technological equipment has been started at the Leibniz Institute

of Agricultural Engineering (ATB) in Potsdam at the end of the ninetieth in the researches conducted by Tomas Hoffman, Ralf Pecenka, Christine Idler, Hans-Jörg Gusovius and Ljubomir Radosaljevic. Between 1997 and 2005 much work has been done in development of preparing and wet - preservation technologies of the hemp plants in the airless environment, as well as some experiments conducted with various binding agents, integration of the wood chips components for improvement of mechanical properties of board materials, including some attempts to create some polypropylene binder boards and composites. As a result of the conducted researches, the institute has developed a technology for harvesting and wet - preservation of hemp, conducted several experiments on reduction of smells originating during the process of fermentation, developed and produced a unique, experimental technological line for processing of wet - preserved hemp, at the present moment it is in the process of testing. It has also studied the impact of parameters of technological equipment of processing operations on the properties of fleece and board samples. During the previous researches some 10 mm thick samples of boards with the maximum density of 1140 kg/m^3 were obtained, containing the components of some wet - preserved hemp and pine wood fibre in the ratio of 6:4, experimenting with such binders as powdered and dissolved starch, cellulose, marcs of rape, PLA (polyactic acid) solution, glucose, phenol-formaldehyde (PF) adhesive, what enabled performing of the comparative bending resistance analysis, as well as to assess the effects of the binding agent. Samples with the highest bending resistance of 48 MPa were obtained with the PF binder. Up to now there has been a relatively small attention paid to development of prototypes of the board materials and heat insulation boards made of 100 % hemp fleece and studies of their spectrum of properties in the papers of previously mentioned authors.

1.1. Topicality of theme

Despite the fact that so much has already been done, there are still some extensive researches needed both to establish the nature of changes in the wet - preservation process of hemp, and to develop some new materials and assess the spectrum of their properties, studying possibilities of their improvement, as well as to gather information about the potential fields of application are still topical.

1.2. Tasks and objectives of doctoral thesis

To develop some innovative prototypes of board materials, integrating the hemp components obtained using the shortened technologies for processing of hemp stems into the fiber – shives mix in their composition.

To develop some innovative prototypes of composite materials, fully or partly substituting the energy – intensive components with renewable, biologically degradable raw materials.

The following tasks were set to achieve the objective:

- To create an overview on preparation technologies for integration of hemp components in the board materials and biopolymer structures on the basis of the published and unpublished information analysis;
- To perform the granulometric analysis of the raw materials obtained as a result of the shortened hemp processing and to study the possibilities of their use in the board materials;
- To develop solutions for compositions of composite and board materials, to determine their technological parameters and testing methods;
- To develop samples, to prepare them for testing according to the standards/methodologies;
- To perform testing of samples, to perform mathematical processing and interpretation of the obtained results;
- To perform the analysis of physical and mechanical properties of the comparative variants;

To establish the potential sectors of use of the offered materials, to define recommendations.

1.3. Scientific novelty of doctoral thesis

- there is created a new medium-density and low-density board material type that can be classified as a general-purpose board material, but if the material is veneered it can reach the properties of a structural material; as raw materials are used hemp straws chopped on a field, then they are wet - preserved and for moisture equalize there are added in a summer time harvested, on a field dried, chopped dry hemp stalks and phenol-formaldehyde (PF) and urea-formaldehyde (UF);
- there is done comparative analysis of a hemp fiber-shives mixture board properties. The resulting mathematical models and their geometric interpretations allow to predict the effect of wet - preservation time, extrusion intensity and adhesive type on the physical and mechanical properties on the board material;
- There is created a new fiber-polypropylene matrix composite type, and as reinforcement there are used long technical hemp fibers that are prepared for

incorporation in composite after its first-time processing (retting, decorticating, coarse scutching);

- There has been done comparative analysis of fiber composite properties, there are obtained mathematical models and their geometrical interpretation that allow to predict the effect of fiber content and pressing temperature on composite's physical and mechanical properties.

1.4. Practical importance of doctoral thesis

- The problems being solved in Doctoral thesis- development of a new product of appropriate technological platform – it is a part of major international researches that focus on a fundamentally new approach - the whole hemp straw is processed in board materials, appropriate technology and technological equipment is created for technological chain "Hemp field- boards"
- The developed material models with a relatively wide range of physical and mechanical properties and the obtained mathematical models are the basis to start designing the industrially produced materials according to the intended use in the interior design and construction, as well as they draw attention of mechanical engineers to the pilot equipment that can be transformed into variants of industrial equipment.
- Shortened hemp processing technology is effective as there are reduced number of risk factors in agriculture, significantly reduced number of technological paths and number of operations to produce a board material; there is created environmentally friendly, easily modifiable product, as well as an opportunity to build a non-waste production. The expected price of board created from annually renewable resources developed on experimental technological lines is 3.54 Ls/m^2 . It complies with the price of already existing plant-based board average price, but it is on average 60% higher compared to price of raw wood boards (MDF, OSB);
- There is received a confirmation of a patent application no. P-12-196 "Method to produce raw material for boards from a short term wet - preserved hemp mixture" for granting of a patent in Latvian Republic.

1.5. Structure of thesis

The thesis is structured in four chapters:

The overview and analysis of literature is in Chapter 1. The chapter is divided into four subchapters. The methodological part, where the production methods for samples of fiber

boards and composites are viewed, is in Chapter 2. The test methods and equipment are viewed in Chapter 3. On the basis of the previous chapters, generalization and interpretation of the obtained information is done in Chapter 4.

2. SITUATION ANALYSIS

As a result of the viewed patents and the analysis of literature sources, it was established that:

- There is too large consumption of wood for production of fiber boards, which is a reason for more and more intensive deforesting, in order to reduce it there are some options sought for partial or complete substitution of wood in the board materials with the raw materials supplied by the agricultural flora and/ or by-products of their processing;
- In the majority of researches the lignocellulose fibers of plants or plant residues, including the fibers of flax and hemp and/ or shives, sugarcane fibers, wheat, rice and soy beans stems, bamboo and eucalyptus fibers, fibers of maize and cotton fibers, jute and bamboo fibers are used as substitution materials for production of fiber and chip boards;
- In the majority of researches the polycondensation adhesives are used as binders, adding from 1 % to 20 % of the dry mass, most frequently 8-12 %; they are usually supplemented by hardener (paraffin oil, ammonium chloride) ~ 1 %, adding a catalyst too if necessary. In some researches, processing the prepared mass with 35 % hydrogen peroxide and increasing the temperature up to 190 °C prior to pressing, the samples of boards were obtained without any adhesive with the bending strength of 7-47 MPa and compactness of 870-1110kg/m³. The adhesive free boards of the plant origin are characteristic of 2 – 6 times more intensive swelling under the influence of moisture;
- In order to make smoother, more solid, and more compliant boards for coatings and mechanical processing, the dimensions and composition of the fleece particles are changed in one or both surfaces, as well as the content of adhesive is increased in one or both surfaces: the average content of resin adhesive is 10 %, 6-8 % in the central layer and 8-12% in the outer layers accordingly;
- In the researches the sample boards of the plant origin are made both with and without first time pressing, which in its turn can be done under the pressure up to 3 MPa or even 0.05MPa; it is also possible to apply the “cold” first time pressing. The period of first time pressing is selected depending on the density of fleece, calculating 5 s per 1 density mm;
- Soaking of shives in hot water followed by drying and milling enables to obtain the phenol-formaldehyde boards with 2 times higher tensile strength and up to 35% less

swelling in the humid environment than the corresponding properties of the board samples made of un soaked shives;

- The pressing modes vary: in the temperature range between 140 °C and 190 °C, the pressure is from 1.5 up to 6 *MPa*, the holding period is from 4 to 11 *min*; pressing is done in one or two attempts in a hot press varying density. There are also some multistage pressing variants: two-stage (in the cold, followed by the hot press), three-stage hot pressing varying density. Pressing is done from one side;
- acquired long-fiber plastic composite properties: epoxy-matrix tensile strength from 67.3 to 230 *MPa* and a tensile modulus of 5.7 to 36 *GPa*, with a polypropylene film-matrix tensile strength of 50.88 *MPa*, a tensile strength of matrix polipienskābes 40.3 *MPa*. Fibers in the composite varies from 10 - 65%, in most cases the maximum amount of fiber is 40%;
- Properties of the obtained fiberboard: a) with UF adhesive: compactness 600-800 *kg/m³*, bending strength 4.77- 33 *MPa*, modulus of bending elasticity 1535-2935 *MPa*, tensile strength perpendicular to the plane 0.415-0.8 *MPa*, tensile strength parallel to the plane 9.48- 31.38 *MPa*, swelling 24- 41 %, water absorption 77- 108 %; b) with PF adhesive: compactness 580-1000 *kg/m³*, bending strength 12- 35.1 *MPa*, modulus of bending elasticity 1800- 3290 *MPa*, tensile strength perpendicular to the plane 0.33-0.62 *MPa*, tensile strength parallel to the plane 3.65 *MPa*, swelling 13.46- 15 %, water absorption 96%;
- Improvement of properties:
 - a) Add (pine) wood chips in the whole volume;
 - b) If there are several layers, orientate wood chips/ shives along the layers, changing their arrangement in the direction of axis in one layer to the arrangement perpendicular to the axis in the next;
 - c) Preparing fleece particles of a specific dimensions, for example, the length no less than 20 *mm*, in the aspect ratio of 3:1;
- Industrially produce boards fully or partly made of raw materials of the plant origin:
 - d) German company “Kosche” produces the light furniture boards made of hemp shives; their compactness depending on their thickness varies between 300 – 320 *kg/m³*, bending strength of their boards ~ 5 *MPa*;
 - e) German company “Steico” produces heat insulation boards made of hemp fibers. Compactness of boards is ~40 *kg/m³* and thermal conductivity ratio is $\lambda=0,040$ *W/m.K*. Their thickness varies from 40 to 200 *mm*.

- f) “TorZo” (US) produces boards made of hemp fibers impregnated with acrylic. Since 1956 the company in Holland manufactures thermo and acoustics insulation boards with compactness ranging between 320 – 560 kg/m^3 ;
- g) Belgian company “Unilin” manufactures furniture boards “UniFlax” made of flax with looser central layer, making the outer layers more compact with wood chips enriched with a binder. Compactness of the boards 350 – 500 kg/m^3 , they are fireproof and sound absorbing;
- Both in the experimental samples and industrially manufactured boards fibers or chips (shives) of the wooden portion are used as a raw material;
- PCL (Polycaprolactone); PBS (Poly butylenes succinate), PES (Poly ether sulfones), PHB (Polyhydroxybutyrate), Starch, PLA (Poly lactic acid) are considered to be biodegradable matrices. The poor strength indicators, the poor impact strength, the large ability of moisture absorption, and the high price limit immediate use of these matrices.
- The most frequently used are PP (Polypropylene), PE (Polyethylene), NY11, AcC (Acetyl cellulose) from the partly biodegradable matrices combined with natural fibers;

3. METHODS FOR PRODUCTION OF SAMPLES

Raw materials for production of composites:

- Fibers obtained as a result of traditional processing of the hemp growth ‘Bialobrezskie’;
- Polypropylene (PP) in the form of fibers.

Preparing of components of composite material fibers:

- Chemical processing of fibers with NaOH solution;
- Manual combing of fibers, making of planking – polypropylene fibers/ the long hemp fibers/ polypropylene fibers; 4 groups of samples were prepared for testing, varying the proportions (50 % and 70 % fibers) and pressing temperature (170 °C and 190 °C).

Testing of composite material samples:

- EN ISO 527-1:1993 “Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles”;
- LVS EN ISO 62:2008 “Plastics – Determination of water absorption”

Raw materials for production of fiber boards:

- Hemp growth ‘Santicha 27’ cultivated in the test fields of Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam- Bornim;

- Polycondensation adhesives of phenol-formaldehyde (PF) and urea-formaldehyde (UF) were used as binders.

Preparing of the board samples:

- Chopped mixture of hemp plants obtained as a result of the shortened processing technology; it contains fibers, chops (shives) of the wood components, leaves and seeds. The mixture was subjected to wet - preservation in the airless environment for 14 days and 365 days;
- In order to distribute moisture a dry hemp stem chopped with guillotine is used; wet - preserved components ratio against the dry mass ~ 2:1 (an accurate ratio is calculated based on the moisture content);
- 8 sample groups were prepared for testing, varying the wet - preservation period, keeping the compactness of the fleece surface unaffected in the thickness of the used binders and board sample.

Preparing of the board samples:

- The wet - preserved mixture of fibers and shive is mixed with chopped stems of dry hemp; chopping and mixing of the first mixture is done in the twin screw extruder; the final chopping of the mixture is done in the disc mill; the mixture of fibers and shive is dried in the temperature of 150 °C; the material is mixed with the PF and UF adhesive; a 3-layer fleece planking is made, it is cut accordingly; on the basis of the pressing modes, boards are pressed in the heated press.
 - In Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim are obtained 125 board samples for every group of samples, there is a total of 1000 board samples prepared for tests.

4. METHODS OF SAMPLE TESTING

The following tests were performed to test the properties of the hemp fiber – shives mix:

- Moisture content of components was determined with the mass method, using the drying oven LHT4/60” and the laboratory scales “A&D GF-3000”, according to the standard LSV EN 62:2008 prior and after mixing with binder;
- Distribution of fraction dimensions was determined with the sieving method, using the sieving tower with six sieves, according to the standard LVS EN 933:2012;
- Distribution of lengths and widths of the particles of the fiber – shives mix was determined by the sliding scanner and the image analysis software “Fiber Shape”.

The following tests were performed to test the properties of board samples of the hemp origin:

- Density of boards was determined, using the laboratory scales “A&D GF-3000” and the digital sliding caliper “Topex PD 151”, according to the standard LVS EN 323:2000;
- Bending strength and modulus of elasticity were determined, using the “Zwick/ Roell Z010” testing equipment with an auxiliary device, according to the standard LVS EN 310:2001;
- Swelling and water absorption was determined, using the digital sliding caliper “Topex PD 151” and the laboratory scales “A&D GF-3000”, according to the standard LVS EN 317:2000;
- Tensile strength perpendicular to the plane was determined using the “Zwick/ Roell Z010” testing equipment with an auxiliary device, according to the standard LVS EN 319:2000;

Thermal conductivity of the board samples was determined using the thermal conductivity measuring equipment FOX600 by the company Lasercomp according to the standard ISO 8301:1991.

5. RESULTS

5.1. Technical properties of composite materials

The mathematical models (Tab. 1) in the form of an incomplete second degree polynomial, which describes the moisture content, tensile strength and modulus of tension elasticity depending on the content of hemp long fibre in the composite and the temperature of production were calculated according to the values of the moisture content, tensile strength and modulus of tension elasticity obtained in the testing process.

5.1.1. Moisture content

The water content studies show (Tab 1 Y_{L1}): the higher is pressing temperature and the lower is the fiber content in the composite, the lower is content of the composite (2.81 %, if $t=190^{\circ}C$ and the specific weight of hemp fibers is 50 %); when the pressing temperature drops and the fiber content increases, absorption increases 1.75 times (4.93%, if $t=170^{\circ}C$ and the specific weight of hemp fibers is 70 %).

5.1.2. Change analysis of fiber surface

Depending on the intended use, it is possible to adjust the degree of fiber distribution during the preprocessing process of phloem, as well as the cleanness of fiber complexes/

filament surfaces. In the composite technologies it is very important to provide good bond of fibers with the matrix substance, thus treatment with sodium hydroxide solution of 5 % (Fig. 2) 8 % (Fig. 3) can improve binding of the composite components significantly.

5.1.3. Tensile strength, Modulus of elasticity

As it is seen in the equation Y_{L2} of Table 1 and the surface of the geometrical interpretation of the model – both the pressing temperature and the specific weight of fibers, including their interaction, have a significant impact on the tensile strength, which is the highest (65.5 MPa) with maximum filling and pressing temperature of 170 °C. Temperature changes of pressing for 20 °C from 170 °C to 190 °C cause decreasing of the breaking strength from 53.6 MPa to 21.2 MPa, that so for 60.4%, if the specific weight of fibers is 50 % and from 65.5 MPa to 47.4 MPa (for 27.6 %), if the specific weight of fibers is 70%.

The impact of temperature on the values of modulus of elasticity is much weaker: changes of the pressing temperature from 170 °C to 190 °C produce reduction of the Young's modulus for 20 %, if the fiber ratio is 50 % in the composite; whereas the same temperature difference with 70 % filling practically does not change the composite module, because the difference of 5 % is within the limits of error (Fig. 4).

5.2. Technical properties of board

5.2.1. Moisture of fibres

The initial moisture of the protractedly wet - preserved (365 days) hemp fiber – shive mix (PDH) is 2 % less than the FDH moisture of the wet - preserved mass for 14 days. In both cases the moisture content decreases upon mixing it with the adhesive substance PF: for 2 % (from 11.24 % to 13.20 %) in the material preserved for 14 days and for 3 % in the PDH material (from 9.24 % to 12.24 %). Upon mixing with the PF adhesive, moisture of both mixtures is lower than in the case, when the UF adhesive is used and moisture practically does not exceed 12 %, which is the maximum permissible limit. The results of experiments are summarized in Figure 5. In general, having assessed the moisture content in the fiber – shive mix before and after the adhesive is added and having compared the changes caused by two adhesives used in the experiment, we can conclude that use of the PF adhesive is more effective from the point of view of composite technology.

5.2.2. Fraction dimensions analysis

The seven sieves used for sieving enabled us to determine the distribution of the particle masses according to the dimensions of the sieve's eye (Fig. 6).

The largest specific weight is for fractions with the dimensions exceeding $2000 \mu m$, for the PDH material they are 37 % of the total amount, but for the PDH material – 43 %. Having mixed the material wet - preserved for twelve months with dry hemp, there are 17% less big particles and 60 % more small particles obtained. For the FDH material the number of these fractions is 16 % higher compared to the PDH material. Whereas a fraction with the particle dimensions within the range from 500 to $1000 \mu m$ of the wet - preserved component (PDH) for 12 month exceeds the corresponding ratio of the wet - preserved component (FDH) for 14 days for 30%. Dust ~12 % consists of fractions with the dimensions of 0-90 μm and 90-160 μm , which have a negative effect on the board's tensile strength in the perpendicular direction (Fig. 8). An optimum content of fiber components is obtained if the material preserved for two weeks is mixed with the dry fiber material, resulting in more large particles.

5.2.3. Granulometric analysis of particles

During an extended wet - preservation process, the distribution of length of the particles transforms from multimodal to single modal with slightly expressed right asymmetry that probably provides even distribution of particles during the formation process of a board. Distribution of width of the particles also obtains more organized structure during a longer wet - preservation period becoming single modal with expressed left asymmetry. It means that the largest specific weight is of the particles of smaller thickness up to $40 \mu m$ (Fig. 10). As it is seen in Table 2, the length of 50 % particles is up to $562 \mu m$ in the mass preserved for 14 days. Increasing the wet - preservation period up to 12 months, it increases for 22 %, id est. up to $686 \mu m$, whereas the width increases from $42 \mu m$ to $53 \mu m$, id est. for 25 %. Accordingly the ratio of length towards width of a particle changes too, accounting for 26 % increase for the wet - preserved mass.

The mathematical models in the form of an incomplete second degree polynomial, which describe the results adequately depending on the thickness of the board and wet - preservation period, calculated from the values of compactness, bending strength, modulus of bending elasticity, tensile strength perpendicular to the plane, thermal conductivity obtained in the testing process (Table 3).

5.2.4. Comparative analysis of density and mechanical properties of boards

Having compared the linear effect ratios of the equation Y_{L4} it can be seen that the thickness of a board is the main factor that determines its density. It results logically from the experiment's plan, where the square meter mass of raw material is a stated factor. Thus, the thinner layer of one and the same volume is pressed, the higher the filling degree of filling

with the fiber – shive mix is achieved and the higher is the obtained density of the board. The impact of the wet - preservation period of fiber shive on the density of boards is small (the level lines are practically parallel in sectional view); only with large filling of volume increasing of the wet - preservation period adds a small increase of the board's density, which is justified by the echo surface (Tab. 3).

It can be seen in the equation Y_{L5} and its interpretation area that in general the used adhesive does not change the density nature of the board much, when its thickness and wet - preservation period of its raw material change. Increasing the thickness of board twice (from 8 mm to 16 mm), its density reduces practically twice too. Speaking of the adhesive's impact, it is obvious that utilization of the PF adhesive increases the board's density of an 8 mm board for 12 %, for 17 % of a 16 mm board.

The obtained values of the boards of the board sample variants made according to the work matrix of a complete factor experiment are showed in Table 4. The highest density was obtained for the 8 mm boards, which was within the range of 734- 841 kg/m^3 . The 16 mm boards have looser structure and lower density, which was within the range of 345- 419 kg/m^3 .

5.2.5. Swelling of board samples and water absorption

Changes in thickness of the board samples made of the wet - preserved hemp with PF adhesive are on average 16 % less than with other samples (Fig. 11). It is justified by the fact that in the PDH variant from the hemp fiber shives mix moisture exudes under the influence of lactic acids in the more extended fermentation process. Mixing it with the PF adhesive, the wet - preservation effect provides better stability against the impact of moisture, which is strengthened by the PF adhesive. More extended wet - preservation effect in the boards with the UF adhesive is weakly expressed – on average the FDH-UF has 3 % less water absorption than the PDH-UF. The most rapid changes in the thickness of samples can be observed during the first 15 minutes.

The nature of changes in the mass of samples showed in the chart of Figure 12 is similar to changes in the thickness of samples under the influence of water. Changes in the mass are also smaller for samples made of the wet - preserved hemp mass, which are strengthened with the PF adhesive: in the course of the test, the PDH-PF mass is on average 14 % less than in the samples of the mass preserved for 14 days (FDH-PF). The difference in mass of the UF adhesive samples (FDH-UF and PDH-UF) does not exceed 4 %, that is within the limits of error and thus the differences can be deemed as insignificant.

5.2.6. Bending strength and modulus of elasticity

Boards of 8 mm with the compactness of 740 – 790 kg/m³ and boards of 16 mm with the compactness of 360 – 419 kg/m³ were used in the tests. The coefficients of linear members of equations are the same ranking numbers, which proves that the bending resistance reduces both when the thickness of a board and the wet - preservation period are increased (it is indicated by the negative signs of coefficients with x_1 and x_2). Since the coefficient of the interaction effect is also important, the position of the corresponding echo surface in the space of coordinates and its configuration is rather complicated.

In the PF adhesive samples of boards the wet - preservation period has more effect on the bending resistance of more compact samples, whereas changes of the wet - preservation period of the fiber based components of the bending strength of the small size samples within the scope of the experiment has much less impact than in the absolute expression, which is clearly showed in the equation Y_{L6} and the geometrical interpretation area. When the wet - preservation period is increased from 14 to 365 days, the bending strength of an 8 mm thick board increases from 10.51 to 14.66 MPa, which is by 39 %. Respectively the bending strength of a 16 mm board increases from 0.79 to 1.27 MPa, which is by 61 %, although the absolute increase of strength 0.48 MPa is almost a layer smaller. Thus, when designing high density boards in order to increase the bending resistance, it is recommended to choose the fiber and shive mix wet - preserved for extended period of time.

It can be seen in the equation Y_{L7} and the geometrical interpretation area (Tab. 3), that, by changing the wet - preservation period from 14 to 365 days, the bending strength of an 8 mm thick board decreases from 8.52 to 7.95 MPa, that is by 7 %. For a 16 mm thick board the bending strength decreases from 0.78 to 0.64 MPa respectively, that is by 18 %. Within the limits of the experiment, if the thickness changes within the range from 8 mm to 16 mm, the bending strength of the board samples increased from 0.78 to 8.52 MPa. Thus we can conclude from what was previously said that the bending strength of the 8 mm thick UF adhesive boards with wet - preserved components for 365 days is better within the limits of this experiment. Generally speaking, the bending strength is by 33% smaller for material with the UF adhesive than it is with the PF adhesive (- 41 % PDH (365), -24 % FDH (14)).

Having compared the bending strength of the experimental boards with a range of corresponding properties of the traditional materials of boards (Fig. 13), it can be seen that the bending resistance of the PF adhesive board samples exceeds the bending strength of the particleboard and hardilfex gypsum boards by 1.22 times, the respective indicator of the particle board by 1.13 times. Compared with other results of researches available in the

literature, the bending strength of the hemp fiber boards with density of 880 kg/m^3 is within the range between $7.8 \text{ MPa} - 20.8 \text{ MPa}$.

5.2.7. Determination of tensile strength perpendicular to the board's plane

According to the mathematical model Y_{L10} and the echo surface (Tab. 3), it can be seen that if the thickness of samples changes from 16 mm to 8 mm , the resistance for breaking the sample increased rapidly perpendicular to the plane. If the wet - preservation period increases from 14 to 365 days, the tensile strength of the viewed 8 mm thick board slightly decreases from 0.15 to 0.14 MPa , which is by 7 %. When the thickness of material increases from 8 mm to 16 mm , the tensile strength perpendicular to the plane decreases from 0.15 to 0.01 MPa , which is by 15 times, if the wet – preservation period of raw material is 14 days and from 0.14 to 0.01 MPa , which is by 13 times, if the raw material has been subjected to 365 days of wet -preservation.

5.2.8. Thermal conductivity

As it is seen in Table 3 (Equation Y_{L11} and echo surface), thermal conductivity of the board samples changed within the range from 0.074 to 0.125 W/mK . The smallest thermal conductivity is for 16 mm samples with the wet - preservation period of hemp components from 278 to 365 days. Thermal conductivity within the range between $0.08-0.09 \text{ W/mK}$ can be also provided by $14-16 \text{ mm}$ thick samples with shorter wet - preservation period. When the wet - preservation period increases, the thermal conductivity coefficient of the 8 mm thick board increases within the range from $\lambda=0.112$ to $\lambda=0.125 \text{ W/mK}$, that is by 12 %. The thermal conductivity coefficient of a 16 mm board decreases within the range from $\lambda=0.076$ to $\lambda=0.074 \text{ W/mK}$, which is by 3 %. When the thickness decreases, the thermal conductivity coefficient increases from $\lambda=0.076$ to $\lambda=0.112 \text{ W/mK}$, if the raw material has been in the wet - preservation mode for 14 days, and from $\lambda=0.074$ to $\lambda=0.125 \text{ W/mK}$, if the raw material has been in the wet - preservation mode for 365 days.

Compared to the wood-fiber board, both the 16 mm experimental board with the raw material preserved for 14 days, and the board with the raw material wet - preserved for 365 days, the thermal conductivity and density are much lower (Fig. 15), whereas their thermal conductivity can be compared with the respective indicators of rape, flax and reed boards; at the same time the density of boards with rape and reed raw material is lower, but for the board filled with flax it is higher than the densities of the previously mentioned experimental boards of 16 mm thickness. The thermal conductivity coefficients of the 8 mm thick boards are lower

than those of the wood-fiber board; however their densities do not exceed the density of the wood-fiber boards to be taken into account.

5.2.9. Indicative economic assessment of the hemp mixture board

Based on the cost structure of ATB experimental production line, in the table nr.5 there is showed the distribution of costs according to one square meter of the board.

Based on the fixed and variable costs that are calculated for the experimental production line of ATB, the approximate price of one square meter is LVL 3,54 that is close to in the market existing boards' price. The variable costs are LVL 3,35 per square meter, but the fixed costs based on three shift work are LVL 0,20 per square meter.

The author prognoses that is the boards would be produced in bulk, the price would decrease by 15-20%. Taking into consideration that the calculations are made based on experimental lines where some more specialists, except the line operator, should be attracted, starting the production on large scale production lines, it would be possible to decrease the labor costs. It is very believable that also energy costs could decrease as the large scale production lines are projected more energy efficient.

Hemp board costs are higher compared to wood based boards. The price difference can be explained by fact that hemp boards are produced on experiemental line with higher labor costs and the capacity of this line is low. At the same the price forraw material of hemp fiber mixture board is LVL 17,15 for m^3 ; it is 14% lower than the price of wood chips- LVL 20 for m^3 .

5.2.10. Ecological assessment of boards made of hemp – shives mix

Fiber hemp as a raw material for production of composites and boards deals with practically all ecological issues, that threaten the future of mankind, as well as it is also a highly productive, not very demanding, and good for cultivation agricultural plant. The aesthetical and mechanical properties of prototypes can be improved by laminating, covering with textiles, for example, flax/ hemp fabric of different textures. In order to obtain fully ecological material of boards, the synthetic adhesives should be substituted with the natural products, such as lignin available in the hemp fractions, starch, etc.

5.2.11. Application of boards made of hemp – shives mix

The types of boards developed in the thesis might have a wide application both in the interior design, and construction. Both the 8 mm and 16 mm boards can be used as raw materials in the raw material frame constructions – furniture facades, partition walls of

workplaces. The pasted over boards can be used both in the panels of decorative walls and ceilings, as well as in the table surfaces, if there is some thickened board placed under them, for instance in the “Logo” product range of KATE, LLC. The potential of the material is extended by its good possibilities of veneering and laminating. Due to its loose structure, the 16 mm thick material of boards is a good heat and sound insulation material. It can be also used as raw material in the sandwich-type boards.

The 8PDH-PF board samples have the highest bending strength. Veneering them with 0.7 mm cut veneer of ash-tree from both sides and binding the veneering with the board with 120 g/m² of polyvinyl acetate D3 (PVA) adhesive, the bending strength of the board increases by 52 %, reaching the average value of 30.7 MPa (Tab. 6), which is enough to use the board as a construction material, provided that the bending strength established according to the standard EN 622 is 25 MPa in such load bearing constructions as in the bodies of furniture, table surfaces, and systems of shelves.

CONCLUSIONS

1. Use of chopped wet - preserved hemp for production of boards permits usage of the whole stem, including its leaves and seeds. It makes obtaining of the raw material independent from the weather conditions, the material storable in a compact way, reduces changeability of its properties, shorten the processing cycles significantly, reduce their power-intensity and simplify the technological processes, at the same time creating a necessity to develop new types of products, test their properties, and determine their areas of application.
2. The long fibers of the technical hemp growth 'Bialobrezskie' used to armature the composites of laminated polypropylene matrix treated with a sodium hydroxide solution, varying its volume in the range from 50 % to 70 % and the pressing temperature from 170 to 190 °C, permit obtaining the composites with the moisture absorption within the range from 2.8 % to 5 %, the tensile strength within the range from 21 to 66 MPa and from 1960 to 3800 MPa within the range of the Young's modulus, it opens the potential to create the load bearing constructions, which can be biodegraded when their service period is over.
3. The traditional processing of hemp is labor-consuming, depends on the climatic conditions and there are a large percentage of residues created during the processing procedure with a limited use. Therefore it is topical to seek solutions, how to use the cultivated resources in a more valuable way, shortening the technological procedures, providing the flow of raw materials with solid technological properties, creating new end products, improving their properties, thus reducing their costs, as well as minimizing any harm to the nature as a result of the processing and utilization procedures.
4. On the basis of mass ratio of 1:22 of the dry and wet - preserved components of the hemp growth 'Santicha 27' determined in the estimates on the experimental technological line developed and patented in 28 countries by the Leibniz Institute for Agricultural Engineering (in Potsdam), the fleece planking with the density of surface 6.7 kg/m² was developed, which is subjected to 7 stage pressing in the temperature of 180 °C under the pressure of 10⁷ Pa upon cutting into boards with the dimensions of 1200 × 800 × 100 mm, creating four 8 mm thick and four 16 mm thick series of board samples with two types of binders: phenol-formaldehyde resin (PF) or urea-formaldehyde resin (UF).
5. Changing the wet - preservation period from 14 to 365 days and the thickness of samples from 8 to 16 mm, the physical and mechanical properties of samples of the PF binders are within the following intervals:
 - for 8 mm samble the thickness changes in moisture influence is 2 mm (in moisture 24h), wet - preservation time is 365 days;

- density for 8 *mm* samples is on average 820 kg/m^3 , but for 16 *mm* samples- 412 kg/m^3 ;
 - for 8 *mm* samples the bending strength is 14.66 MPa and the elastic modulus in static bend is 1603 MPa if the preservation time is 365 days;
 - for 16 *mm* sample the thermo conductivity coefficient $\lambda = 0.074 \text{ W/mK}$ if the preservation time is 365 days.
6. Changing the wet-preservation period from 14 to 365 days and the thickness of samples from 8 to 16 *mm*, the physical and mechanical properties of samples of the UF binders are within the following intervals:
- for 8 *mm* sample the thickness changes in moisture influence is 5.3 *mm* (in moisture 24h), preservation time is 14 days;
 - density for 8 *mm* samples is on average 737 kg/m^3 , but for 16 *mm* samples- 355 kg/m^3 ;
 - for 8 *mm* samples the bending strength is 8.52 MPa and the elastic modulus in static bend is 1107.6 MPa if the preservation time is 365 days;
7. The boards of 8 *mm* thickness with the PF binder made of the raw materials of hemp wet - preserved for 365 days have a higher density and higher bending strength indicators, but also have a larger thermal conductivity, approaching the average showings of wood-pulp. The material is good for pasting over. The boards coming after post-treatment of surface have a wide application in the interior decorations, constructions of frame fillings, furniture facades, partition walls of workplaces.
8. The boards of 16 *mm* thickness with the PF and UF binders and smaller filling of the hemp mass are significantly lighter, with a rather low thermal conductivity and can be used as sound and heat insulation materials, as the middle layers in the multilayer packets, if necessary, increasing the sound and heat insulation properties. Pasting over the 8PDH-PF board with 0.7 *mm* cut veneer, the bending strength of the board reaches 30.7 MPa , which is sufficient to use the board as a construction material, provided that the bending strength established according to the standard EN 622 is 25 MPa in such load bearing constructions as in the bodies of furniture, table surfaces, and systems of shelves.
9. The research was conducted in the doctoral thesis, where for the first time a board of the hemp fiber – shives mix was created, where the raw material was fermented for 14 days and a dry hemp plant was used to equalize the moisture, on the basis of review of 135 sources of literature and deep practical and theoretical analysis. The obtained boards were veneered for the first time (patent application no. P-12-196) and their technical and mechanical properties were tested. The composite material was developed, where the long fibers of hemp were used as raw material and as a matrix in the form of polypropylene

fibers. Varying the orientation of fibers in the layers, the material of laminated structure can be obtained, which is well suitable for use as a composite material in the load bearing constructions.

10. The approximate price of a board produced on experimental machinery is 3.54 Ls/m^2 , but if the boards would be produced in a bulk, the price would decrease for at least 15-20%.
11. A possibility to improve the structure of the board made of the hemp fiber – shives mix:
 - Adding some wood-pulp fibers to the mix;
 - Varying parameters of the granulation mix;
 - Varying the dimensions of fractions and the quantity of binders in the cameras, creating a structure of several layers;
 - Varying the moisture content aimed at establishing the most optimum one;
 - Optimizing the pressing parameters (temperature, pressure, pressing modes);
 - Establishing, how long wet - preservation period passes while the distribution of dimensions of particles stabilizes;
 - Joining two layers of fleece, providing symmetrical outer layers.