

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

PROMOCIJAS DARBS

2014

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Dizaina tehnoloģiju institūts

Līga FREIVALDE

Doktora studiju programmas „Tekstila un apģērbu tehnoloģija” doktorante

**TEHNOLOĢIJU IETEKME UZ
KAŅEPJU ŠĶIEDRU
SILTUMIZOLĀCIJAS MATERIĀLU
ĪPAŠĪBĀM**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
Dr.sc.ing., profesore
Silvija KUKLE

Zinātniskais konsultants
Professor of Textile Materials & Technology,
Director of the Nonwovens Research Group,
Centre for Technical Textiles, University of Leeds
Stephen RUSSELL

Rīga 2014



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

This work has been partly supported by the European Social Fund within the National Programme “Support for the carrying out doctoral study program’s and post – doctoral studies at Riga Technical University”.

ANOTĀCIJA

Promocijas darbs „Tehnoloģiju ietekme uz kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu īpašībām” izstrādāts Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Dizaina tehnoloģiju institūtā, sadarbojoties ar Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātes Kokapstrādes katedras Koksnes un koksnes materiālu zinātnisko laboratoriju un Līdsas universitātes Tehnisko tekstilizstrādājumu centru Anglijā. Pētījumi veikti Dr. hab. sc. ing. profesores Silvijas Kukles vadībā laika posmā no 2009. līdz 2014. gadam.

Zinātniskā darba mērķis:

Veikt kompleksus pētījumus izvērtējot neausto materiālu tehnoloģiju ietekmi uz kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu īpašībām un izstrādāt siltumizolācijas materiālu prototipus uz vietējo ikgadēji atjaunojamu resursu bāzes.

Lai īstenotu izvirzīto mērķi, tika definēti sekojoši darba uzdevumi:

1. Apzināt un analizēt siltumizolācijas materiālu izgatavošanai piemērotas neausto materiālu izgatavošanas metodes un tehnoloģijas, veikt to salīdzinošu analīzi;
2. Veikt neausto materiālu eksperimentālu paraugu izstrādi laboratorijas apstākļos no divu kaņepāju šķirņu šķiedrām ar trim augstas produktivitātes tehnoloģijām;
3. Testēt un novērtēt izstrādāto paraugu siltumizolācijas materiālus raksturojošās fizikālās īpašības;
4. Apzināt un sistematizēt citu globālajā tirgū esošu siltumizolācijas materiālu īpašības un salīdzināt ar pētījumu rezultātā izgatavotajiem paraugiem;
5. Veikt piedāvāto neausto siltumizolācijas materiālu ekonomisko novērtējumu un salīdzināt ar globālajā tirgū esošo kaņepju šķiedru izolācijas materiālu cenām.

Promocijas darbs sastāv no 3 nodaļām:

- 1.nodaļa - zinātniskās literatūras apskats, kas ietver kaņepju šķiedru izmantošanu siltumizolācijas materiālu izgatavošanā, neausto materiālu tehnoloģiju apskatu, darbā izstrādāto un citu tirgū piedāvāto izolācijas materiālu īpašību analīzi, kā arī ēku ekoaspekta un ekonomiskās analīzes jautājumus.
- 2.nodaļa – sniegts pētījumā lietoto materiālu un metodikas apraksts.
- 3.nodaļa – pētījuma rezultātu izklāsts, kas ietver ar 3 tehnoloģijām izgatavoto neausto materiālu paraugu testēšanas gaitā iegūto datu analīzi un salīdzinājumu atsevišķi starp šķirnēm un izmantotajām tehnoloģijām, kā arī neausto materiālu izmaksu analīze.

Promocijas darba pamatteksts ir izklāstīts 145 lappusēs. Darbā iekļauti 103 attēli, 32 tabulas. Darbā izmantoti 170 literatūras avoti.

ABSTRACT

The thesis "Technology impact on hemp fiber insulation material properties" has been developed at Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Design Technologies in cooperation with the Latvia University of Agriculture, Forest Faculty, Wood Materials and Technology; Centre for Technical Textiles, University of Leeds. Studies were supervised by Dr. hab. sc. ing. Professor Silvija Kukle during the period from 2009 till 2014.

The aim of the research work:

To perform complex research by evaluating the impact of non-woven technologies on the hemp fiber insulation materials properties and to develop thermal insulation materials prototypes of the local annual renewable resource base.

In order to implement the aim several tasks were defined:

1. To identify and analyze opportunities of hemp fiber acquisition opportunities and methods, to carry out the comparative analysis.
2. To identify and analyze suitable non-woven materials manufacture methods and technologies for the thermal insulation materials development, to make comparative analysis.
3. To make nonwoven materials experimental samples in the laboratory scale by using three different technologies and two varieties, test their physical properties.
4. To identify and systematize other in the global market existing insulation materials properties and to compare them with in this study manufactured samples.
5. To provide produced non-woven insulation materials economic calculations and to compare the data with the prices of other insulation materials offered in the global market.

The thesis consists of 3 chapters:

Chapter 1 - Review of the scientific literature, including the use of hemp fibers in the manufacture of insulation materials; non-woven materials technologies overview; analysis of within the thesis developed materials and other insulation materials properties available in the global market as well as materials economic analysis.

Chapter 2 - provides description of used materials and methodology.

Chapter 3 - discussion of research, including by 3 technologies manufactured nonwoven samples testing data analysis and comparisons between used varieties and technologies. Analysis of the costs of the non-woven materials.

The main text of the Phd theses is written on 145 pages. The paper includes 103 figures, 32 tables. 170 literature sources have been used.

SATURS

ANOTĀCIJA	4
ABSTRACT	6
SATURS	8
ATTĒLU SARAKSTS	10
TABULU SARAKSTS	13
SKAIDROJUMI, SAĪSINĀJUMI	14
IEVADS	15
1. SITUĀCIJAS ANALĪZE	21
1.1. Neausto materiālu ražošanas tehnoloģijas ēku siltumizolācijas lietojumiem	22
1.1.1. Ēku sektoram izvirzītās prasības energorsursu patēriņa un globālās sasilšanas samazināšanai	22
1.1.2. Siltumizolācijas materiālu izvēli noteicošie kritēriji	23
1.1.3. Ekoloģisku tehnoloģiju un materiālu ietekme uz iekštelpu un vides ilgtspējīgu attīstību	27
1.1.4. Kaņepju šķiedru neaustie materiāli ēku siltumizolācijas lietojumiem	29
1.1.5. Neausto materiālu tekstiltehnoloģijas	31
Irdināšanas un kāršanas tehnoloģijas	34
Termoliedējuma tehnoloģija	35
Cauradatošanas tehnoloģija	39
Caurstrūklošanas tehnoloģija	42
1.1.6. Kopsavilkums	48
2. MATERIĀLI UN METODES	52
2.1. Izejmateriāli	52
2.2. Neausto materiālu tehnoloģijas	54
2.3. Siltumizolācijas materiālu īpašību testēšanas metodes	56
2.4. Kaņepju šķiedru testēšanas metodes	60
3. REZULTĀTI	63
3.1. Termoliedēto neausto materiālu īpašības	63
3.2. Cauradatotā neausto materiālu īpašības	74
3.3. Caurstrūkloto neausto materiālu īpašības	85
3.4. Termoliedēto, cauradatotā un caurstrūkloto neausto materiālu īpašību salīdzinājums	97
3.5. Kaņepju šķiedru īpašību salīdzinoša analīze	108

3.6. Neausto kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu izmaksas un tirgus cenu salīdzinājums ar izplatītākajiem siltumizolācijas materiāliem	111
SECINĀJUMI	129
LITERATŪRAS SARAKSTS	133

ATTĒLU SARAKSTS

1.1.att. Dažādu šķiedru ieguvei nepieciešamais enerģijas patēriņš, MJ/ kg.	28
1.2.att. Salīdzinošs integrēts ekoloģisko īpašību vērtējums	29
1.3.att. Neausto materiālu tehnoloģijas	32
1.4.att. Neausto materiālu tekstiltehnoloģijas	33
1.5.att. Rūpnieciskās veltņu kāršanas iekārtas	34
1.6.att. Termoliedēšana ar karstu gaisu - perforēta cilindra jeb rotācijas sistēma	37
1.7.att. Vienkāršas cauradatošanas mašīnas darbības princips	39
1.8.att. Cauršūšana ar atskabargu adatu	40
1.9.att. Regulāru atskabargu (RB) adata (a: trīsstūra formas 6 atskabargu adata; b: adatas šķērsgriezums ar atskabargām stūros)	40
1.10.att. Augstspiediena caurstrūklošanas mezgla griezum	45
1.11.att. Optimizēta caurstrūklošanas sprausla no ražotāja Trützschler Nonwovens GmbH	45
2.1.att. Šķiedru kūlīšu sagatavošana testēšanai. a) testēšanai sagatavots paraugs, b) paraugi pulsatorā	61
3.1.att. Virsmas blīvums kā biezuma f-ja (P)	64
3.2.att. Virsmas blīvums kā biezuma f-ja (B)	64
3.3.att. Blīvums kā biezuma f-ja (P)	65
3.4.att. Blīvums kā biezuma f-ja (B)	65
3.5.att. Ūdens tvaiku caurlaidību kā blīvuma f-ja (P)	65
3.6.att. Ūdens tvaiku caurlaidību kā blīvuma f-ja (B)	65
3.7.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (P)	66
3.8.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (B)	66
3.9.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (P)	67
3.10.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (B)	67
3.11.att. Porainība kā blīvuma f-ja (P)	68
3.12.att. Porainība kā blīvuma f-ja (B)	68
3.13.att. Vidējie poru izmēri PT1 un BT1 variantu paraugos	68
3.14.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (P)	70
3.15.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (B)	70
3.16.att. Siltumpretestība kā biezuma f-ja (P)	70
3.17.att. Siltumpretestība kā biezuma f-ja (B)	70
3.18.att. P šķiedru materiāla siltumpretestība kā virsmas blīvuma f-ja (P)	71
3.19.att. B šķiedru materiāla siltumpretestība kā virsmas blīvuma f-ja (B)	71
3.20.att. P šķiedru materiālu siltumpretestība kā blīvuma f-ja (P)	71
3.21.att. B šķiedru materiālu siltumpretestība kā blīvuma f-ja (B)	71
3.22.att. Salīdzinoši siltumpretestības izmaiņu grafiki palielinoties materiāla biezumam (a) un virsmas blīvumam (b)	72
3.23.att. Termoliedēto materiālu aizdegšanās laiks un laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai	73
3.24.att. Termoliedēto materiālu kopējais izdalītais siltums (THR).	73
3.25.att. Maksimālā degšanas jauda (HRRmax)	73
3.26.att. Kārstās sagataves virsmas blīvums paredzētā cauradatotā materiāla virsmas blīvuma iegūšanai	74

3.27.att. Virsmas blīvums kā biezuma f-ja (P un B šķiedras)	76
3.28.att. Blīvums kā biezuma f-ja (P)	77
3.29.att. Blīvums kā biezuma f-ja (B)	77
3.30.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (P)	77
3.31.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (B)	77
3.32.att. Ūdens tvaiku caurlaidība, mainoties materiāla blīvumam	78
3.33.att. Ūdens tvaiku caurlaidība, mainoties materiāla biezumam	78
3.34.att. Porainība kā blīvuma f-ja (P)	79
3.35.att. Siltumvadāmības izmaiņas atkarībā no materiāla biezuma	79
3.36.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma f-ja (P)	80
3.37.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma f-ja (B)	80
3.38.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (P)	81
3.39.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (B)	81
3.40.att. Caurdatotā kaņepju šķiedru izolācijas materiāla virsmas blīvuma un siltumpretestības mijiedarbība. a - P šķiedru materiāls; b - B šķiedru materiāls	82
3.41.att. Caurdatoto materiālu aizdegšanās laiks un laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai	83
3.42.att. Caurdatoto materiālu maksimālā degšanas jauda (HRRmax).	83
3.43.att. Kopējais izdalītais siltums (THR)	83
3.44.att. P un B šķiedru caurdatoto izolācijas materiālu siltumtehnikie parametri	85
3.45.att. Sagataves virsmas blīvuma transformācija caurstrūklotā šķiedru materiāla virsmas blīvumā. a - P šķiedru materiāli; b - B šķiedru materiāli	87
3.46.att. Biezums kā kārstās sagataves virsmas blīvuma f-ja (P)	89
3.47.att. Biezums kā kārstās sagataves virsmas blīvuma f-ja (B)	89
3.48.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (P)	89
3.49.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (B)	89
3.50.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (P)	90
3.51.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (B)	90
3.52.att. Caurstrūkloto paraugu maksimālais poru izmērs P un B šķirņu šķiedru paraugos	91
3.53.att. Porainība kā blīvuma f-ja (P)	91
3.54.att. Porainība kā blīvuma f-ja (B)	91
3.55.att. Gaisa caurlaidība kā biezuma f-ja (P)	92
3.56.att. Gaisa caurlaidība kā biezuma f-ja (B)	92
3.57.att. Siltumvadāmība kā biezuma f-ja (P)	93
3.58.att. Siltumvadāmība kā biezuma f-ja (B)	93
3.59.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma f-ja (P)	94
3.60.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma f-ja (B)	94
3.61.att. Siltumvadāmība kā siltumpretestības f-ja (P)	95
3.62.att. Siltumvadāmība kā siltumpretestības f-ja (B)	95
3.63.att. Caurdatoto materiālu aizdegšanās laiks un laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai	95
3.64.att. Caurstrūkloto materiālu kopējais izdalītais siltums (THR).	95
3.65.att. Caurstrūkloto materiālu maksimālā degšanas jauda	96
3.66.att. Termoliedēto (a), caurdatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu biezums	97
3.67.att. Termoliedēto (a), caurdatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu virsmas blīvums	98

3.68.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu blīvums	98
3.69.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu ūdens tvaiku caurlaidība.	99
3.70.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu porainība	100
3.71.att. caurstrūkloto - H2; H4 un termoliedēto - T1 materiālu vidējie poru izmēri	100
3.72.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu siltumpretestība	101
3.73.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu siltumvadāmība	103
3.74.att. Aizdegšanās laiks	106
3. 75.att. Laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai	106
3.76.att. Kopējais izdalītais siltums (THR)	106
3.77.att. Maksimālā degšanas jauda (HRRmax)	106
3.78.att. Pūriņu un Bialobrzeskie šķiedru kūlīšu vidējā pārraušanas stiprība	108
3.79.att. Izturības ciklu skaita divu dimensiju šķēlumi: a) B šķiedras, b) P šķiedras	109
3.80.att. Atbalss virsma B šķiedru ilgizturības ciklu izmaiņu ģeometriskai interpretācijai līdz 1000 cikliem	110
3.81.att. Atbalss virsma P šķiedru ilgizturības ciklu izmaiņu ģeometriskai interpretācijai līdz 1000 cikliem	110
3.82.att. B šķiedru ilgizturības ciklu atbalss virsma līdz 2000 cikliem	111
3.83.att. P šķiedru ilgizturības ciklu atbalss virsma līdz 2000 cikliem	111
3.84.att. Dabisko šķiedru, jēlnaftas un polipropilēna cenu indeksi (pamatojoties uz eiro)	112
3.85.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu sadalījums, 1 maiņa	119
3.86.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu sadalījums, 2 maiņas	119
3.87.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu mainīgās un fiksētās izmaksas	120
3.88.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu procentuālais izmaksu sadalījums, 1 maiņa	123
3.89.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu procentuālais sadalījums, 2 maiņas	123
3.90.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu mainīgās un fiksētās izmaksas	124
3.91.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu procentuālais izmaksu sadalījums, 1 maiņa	127
3.92.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu izmaksu procentuālais sadalījums, 2 maiņas	127
3.93.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu mainīgās un fiksētās izmaksas	128

TABULU SARAKSTS

1.1.tabula Tirgū pieejamo siltumizolācijas materiālu (sienu, jumtu, griestu) īpašības, kuru izgatavošanā izmantotas kaņepju šķiedras	38
1.2.tabula Termoliedēto, cauradato un caurstrūkloto neausto materiālu ražošanas parametri	47
1.3.tabula Termoliedējuma, cauradatošanas, un caurstrūklošanas tehnoloģiju pozitīvie un negatīvie aspekti lūksnes šķiedru apstrādē	48
2.1.tabula Kaņepju šķirnes „Bialobrzeskie” selekcijas etapi	52
2.2.tabula Kaņepju 2010. gada veģetācijas perioda agrotehniskie parametri	53
2.3.tabula Kaņepju šķiedru flīsa formēšanas specifikācija	55
2.4. tabula Neausto materiālu testēšanas plāns	56
2.5.tabula Kaņepju šķiedru kūlīšu diametru izpēte	60
2.6.tabula Faktoru variācijas līmeņi 2 ³ eksperimentā	62
3.1.tabula Termoliedēto neausto materiālu fizikālās īpašības	63
3.2.tabula Termoliedēto kaņepju šķiedru neausto materiālu fizikālo īpašību korelācijas matrica	69
3.3.tabula Cauradato izolācijas materiālu fizikālās īpašības	75
3.4. tabula Cauradato izolācijas materiālu fizikālās īpašības	75
3.5.tabula Siltumpretestības parametri atbilstoši paredzamajam lietojumam un klimatiskajai zonai	85
3.6.tabula Kaņepju šķiedru caurstrūkloto materiālu testēšanas rezultāti šķirnēm P un B	86
3.7.tabula Caurstrūkloto kaņepju šķiedru izolācijas materiālu fizikālo īpašību korelācijas matrica	88
3.8.tabula Ražotāju piedāvāto siltumizolācijas materiālu un eksperimentālo kaņepju šķiedru materiālu siltumpretestības salīdzinājums	102
3.9. tabula Būvniecībā biežāk izmanto izolācijas materiālu (sienu, jumtu, griestu) ekspluatācijas īpašības	105
3.10.tabula Kaņepju šķiedru kūlīšu stiprības rādītāji pie dažāda iespīlēšanas attāluma	108
3.11.tabula Būvniecībā biežāk izmantoto ēku siltumizolācijas materiālu cenas	114
3.12.tabula Ieejas parametri termoliedētu siltumizolācijas materiālu izmaksu aprēķinam	116
3.13.tabula Termoliedēšanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas	117
3.14.tabula Termoliedēto siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri un resursu patēriņš	117
3.15.tabula Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra	119
3.16.tabula Cauradato materiālu tehnoloģiskie parametri	120
3.17.tabula Cauradatošanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas	121
3.18.tabula Cauradato siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri un resursu patēriņš	121
3.19.tabula Cauradato siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra	123
3.20.tabula Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri	124
3.21.tabula Caurstrūklošanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas	125
3.22.tabula Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri un resursu patēriņš	125
3.23.tabula Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu pašizmaksas aprēķins	127

SKAIDROJUMI, SAĪSINĀJUMI

P	Genotips Pūriņi
B	Šķirne Bialobrzeskie
EIHA	Eiropas industriālo kaņepju asociācija
ES	Eiropas Savienība
LIKA	Latvijas Industriālo kaņepju asociācijas
kg	kilogrami
ha	hektāri
m	metri
mm	milimetri
t	tonnas
PP-PE	Polipropilēns – polietilēns
NaOH	Nātrija hidroksīds
LR	Latvijas Republika
MK	Ministru Kabinets
CO ₂	Oglekļa dioksīds
CO	Oglekļa oksīds
Bar	Bāri
T	Termoliedētie neaustie materiāli
N	Cauradatotie neaustie materiāli
H	Caurstrūklotie neaustie materiāli
ρ	Neaustā materiāla blīvums, kg/m ³

Termins *virsmas blīvums* (g/m²) lietots, lai norādītu šķiedru masas daudzumu, kas izlietots uz neaustā materiāla laukuma vienību.

Adatu ieduršanās blīvums (apgriezieni/min) un *dūrienu blīvums* (dūrieni/cm²) ir cauradatošanas tekstiltehnoloģijai specifiski termini, kas raksturo apstrādes intensitāti.

IEVADS

Enerģijas un izejvielu izmaksu, vides piesārņojuma palielināšanās, siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisija, globālā sasilšana, fosilo izejmateriālu izsīkšana stimulē meklēt un pētīt citas alternatīvas mākslīgo šķiedru un no tām izgatavoto produktu pilnīgai vai daļējai aizvietošanai. Atjaunojamās izejvielas, t.sk. dabiskās šķiedras ir nākotnes resursu krātuve ar daudzpusīgu pozitīvu ietekmi gan uz planētas ekosistēmu, gan dzīves un darba vidi, gan enerģijas patēriņu nodrošinot nepieciešamo funkcionalitāti. Viens no būtiskiem enerģijas taupīšanas veidiem ir samazināt enerģijas patēriņu ēkās tās siltinot.

2012. gadā pasaules šķiedru ražošana pieaugusi līdz 88.5 miljoniem tonnu, kas ir par 1.9 % vairāk nekā 2011. gadā. No tām 32.5 miljoni tonnas bija dabiskās un 56 miljoni tonnas mākslīgās šķiedras. Savukārt, izmantoto šķiedru apjoms sasniedza 85.8 miljonus tonnu, kas ir par 4.5% vairāk nekā iepriekšējā gadā. Tas uzskatāms par ievērojamu izaugsmes paātrinājumu, salīdzinot ar 1.7% pieaugumu 2011. gadā. [1] Saskaņā ar *Global Industry Analysts*, kas tiek pozicionēta kā viena no pasaules lielākajām un pazīstamākajām tirgus izpētes firmām, pētījumu datiem paredzams, ka pasaules tekstilšķiedru tirgus uz 2015. gadu sasniegs 93 miljonus tonnu. [2] Tiek prognozēts, ka pasaules iedzīvotāju skaits turpinās pieaugt no pašreizējiem 7 miljardiem cilvēku līdz aptuveni 9 miljardiem 2050. gadā. [3] 2012. gadā pie šķiedru patēriņa 85.8 miljoni tonnu, pasaulē katrs iedzīvotājs patērēja vidēji 12.2 kg tekstilšķiedru. [1] Pieaugot iedzīvotāju skaitam paredzams, ka globālais šķiedru pieprasījums pieaugs vidēji par 3 % gadā. [4] Līdz ar to arī pieprasījums pēc tehniskiem tekstilizstrādājumiem, t.sk., neaustajiem materiāliem siltumizolācijas lietojumiem ir un būs pieaugošs.

Patlaban lielāko pasaules atjaunojamo šķiedru tirgus daļu ar aptuveni 85 % sastāda kokvilna; no tās izgatavo aptuveni 40 līdz 50% no visiem tekstilizstrādājumiem. [2] Taču kokvilnas šķiedru ražošana saistīta ar lielu enerģijas patēriņu un vides piesārņojumu ar audzēšanā lietotiem pesticīdiem un herbicīdiem. Bez tam kokvilnas audzēšanai piemēroto zemju platības sarūk Indijā, Ķīnā un Pakistānā, kas dominē pasaules kokvilnas ražošanā. [2] Pakāpeniski attīstās citas dabīgo šķiedru alternatīvas. Celulozes šķiedru (izņemot kokvilnu) ražošanas apjomi 2012. gadā par 10.2 % pārsniedza 2011. gadu, un sasniedza 5.2 miljonus tonnu. Kopumā šis ir desmitgades visdinamiskākais šķiedru segments, jo vidējais gada pieauguma temps kopš 2000. gada ir 5.4%. [1]

Latvijas apstākļiem piemērotas šķiedraugu kultūras ir vēsturiski audzētie šķiedru lini un kaņepes. Pētījumos darba ietvaros izmantotas šķiedru kaņepes. Kaņepes, salīdzinot ar

liniem, mazāk slimo un tās maz bojā kaitēkļi, tāpēc kaņepju audzēšanā praktiski netiek izmantoti pesticīdi un herbicīdi. [5] Tas savukārt samazina apdraudējumu ekosistēmai. Viena no biežāk minētajām rūpniecisko kaņepju izejmateriālu pozitīvajām īpašībām ir to ļoti plašais lietojums, praktiski visu augu var pārstrādāt un tā pārstrādes produktus izmantot ražošanā. Lūksnes šķiedras pārstrādā tekstilrūpniecībā, papīra ražošanā, būvmateriālu, ķīmiskajā rūpniecībā, autobūvē. Visu stiebru kā zaļo masu lieto enerģētikā, ķīmiskajā rūpniecībā, spaļus pārstrādā būvmateriālu, ķīmiskajā rūpniecībā, enerģētikā, lauksaimniecībā. No sēklām iegūst eļļu, ko izmanto pārtikai, farmācijā, enerģētikā, ķīmiskajā rūpniecībā, lauksaimniecībā.

Kaņepju šķiedras tradicionāli pārstrādātas galvenokārt austos tekstilizstrādājumos, bet pēdējo desmitgažu laikā pastiprināta interese ir vērsta uz to pārstrādi neaustos tehniskos tekstilizstrādājumos. Lūksnes šķiedru siltumizolācijas materiāli tiek uzskatīti par ekoloģiski labvēlīgiem materiāliem, kas ir viena no to svarīgākajām priekšrocībām.

Arī Latvijai ir svarīgi meklēt veidus kā no vietējām dabīgajām šķiedrām ražot ilgtspējīgus produktus. Šī darba ietvaros pētītas iespējas Latvijā audzētu kaņepāju šķiedras pārstrādāt neaustos materiālos siltumizolācijas lietojumiem.

Starp pozitīvajiem ieguvumiem no kaņepju šķiedru izmantošanas ēku siltināšanas materiālos jāmin zems enerģijas patēriņš un augsta oglekļa dioksīda piesaiste visā dzīves ciklā, laba izolācijas materiālu gaisa un ūdens tvaiku caurlaidība ļauj uzturēt veselīgu telpu mikroklimatu, ekspluatācijā un degot neizdalās toksiski savienojumi, veidoti no ikgadēji atjaunojamām izejvielām, nodrošina ar citiem tirgū piedāvātiem izolācijas materiāliem salīdzināmu siltumizolācijas sniegumu. Tādējādi kaņepes ir uzskatāmas par vērtīgu kultūru, kas paver iespējas attīstībai gan lauksaimniecībā, gan ražošanā.

Zinātniskā darba mērķis:

Veikt kompleksus pētījumus izvērtējot neausto materiālu tehnoloģiju ietekmi uz kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu īpašībām un izstrādāt siltumizolācijas materiālu prototipus uz vietējo ikgadēji atjaunojamu resursu bāzes.

Lai īstenotu izvirzīto mērķi, tika definēti sekojoši darba uzdevumi:

1. Apzināt un analizēt siltumizolācijas materiālu izgatavošanai piemērotas neausto materiālu izgatavošanas metodes un tehnoloģijas, veikt to salīdzinošu analīzi;
2. Veikt neausto materiālu eksperimentālu paraugu izstrādi laboratorijas apstākļos no divu kaņepāju šķirņu šķiedrām ar trim augstas produktivitātes tehnoloģijām;

3. Testēt un novērtēt izstrādāto paraugu siltumizolācijas materiālus raksturojošās fizikālās īpašības;
4. Apzināt un sistematizēt citu globālajā tirgū esošu siltumizolācijas materiālu īpašības un salīdzināt ar pētījumu rezultātā izgatavotajiem paraugiem;
5. Veikt piedāvāto neausto siltumizolācijas materiālu ekonomisko novērtējumu un salīdzināt ar globālajā tirgū esošo kaņepju šķiedru izolācijas materiālu cenām.

Tēmas aktualitāte:

Latvijā kopš 2008.gada novērojama augoša interese par industriālo kaņepju audzēšanu. Pieprasījumam pēc kaņepju tehniskajām šķiedrām globālajā tirgū ir tendence pieaugt. Tā kā nozare Latvijā ir jauna un pēdējo divdesmit gadu gaitā zaudēta pieredze un neausto tehnisko tekstiliju ražošanas tradīcijas, ir kļuvusi aktuāla nepieciešamība veikt kompleksus zinātniskos pētījumus vērstus uz Latvijā audzētu kaņepju šķiedru pārstrādes iespēju izpēti un ilgtspējīga gala izstrādājumu sortimenta veidošanu ar augstu pievienoto vērtību.

Kaņepes ir augstražīgas, otrreiz pārstrādājamas, dabā sadalās. Atšķirībā no citām dabiskajām šķiedrām, tām nav dabisko kaitēkļu, šķiedra nepūst, nebojājas. Kaņepes augsnes ziņā nav izvēlīga kultūra, praktiski iztiek bez augu aizsardzības līdzekļiem (pesticīdi, herbicīdi). Tās uzlabo augsnes struktūru un ar savu biomasu nomāc nezāles. Lai atjaunotu sēklu un šķiedru kaņepju audzēšanu Latvijā, balstoties uz vietējiem kloniem tiek veidota sēklu kaņepju šķirne „Pūriņi”, tās šķiedras būs blakus produkts. Pilna risinājuma veidošanas procesā nepieciešams veikt atbilstošus pētījumus un piedāvāt zemniekiem un uzņēmējiem iespējas pārstrādāt ne tikai sēklas, bet arī stiebrus produktos ar iespējami augstu pievienoto vērtību. Promocijas darbā veiktie pētījumi, salīdzinot Latvijas klimatiskajiem apstākļiem atbilstošas sēklu kaņepju „Pūriņi” šķiedru tehniskās īpašības ar Eiropā rajonizētas šķirnes „Bialobrzeskie” šķiedru īpašībām, kā arī izstrādātie izolācijas materiālu prototipi, piemērojot neausto materiālu tekstiltehnoloģijas, un izstrādāto materiālu īpašību salīdzinošas analīzes rezultāti dod būtisku ieguldījumu problēmu ķēdes „zemnieks-sēkla-lauks-produkts-lietojums” risinājumos.

Izstrādājot tehnisko tekstiliju - siltumizolācijas materiālu prototipus un atjaunojot kaņepāju audzēšanu un neausto materiālu ražošanas tradīcijas Latvijā tiktu nodrošināta iespēja sekmēt gan lauksaimniecības, gan rūpniecisko attīstību, kā arī ražoto produktu eksportu.

Izvēlētās tēmas aktualitāte ir arī saistīta ar fosilo izejvielu bāzes siltumizolācijas materiālu kaitīgās ietekmes mazināšanu gan uz cilvēku, gan vides veselību, ekoloģiskās situācijas uzlabošanu. Viena no šīs problēmas atrisināšanas iespējām ir siltumizolācijas materiālu izveidošana balstoties uz vietējām, ātri atjaunojamām izejvielām.

Promocijas darba praktiskā nozīme:

Promocijas darbs sniedz priekšstatu par kaņepju šķiedru neausto siltumizolācijas materiālu izgatavošanas tehnoloģiju lietojumiem. Pētījuma rezultāti ir izmantojami tehnisko tekstiliju ražošanas attīstības veicināšanā un sortimenta plānošanā, tas ir noderīgs materiāls kaņepju šķiedru neausto materiālu ražošanas uzsācējiem viņu praktiskajā darbā. Darbs pamato un nostiprina kaņepju audzēšanu un pārstrādi kā svarīgu jomu Latvijas tautsaimniecībā, piedāvā integrētu pieeju lauksaimniecības un pārstrādes sinhronai attīstībai, kā arī neausto siltumizolācijas materiālu prototipus, to īpašību salīdzinošas analīzes rezultātus un testēšanas metožu aprakstus potenciālajiem investoriem un uzņēmējiem. Dažādie darbā apskatītie aspekti izmantojami profesionālās izglītības sistēmā.

Promocijas darba novitāte:

Latvijā līdz šim veikti dažī fragmentāri pētījumi par kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu sastāvu iespējamiem variantiem, paraugus izgatavojot ar ļoti amatnieciskām tehnoloģijām, nosakot tikai dažas to īpašības. Promocijas darbā veiktie kompleksie pētījumi saistot šķiedru izcelsmi un neausto materiālu rūpnieciskas izgatavošanas tehnoloģijas (termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas) ar neaustu siltumizolācijas materiālu lietojumiem atbilstošām īpašībām un to salīdzinoša analīze, kā arī piedāvātie izolācijas materiālu prototipi, t.sk. no Latvijas genotipa „Pūriņi” šķiedrām, ir tēmas novitātes vērstas uz aktuālu tautsaimniecības un ekoloģijas problēmu risinājumu meklējumiem gan Latvija, gan arī citās ES valstīs. Darbā pierādīts: lai arī kaņepju genotips „Pūriņi” ir izteikta sēklu šķirne, tās šķiedras ir līdzvērtīgi izmantojamas izolācijas materiālos nodrošinot nepieciešamās funkcijas un kompensē zemāku stiebru masu ar bagātu sēklu ražu, kas ir vērtīga izejviela pārtikas un tehnisku produktu izgatavošanai, kā arī var nodrošināt nākošās sezonas sējplatības ar sēklu.

Pētījuma hipotēze:

Neausto materiālu tekstiltehnoloģijas ļauj iegūt no Latvijas klimatiskajos apstākļos audzētu kaņepju šķiedrām ekoloģiski tīrus izolācijas materiālus, kas nodrošina augstu siltumizolācijas spēju, ēkas „elpošanu”, iekšvides mitruma un temperatūras regulāciju.

Promocijas darba aprobācija:

Publikācijas par promocijas darba tēmu

1. **Freivalde L.,** Kukle S., Andžs M., Bukšāns E., Grāvītis J. Hemp raw insulation materials flammability, *Composites Part B: Engineering*, 2014, apstiprināts publicēšanai, elektroniski pieejams: DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.08.007
2. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Thermal properties of hemp fibre non-woven materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2013, Vol.49, pp. 4, ISSN: 17578981, Available from: doi:10.1088/1757-899X/49/1/012030
3. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Hydro-entangled hemp fibre non-wovens. **In:** *Proc. of the International Conference „Advances in Functional Textiles”*, Manchester: The Textile Institute, 2013, pp.6. ISBN 978-0-9566419-4-6.
4. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Comparative Analysis of Thermo Bonded and Needle Punched Hemp Nonwoven Material Properties. **In:** *Proc. of the International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles – 6*. Croatia, Dubrovnik, October 2012. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2012, pp. 47.-52. ISSN 1847-7275.
5. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Renewable Hemp Fibre Insulation Materials. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. 2012, Vol.6, pp 418-423, ISSN 1691-6069. Available from: doi:10.1166/jbmb.2012.1236.
6. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Thermalbonded Hemp Fibre Insulation Materials. **In:** *Proc. Of 12th AUTEX World Textile Conference "Innovative Textile for High Future Demands"*. Croatia, Zadar, 13-15 June, 2012, pp.1655.-1660. ISBN 9789537105471.
7. **Freivalde L.,** Kukle S. Content of Hemp Fibres and Properties of Nonwovens. *RTU zinātniskie raksti, Materiālzinātne*. Vol.7, 2012, pp. 84.- 89. ISSN 1691-3132.
8. **Freivalde L.,** Kukle S. Mechanical Properties of Hemp Fibres and Insulation Materials. **No:** *Biznesa augstskolas Turība XIII starptautiskā zinātniskā konference Ilgtspējīga uzņēmējdarbība mainīgos ekonomiskos apstākļos*. Latvija, Rīga, 30. Marts, 2012, lpp. 45.-52. ISSN 1691-6069.
9. **Freivalde L.,** Kukle S., Puplakse V., Purina B. Comparative analysis of hemp fiber grown in year 2010th. **In:** *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources*. Rēzekne: RA Publishing House, 2010, pp. 340.-345. ISSN 1691-5402.
10. **Freivalde L.,** Kukle S., Puriņa B., Stramkale V. Durability Properties of Hemp Fibers. **In:** *Proc. of the International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles - 5*. Dubrovnik, October 2010. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010, pp. 83-86. ISSN 1847-7275.
11. Stramkale V., **Freivalde L.,** Kukle S. Analysis of the renewable fibres properties and uses in scale of Latvia. **In:** *41st International Symposium on Novelties in Textiles*. Slovenia, Ljubljana, 27-29 May, 2010, pp. 300- 325. ISBN 978-609-95098-2-2.
12. **Freivalde L.,** Kukle S., Ulme A. Salīdzinoša kaņepju šķiedru ilgizturības analīze. *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne*. Vol.5, 2010, pp. 134.-138. ISSN: 1691-3132.
13. **Freivalde L.,** Ulme A. Atjaunojamo izejvielu attīstība Latvijas teritorijā. *RTU Zinātniskie raksti. Materiālzinātne*. 4. sēj., 2009, 63.-67. lpp. ISSN: 1691-3132.

1. **Freivalde L.**, Kukle S., Andžs M., Bukšāns E., Grāvītis J. Hemp raw insulation materials flammability. *4th Conference on Natural Fibre Composites*, Rome, 17-18 October 2013.
2. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Hydro-entangled hemp fibre non-wovens. *International Conference: Advances in Functional Textiles*. Manchester, 25-26 July, 2013.
3. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S., Thermal properties comparative analysis of thermal bonded, needle-punched and hydro-entangled non-wovens. *Conference of functional materials and nanotechnologies „FM&NT – 2013”*. Tartu, Estonia, April 21st – 24th, 2013.
4. **Freivalde L.**, Kukle S. Content of Hemp Fibres and Properties of Nonwovens. *RTU 52 International Scientific conference*. 12 October, 2012.
5. **Freivalde L.**, Kukle S. Mechanical Properties of Hemp Fibres and Insulation Materials. *Biznesa augstskolas Turība XIII starptautiskā zinātniskā konference „Ilgtspējīga uzņēmējdarbība mainīgos ekonomiskos apstākļos”*. Rīga, 2012. gada 30. marts.
6. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Renewable Hemp Fibre Insulation Materials. *3rd International Conference on Innovative natural fibre composites for industrial applications*. Rome, October 12-14, 2011.
7. **Freivalde L.**, Kukle S., Puplakse V., Purina B., Comparative analysis of hemp fiber grown in year 2010th. *8th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources*. Rēzeknes Augstskola, Rēzekne, 20.-22. jūnijs, 2011.
8. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Comparative Analysis of Thermo Bonded and Needle Punched Hemp Nonwoven Material Properties. *International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles – 6*. Croatia, Dubrovnik, October 7-10, 2012.
9. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Thermalbonded Hemp Fibre Insulation Materials. *12th Autex World Textile Conference "Innovative Textile for High Future Demands"*. Croatia, Zadar, 13.-15. June, 2012.
10. **Freivalde L.**, Kukle S., Puriņa B., Stramkale V. Durability properties of hemp fibers. *5th International textile clothing & design Conference “Magic World of Textiles”*. Croatia, 3 - 6 October, 2010.
11. Stramkale V., **Freivalde L.**, Kukle S. Analysis of the renewable fiber properties and uses in scale of Latvia. *41st International Symposium on Novelties in Textiles*. Ljubljana, Slovenia, 27-29 May, 2010.
12. **Freivalde L.**, Kukle S., Ulme A. Salīdzinoša kaņepju šķiedru ilgizturības analīze. *RTU 51. starptautiskā zinātniskā konference. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Rīga, 15. oktobris, 2010.
13. **Freivalde L.**, Ulme A., Atjaunojamo izejvielu attīstība Latvijas teritorijā. *RTU 50. starptautiskā zinātniskā konference. Tekstila un apģērbu tehnoloģijas*. Rīga, 15.-16. oktobris, 2009.

1. SITUĀCIJAS ANALĪZE

Laika posmā no 1980. līdz 2008. gadam globālo dabas resursu ieguve palielinājusies par 78% un turpina pieaugt. [6] Šai tendencei turpinoties daudzi resursi var izbeigties jau pārskatāmā nākotnē. Bez tam novērtēts, ka neefektīva resursu lietošana rada ES industrijai ~ 450 miljardus eiro zaudējumus gadā. [7] Ņemot vērā konstatēto resursu izmantošanas neefektivitāti un to, ka dabas resursu ietilpība rūpnieciski ražotos produktos vidēji sastāda 45-50% (izejvielas, enerģija), 2011. gada sākumā Eiropas Komisija izvirzīja iniciatīvu, kas paredzēja, ka 2020. gadā ES jākļūst par Resursu Efektīvu Savienību. Pēc trim mēnešiem sekoja nosprausts maršruts, kā to panākt, vēl pēc trim mēnešiem - Eco-inovāciju Darbības plāns, kas detalizēja komisijas norādīto virzienu. [8; 9] Resursu efektivitāte panākama ilgtspējīgi izmantojot resursus un samazinot to ietekmi uz vidi. Praksē tas nozīmē, ka atkritumu apjomam jātiecas uz nulli.

Uzlabojumi ēku būvniecībā un ekspluatācijā varētu samazināt par 42 % kopīgo ES enerģijas patēriņu, samazinātu siltumnīcas efektu radošo gāzu emisiju par ~ 35 % un materiālu ieguvi vairāk kā par 50 %, rezultātā arī par 30 % samazinātu ūdens patēriņu. Ievērojami uzlabojumi resursu un enerģijas izmantošanā visā to ekspluatācijas laikā iespējami, liekot lietā ilgtspējīgus materiālus, palielinot atkritumu pārstrādes apjomus un spektru, spētu padarīt celtniecības nozari konkurētspējīgāku un veicinātu efektīvāku resursu izmantošanu. [10]

Resursu efektīva ražošana (ekoražošana) veido šīs vīzijas minimālus drošības standartus, definē tirgus un politikas iniciatīvas investīcijas resursu efektivitātes paaugstināšanai un ekonomikas izaugsmei bez resursu patēriņa pieauguma un vides kaitējumiem. Šai kontekstā nozīmīgs ieguldījums ir neatjaunojamo resursu pilnīga vai vismaz daļēja aizvietošana patēriņa un tehniskos produktos ar atjaunojamiem, vidi atveseļojošiem izejvielu resursiem, jaunu ilgtspējīgu produktu veidošana, kā arī vidi nepiesārņojošu, energoefektīvu tehnoloģiju izstrāde vai arī esošo tehnoloģiju piemērošana jauniem lietojumiem.

Neaustie tekstilmateriāli un to izgatavošanas tehnoloģijas attīstījušās balstoties uz tekstila, papīra un plastmasas tehnoloģijām un jau vairāk nekā pirms 40 gadiem kļuvušas par atsevišķu nozari. [11] Tā kā neausto materiālu lietošanas jomas un līdz ar to pieprasījums pakāpeniski pieaug, ir radušās jaunas tehnoloģijas un idejas izejvielu pārstrādes jomās.

Tehnisko neausto materiālu ražošanas nozare ES veido ~ 30 % no kopējā tekstilizstrādājumu apgrozījuma, neskaitot apģērbus. 2010. gadā tehnisko audumu ražošanā pasaulē patērēja 22 miljardus tonnu jeb 27.5 % šķiedru no kopējā tekstilizstrādājumu un

apgērbu ražošanas apjoma. ES tirgus daļa svārstās no 20 - 33 % no pasaules tehnisko audumu ražošanas galveno apakšnozaru apjoma (230 miljardi ASV dolāru), ieskaitot neaustos un kompozītmateriālus. Pēdējo desmit gadu laikā neaustie materiāli ir piedzīvojuši 60 % lielu izaugsmi. [12]

Neausto materiālu izgatavošanai izmantojamas praktiski visu veidu (dabiskās, mākslīgās, sintētiskās) šķiedras. Šobrīd vairāk nekā 80 % no šķiedrām, ko izmanto tehnisko neausto materiālu ražošanā, ir sintētiskās šķiedras, [12] t.sk. visvairāk lietotās ir polipropilēna, poliestera un viskozes šķiedras. Lai ierobežotu klimata pārmaiņas un pielāgotos gaidāmajai sintētisko resursu nepietiekamībai, neausto materiālu ražošanā ir svarīgi arvien vairāk izmantot dabas šķiedras. Arī sintētisko šķiedru pieaugošās izmaksas ir palielinājušas pieprasījumu pēc dabas šķiedrām. Šajā sakarā Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komiteja rosina Eiropas Komisiju veicināt dabas šķiedru, t.sk., linu, kaņepju, vilnas, celulozes šķiedru un biopolimēru ražošanu, lai nodrošinātu ar vietējām izejvielām daudzveidīgas tautsaimniecības jomas. [12] Kaņepju šķiedras ir lieliska izejviela dažādu biezumu neausto materiālu ražošanā, tā kā tās ir viegli integrējamas esošās neausto materiālu ražošanas sistēmās.

Pirmās nodaļas mērķis ir sniegt ieskatu kaņepju nozares attīstības vēsturē pasaules un Latvijas kontekstā, apskatīt kaņepju izejvielu un neausto materiālu izmantošanas un ražošanas iespējas, ilgtspējības aspektus. Apskatīt šķiedru izmantošanu iespējas neausto materiālu izgatavošanā un pielietojamībā celtniecības materiālu jomā kā siltumizolācijas materiālus.

1.1.Neausto materiālu ražošanas tehnoloģijas ēku siltumizolācijas lietojumiem

1.1.1. Ēku sektoram izvirzītās prasības energosursu patēriņa un globālās sasilšanas samazināšanai

Eiropas Parlaments aicinājumā īstenot prioritātes, kas noteiktas Komisijas paziņojumā “Energoefektivitātes rīcības plāns: potenciāla izmantošana”, norādīts, ka būtisks potenciāls rentablam enerģijas ietaupījumam ir ēku sektorā, kas izlieto 40 % no ES kopējā enerģijas patēriņa. Tā kā ēku sektoram ir tendence paplašināties, tas palielinās arī enerģijas patēriņu. Eiropas Parlamenta un Padomes Lēmumā Nr. 406/2009/EK ir noteikti ES dalībvalstīm saistoši mērķi CO₂ samazinājumam; to īstenošanu sekmēs energoefektivitātes uzlabošana ēku sektorā. [13]

Ēku ekspluatācijas laikā svarīgi telpās nodrošināt optimālu mikroklimatu (gaisa, mitruma un temperatūras režīmu), patērējot minimālu kurināmā daudzumu. Jo labāka ēkas norobežojošo konstrukciju siltumizolācija jeb lielāka siltumpretestība, jo mazāki ēkas siltuma zudumi, mazākas jaudas apkures ierīces un mazāk kurināmā jāizmanto telpu apsildīšanai. [14] Ja agrāk dzīvojamās ēkas cēla arī bez speciālas siltināšanas, iztiekot ar konstrukcijas materiāla siltumtehniskajām īpašībām, tad šobrīd sakarā ar energoresursu cenu pieaugumu un globālo sasilšanu, arvien vairāk uzmanība tiek pievērsta ēku siltuma zudumu samazināšanai. LR un ES normatīvajos dokumentos sniegtas norādes siltuma zudumu samazināšanai izolēt gan jaunbūvējamās, gan arī renovēt agrāk būvētās ēkas. [15; 16; 17] 2010. gada 19. maijā pieņemtajā Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvā „2010/31/ES par ēku energoefektivitāti” [13] nosprausts obligāts mērķis samazināt enerģijas patēriņu ES līdz 2020. gadam par 20 %. Savukārt Eiropas Parlamenta un Padomes „Lēmumā Nr. 406/2009/EK par dalībvalstu pasākumiem siltumnīcas efektu izraisošu gāzu emisiju samazināšanai” iestrādāta apņemšanās līdz 2020. gadam samazināt siltumnīcas efektu padziļinošu gāzu (oglekļa dioksīda CO₂, metāna CH₄, vienvērtīgā slāpekļa oksīda N₂O, fluorogļūdeņražu HFCs, perfluorogļūdeņražu PFCs un sēra heksafluorīda SF₆) emisijas, izteiktas oglekļa dioksīda ekvivalenta tonnās vismaz par 20 % salīdzinājumā ar 1990. gada līmeni. [16]

Ar 2012. gada 1. janvāri ir stājušies spēkā MK noteikumu Nr.907 "Dzīvojamās mājas, tajā esošo iekārtu un komunikāciju apsekošanas, tehniskās apkopes un kārtējā remonta noteikumi” grozījumi, kas nosaka minimālās prasības dzīvojamās mājas energoefektivitātes nodrošināšanai. Noteikumi paredz energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumu veikšanu, t.sk., arī renovāciju tajās daudzdzīvokļu mājās, kurās vidējais siltumenerģijas patēriņš pēdējos 3 kalendāra gados no noteikumu spēkā stāšanās brīža (2008., 2009. un 2010. gada apkures sezonās) ir pārsniedzis 230 kWh/m² gadā. [18] Saskaņā ar LR Centrālās statistikas pārvaldes datiem 2009. gada beigās LR ir reģistrētas 51 426 daudzdzīvokļu dzīvojamās mājas. Noteikumu projektā paredzētais siltumenerģijas patēriņa ierobežojums (vairāk nekā 230 kWh/m² gadā) ir attiecināms aptuveni uz 10% daudzdzīvokļu māju, kurām ir vislielākais energoefektivitātes paaugstināšanas potenciāls. [18]

1.1.2. Siltumizolācijas materiālu izvēli noteicošie kritēriji

Galvenie kritēriji, kas nosaka siltumizolācijas materiālu veikspēju ir to siltumtehniskās īpašības (siltumpretestība), kā arī gaisa un ūdens tvaiku caurlaidība, t.i. spēja labi uzsūkt mitrumu un novadīt to apkārtējā vidē. Šīs īpašības variē atkarībā no tādiem parametriem kā

materiāla komponentu izcelsme, sastāvs, blīvums, biezums, porainība, mitrums, temperatūra utt.

No minētajām īpašībām siltumvadāmība uzskatāma par vissvarīgāko, [19; 20] jo no tās atkarīga siltumpretestība, ko izolācijas materiāls var nodrošināt. Siltumvadāmība ir vienāda ar siltuma daudzumu (W), kas laika vienībā izplūst cauri 1 metru biežam materiāla slānim caur 1 m² lielu virsmas laukumu, ja temperatūras starpība starp šī slāņa pretējām virsmām ir vienāda ar 1° C (K). Jo mazāks ir siltumvadāmības koeficients, jo materiāls ir labāks siltumizolators. [14] Siltumvadāmība ir atkarīga no materiāla blīvuma, porainības, sastāvdaļām u.c., [19] rezultātā tā var variēt samērā plašās robežās. Siltumizolācijas materiāla izolācijas efektivitāte var būtiski pasliktināties, palielinoties materiāla mitruma saturam, tā kā [20; 21] mitruma satura pieaugumam seko siltuma vadītspējas pieaugums (ūdens siltumvadāmības koeficients ir ~ 25 reizes lielāks nekā gaisa). Dažādu āra gaisa temperatūru un saules starojuma iedarbības rezultātā siltumizolācijas materiāli ir pakļauti nepārtrauktām temperatūras svārstībām un to siltumvadāmība var mainīties. [20; 22] Pētījumi liecina: jo augstākām temperatūrām materiāls pakļauts un izolācijas materiāla mitruma saturs ir augstāks, jo augstāki ir siltumvadāmības rādītāji. [23] Siltumvadāmība samazinās, ja pieaug blīvums, taču izmaiņas ir salīdzinoši nelielas. Siltuma pretestību var efektīvi paaugstināt, ja vienlaicīgi palielina izolācijas materiāla slāņa biezumu un samazina siltumvadāmību. [19]

Tradicionāli siltumizolācijas materiāliem raksturīgs mazs blīvums un mazs siltumvadāmības koeficients. Vislabākie siltuma izolatori ir sīkporaini materiāli; to nodrošina porās ieslēgtais gaiss, pie nosacījuma, ja tas atrodas miera stāvoklī. Neaustajos materiālos mazākas poras var panākt izmantojot neliela diametra šķiedras/ šķiedru kūlīšus. [24] Tas sasaucas ar citiem pētījumiem, kuros konstatēts, ka šķiedru kūlīšu šķēsgriezums tieši ietekmē neaustā materiāla īpašības. [25] Siltumvadāmība pieaug, ja gaiss ir kustībā, palielinoties kustības ātrumam. Pieaugot poru izmēriem, siltuma zudumus izraisa gaisa kustība. No teiktā kļūst saprotams, ka ne vienmēr mazāka blīvuma materiālam ir mazāka siltumvadāmība.

Ja izolācijas materiāla blīvums nemainās, palielinoties tā biezumam, palielinās materiāla siltumizolācijas spēja, jo pieaug materiālā ieslēgtā gaisa apjoms. Savukārt, ja saglabājas nemainīgs biezums, siltumizolācijas spēja samazinās, palielinoties materiāla blīvumam, jo ieslēgtā gaisa apjoms samazinās, rezultātā palielinās tā siltumvadāmība un samazinās siltuma pretestība. [26; 27]

Celulozes bāzes neausto materiālu siltumizolācijas īpašības ietekmē gan šķiedru morfoloģiskās īpašības (mikroskopiskais līmenis), gan neaustā materiāla fizikālās un

strukturālās īpašības. Šķiedrām piemītošai siltumvadāmībai ir svarīga loma definējot neaustā materiāla siltumvadāmību, neatkarīgi no neaustā materiāla strukturālajiem aspektiem. [27] Celulozes šķiedru morfoloģija (augu orgānu uzbūve un formas) lielā mērā nosaka to siltumvadāmību. Pierādīts, ka pat viena tipa kultūras (piem, kaņepju) ietvaros, šķirnes ietekme var izpausties kā izmaiņas siltuma pārnēsē. [28] Tādiem parametriem kā šķiedru siltumvadāmība, šķiedru diametrs, garums un šķiedru orientācija [29; 30] ir būtiska ietekme: smalkākas šķiedras ar mazāku diametru palielina absorbcijas platību, līdz ar to izolācijas spēju.

Siltumizolācijas kopējo līmeni raksturo ēkas sienas/ griestu/ grīdu siltuma caurlaidības koeficients (U vērtība). Tas ir integrēts rādītājs, kas atkarīgs ne tikai no izmantotā izolācijas materiāla, bet arī no citiem materiāliem, kas iebūvēti sienā, grīdā, griestos, durvīs utt. Tādēļ svarīgi noskaidrot attiecības starp jebkura materiāla siltumvadāmību un tā siltuma pārnēses īpašībām. [31]

Bez galvenās funkcijas - siltuma pārnēses kavēšanas starp ēku un vidi - siltumizolācijas materiālam jāsamazina arī skaņas vadīšana, jānodrošina aizsardzība pret mitrumu, jāuzlabo ugunsdrošība. Izolācijas materiālā jālīdzsvaro divi pretrunīgi aspekti - gaisa, ūdens tvaiku (mitruma) necaurlaidība un pārāk liela caurlaidība. Pirmais no tiem rada priekšnoteikumus, lai veidotos kondensāts, pelējums un pūšana, savukārt pārāk liela caurlaidība rada siltuma zudumus. Lai saglabātu mitrumu zem līmeņa, kas rada pūšanas draudus, mitrumam gan jāiekļūst materiālā, gan jāizkļūst no tā. Materiāla mitruma uzkrāšanas kapacitāte ir atkarīga no laika, temperatūras un materiāla īpašībām un ir atšķirīga dažādiem materiāliem. [23] Materiāla caurlaidība ietver ne tikai ūdens tvaiku caurlaidību, bet arī materiāla spēju, relatīvam mitrumam paaugstinoties un samazinoties, absorbēt mitrumu no atmosfēras un to atbrīvot (higroskopiskās īpašības), kā arī absorbciju un ūdens izdalīšanos šķidrā veidā (kapilaritāte). Piemēram, minerālvatei ir laba tvaika caurlaidība, bet sliktas higroskopiskās un kapilārās īpašības.

Dabas šķiedru izolācijai ir ļoti labas higroskopiskās īpašības, bet mainīgas kapilāru īpašības, un tie visi ir ūdens tvaiku caurlaidīgi, kas ir ļoti svarīgi, ja konstrukcijas materiālu bojā paaugstināts mitrums, piem., koka konstrukcijas. [32] Standarta lietošanas apstākļos, mitruma regulācija un caurlaidīgas struktūras, ir lielisks risinājums, kas pazīstams celtniecības nozarē gadsimtiem ilgi. Šādas struktūras, papildus ūdens tvaikiem, laiž cauri arī citas gāzes, piemēram, oglekļa dioksīdu. [33]

Tādi dabas šķiedru siltumizolācijas materiāli kā aitu vilna, džuta, kaņepju, linu, koka šķiedras u.c. var nodrošināt zemu siltumvadāmību un uzturēt efektivitāti, tai pat laikā ļaujot ēkai būt „elpojošai” (spēja uzņemt un atdodot ūdens tvaikus), novēršot kondensāta postījumus. Minētie šķiedru materiāli var uzņemt mitrumu līdz pat 40 wt %, paliekot sausi pēc taustes un saglabājot siltumu izolējošo sniegumu. Turpretim pakļaujot kaut vai minimālai mitruma iedarbībai mākslīgo šķiedru siltumizolācijas materiālus, var ievērojami pasliktināties to siltumizolācijas īpašības, tā kā sintētiskās šķiedras ir hidrofobas (neuzsūc mitrumu), tās nenovērš kondensāta radītās problēmas.

Pētījumu rezultāti liecina, ka šķiedru īpašībām ir būtiska ietekme uz tekstilmateriālu fizikālajām, mehāniskajām un termiskajām īpašībām, bet materiāla strukturālajām īpašībām (biezums, virsmas blīvums, blīvums) ir būtiska ietekme uz gaisa un ūdens tvaiku caurlaidību. [34] Savukārt neausto materiālu struktūra un gaisa caurlaidība ir ļoti atkarīga no šķiedru diametra un šķērsriezuma formas. [35] Materiāla ūdens tvaiku caurlaidība ir atkarīga no vairākiem faktoriem, t.sk., šķiedru veida un materiāla biezuma. [36]

Maza blīvuma, porainu neausto materiālu siltumizolācijas īpašības stipri ietekmē, cik stipri tas tiek saspiegts formēšanas procesos un, cik elastīgi pēc tiem ieņem galīgo biezumu. Daudzslāņu struktūras nodrošina labāku siltumizolāciju, jo tās ir elastīgākas. [37]

Skaņu absorbējošās īpašības ir atkarīgas no materiāla biezuma, poru izmēriem un porainības. [38]

Liels dabas šķiedru ierobežojums lietošanai būvniecībā ir to nepietiekošā ugunsdrošība, ko jāpalielina ar speciālu apstrādi. Kaņepju šķiedru noārdīšanās sākas pie relatīvi zemas temperatūras - starp 150 un 280° C, kas ir saistīta ar hemicelulozes un pektīna sadalīšanos. [39- 41] Tāpēc jebkāda veida kaņepju šķiedru termiskā apstrāde ir jāierobežo līdz ~ 150° C temperatūrai. Celuloze sāk sadalīties starp 200° un 300° C ar strauju masas zudumu pie 300 un 420° [40; 42; 43] Pēdējais, pie augstām temperatūrām (200- 600°C) sadalās lignīns. [44; 45] Tomēr jāņem vērā, ka kaņepju šķiedru karsēšana starp 160° C un 260° C izraisa lignīna mīkstināšanos, kā rezultātā notiek šķiedru kūlīšu sadalīšanās atsevišķās šķiedrās. [46] Attiecīgi līdz 300° C sadalās vājākās lignīna saites, bet pie augstākām temperatūrām sadalās stiprākās saites. Tādējādi mazāks lignīna saturs uzlabo šķiedru ugunsizturību. [47]

Lūksnes šķiedru aizsardzībai pret degšanu var izmantot praktiski jebkuru antipirēnu, piem., kādu no neorganisko skābju amonija sāļiem. Slāpekļa, sēra un/ vai fosfora komponentes ir kompostējamas, atrisinot dabas šķiedru bāzes materiālu likvidācijas problēmas. [48] Arī citos patentos neausto materiālu uguns aizsardzībai minēti antipirēni uz

fosfātu bāzes, kas satur slāpekli. Piemēram, amonija, melamīna un guanidīna sāļi, polifosforskābes, kā arī bora savienojumu maisījumi, piem., borskābe, nātrijs, kālijs un amonija borāti. [49] Dažādos pētījumos apskatīti konkrēti antipirēni, kas uzlabo ugunsreakcijas rādītājus celulozi saturošiem materiāliem, [50] piem., amonija fosfāts un diamonija fosfāts [51; 52] amonija polifosfāts [53; 54]

Termoliedēšanas procesā sāļus uz šķiedru klājuma var vienkārši uzkaisīt vai izsmidzināt, ievērojot konkrētam antipirēnam atbilstošas proporcijas; piem., boraku, borskābi un alumīnija hidroksīdu pievieno robežās līdz 15%. [55]

Aizdeģšanās ātrums kaņepju/ epoksīda kompozītam ir divreiz straujāks kā stikla vates/ poliestera standartam. Pēc apstrādes ar alumīnija hidroksīdu, kaņepju/ epoksīda aizdegšanās ātrums samazinājās līdz mazāk nekā pusei no stikla vates/ poliestera standarta. [56]

Gandrīz $\frac{3}{4}$ nāves gadījumu ugunsgrēku laikā notiek nosmokot dūmos, tie apgrūtina arī redzamību glābšanas darbos. Amonija hidroģenfosfāts, borskābe un cinka hlorīds palielina dūmu veidošanos. Turpretī nātrijs borāts, nātrijs dihromāts, amonija sulfāts un hidroģenfosfāts tos samazina. [57]

Vairumu siltumizolācijas materiālu ražo plātņu, lokšņu un paklāju veidā, bet ir pieejami arī berami, putu u.c. Pēc ķīmiskās uzbūves siltumizolācijas materiālus iedala: organisko materiālu izejvielas – koksne, līnī, kaņepes, vilna, kūdra, celuloze (ekovate), putu polistirols, poliuretāns, uzputotas plēves un cita veida polimērmateriāli un neorganiskajos (akmens un stikla vates, azbests). [58]

1.1.3. Ekoloģisku tehnoloģiju un materiālu ietekme uz iekštelpu un vides ilgtspējīgu attīstību

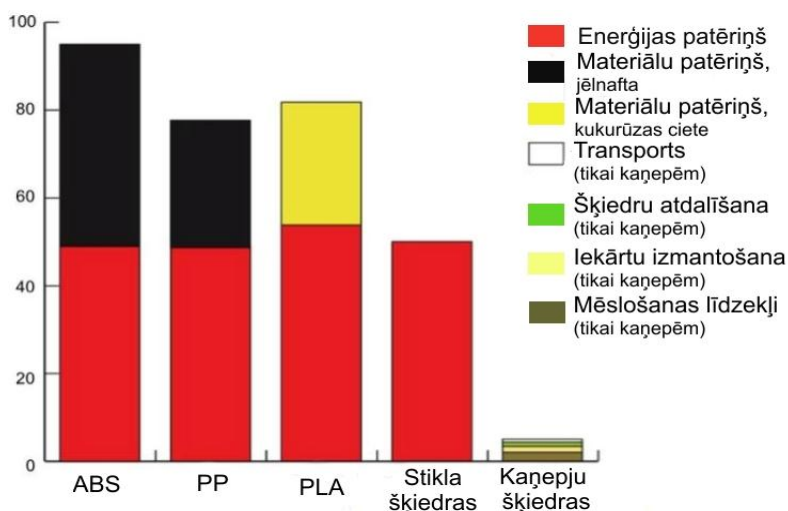
Siltumizolācijas materiālu izmantošanu ēku būvniecībā veicina gan ekonomiskie faktori (nepieciešamība taupīt resursus un enerģiju), gan sociālie (patērētāju augošās prasības pēc kvalitātes un ērtībām), gan vides aizsardzība (atbildība par klimata izmaiņu un piesārņojuma mazināšanu).

Pasaulē arvien vairāk uzmanība pievērsta vides veselības problēmām. Tā kā atbilstoši dominējošam dzīves stilam vairums iedzīvotāju līdz pat 90% laika pavada telpās, nozīmīgu vietu ieņem iekštelpu gaisa kvalitāte. [59; 60] Kā liecina pētījumi, neatkarīgi no tā vai ēka atrodas lauku vai rūpniecības rajonos, gaisa kvalitāte un tīrība iekšējās telpās mēdz būt 2 – 5 reizes zemāka nekā ārējā vidē. [61] Piesārņots iekštelpu gaiss izraisa slimības (galvassāpes, alerģiju, klepu utt.) un pazemina darba spējas. Gaisa piesārņojumus var izraisīt dažādi faktori, t.sk.,

celtniecībā izmantotie materiāli. Tas nozīmē, ka ekoloģiskais aspekts būvniecībā izmantoto tehnoloģiju un būvmateriālu izvēlē kļūst arvien noteicošāks.

Saskaņā ar Apvienoto Nāciju izstrādātu ilgtspējīgas attīstības rīcības plānu “*Agenda 21*” par videi draudzīgām tehnoloģijām uzskata tādas, kas aizsargā un samazina kaitīgo ietekmi uz vidi visā dzīves ciklā (izejmateriālu ieguve un pārstrāde, materiālu/produktu lietojums, otrreizēja pārstrāde un/ vai likvidēšana), izmanto mazāk resursus, pārstrādā vairāk atkritumus. [62] Tam seko tādi kritēriji kā dabisku materiālu izvēle, ventilācija un siltumizolācija, kas katrai pasaules vietai un klimatam ir atšķirīgi. Par dabiskiem materiāliem uzskata tos, kas iegūti no atjaunojamiem resursiem (vēlams no tuvākās apkārtnes) vai vairākas reizes izmantojami un pārstrādājami. Arī ēkas enerģijas patēriņam ir ļoti nozīmīga ietekme uz vidi – jo mazāk enerģijas tiek patērēts mājas apkurei, jo mazākas ir izmaksas un CO₂ emisijas. [63]

Kaņepju šķiedru ieguvei patērē vismaz 10 reizes mazāk enerģiju nekā stikla šķiedru vai uz ogļūdeņražiem bāzētu polimēru ražošanai (1.1.att.). [64] Pat epoksīda matricas kaņepju kompozītmateriālu dzīves cikla novērtējums ir labāks, salīdzinot ar stikla šķiedru kompozītiem. [65] Pieaugošā interese par kaņepēm daļēji radusies arī sakarā ar to, ka visā pasaulē strauji pieaug mežu izciršana; bez tam no kaņepju hektāra var iegūt četras reizes vairāk šķiedrvielu uz nekā no kokiem [66; 67] un viens ha kaņepju augšanas laikā absorbē līdz 18t CO₂, [68] vienā tonnā žāvētu kaņepju tiek uzglabāti 325 kg CO₂. [69]

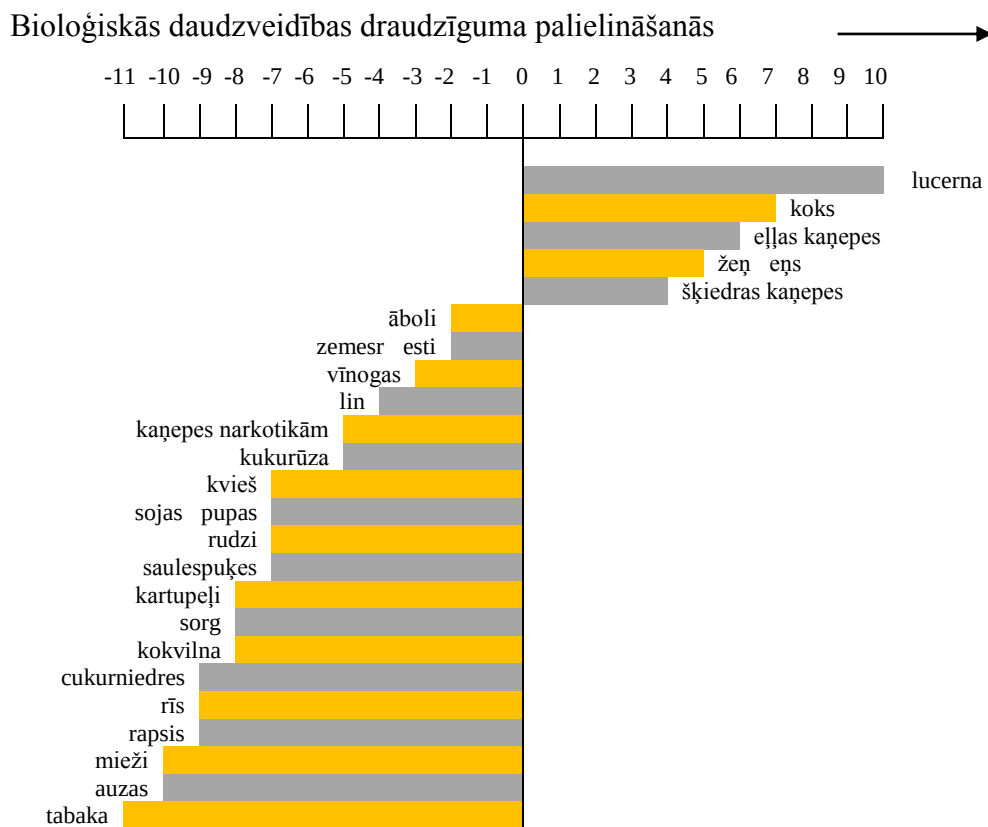


1.1.att. Dažādu šķiedru ieguvei nepieciešamais enerģijas patēriņš, MJ/ kg. ¹

ABS – akrilonitrila/ butadiena/ stirola polimērs; PP – polipropilēns; PLA – poliaktīds

¹ S. Piotrowski un M. Carus, “Latvijas kaņepju nozares attīstības iespēju priekšizpēte,” 2011.

Balstoties uz 26 kritērijiem veiktās pasaulē plaši izmantoto kultūraugu ekoloģisko īpašību analīzes izdalītas piecas videi draudzīgas kultūras, t.sk. šķiedru un eļļas kaņepes salīdzinājums (1.2.att.) [70]



1.2.att. Salīdzinošs integrēts ekoloģisko īpašību vērtējums

1.1.4. Kaņepju šķiedru neaustie materiāli ēku siltumizolācijas lietojumiem

Siltumizolācijas materiālu tirgū piedāvāto sortimentu līdztekus jauniem inovatīviem, augstas veiktspējas materiāliem (aerogel, [71] vakuuma paneļu izolācijas materiāli, [72] "multifoil" [73] papildina tradicionālie produkti, piedāvājot augstāku siltuma veiktspēju un nodrošinot vides un tās daudzveidības saglabāšanu. Monolīti būvmateriāli, piemēram, kaņepju kaļķbetoni vai salmu ķīpu konstrukcijas, ir alternatīvas, kas bez papildus siltināšanas uzrāda diezgan labus izolācijas rādītājus [74- 78]

Porainie un šķiedru bāzes izolācijas materiāli nodrošina līdz desmit reizēm labākus izolācijas rādītājus, salīdzinājumā ar tāda pat biezuma cietiem, monolītiem materiāliem, kā arī pietiekoši ilglaicīgu ekspluatāciju bez atteikumiem. Lūksnes šķiedru izolācijas materiālu kalpošanas laiks ir pusgadsimts. [79] Arī sintētisko šķiedru neaustajiem materiāliem ir vairākas pozitīvas īpašības, bet atšķirībā no dabas šķiedru materiāliem, tie degot izdala

kaitīgas gāzes, kā arī iekļāšanas un lietošanas laikā izdala kairinošus putekļus, vairums gadījumos nav biodegradējami.

Kaņepju šķiedru atsukas tradicionāli izmantotas kā izolācijas lentas starp guļbaļķiem. [80] Kopš 20.gs. 90. gadiem, kad pasaulē kaņepes kā svarīgu bio-produktu izejmateriālu atklāja no jauna, [81] izveidoti dažāda veida un biezuma neaustie materiāli kā komerciāli produkti ēku siltuma un skaņas izolācijai. [80] Pēc EIHA datiem uz 2009./ 2010.gadu ES saražoja 35'000 t kaņepju šķiedru. [64] Šī apjoma lielākā tirgus daļa (55%) nonāca papīra ražotnēs, savukārt 25.9 % tika pārstrādātas siltumizolācijas materiālos. [82]

Kaņepju izmantošanai siltumizolācijā ir gan pozitīvie, gan negatīvie aspekti. Pie pozitīviem faktoriem kaņepju komponentu integrēšanai būvmateriālos un kompozītos pieskaitāmi: 1) siltumnīcas efektu veidojošo gāzu un enerģijas ietaupījums gan kaņepju audzēšanas, gan kaņepju izolācijas materiālu dzīves cikla laikā; 2) kaņepju iekļaušana augu sekā uzlabo augsnes struktūru un ir teicama tehniska kultūra augu rotācijai; 3) kaņepes var audzēt bez vai ar nelielu herbicīdu un slāpekļa devu bez pesticīdu un fungicīdu lietojuma; [64] 4) kaņepju sastāvdaļas ir higroskopiskas, ar zemu blīvumu, degot nerada toksiskas vielas un viegli bioloģiski noārdās. [83] Savukārt kaņepju izolācijas materiāli var: 1) nodrošināt ar citiem izolācijas materiāliem salīdzināmu siltuma un skaņas izolāciju; 2) uzstādāmi bez aizsargtērpu un respiratoru izmantošanas; 3) ir ūdens tvaiku caurlaidīgi („elpojoši”), nodrošina darba/dzīvojamās telpās labvēlīgu mikroklimatu; [84] 4) kontrolē kondensātu, kas potenciāli var rasties siltam un mitram iekštelpu gaisam saskaroties ar vēsāko ārsienu gaisu, 5) ir pietiekoši noturīgi pret mikroorganismiem.

Pie ierobežojumiem jāmin: 1) ievērojami augstākas cenas salīdzinājumā ar naftas vai minerālu bāzes produktiem, kas mazina gan pieprasījuma, gan piedāvājuma pieaugumu; 2) nepieciešamas biezākas sienas. [84] 3) degšana [83] – lai nodrošinātu ugunsdrošības normatīviem atbilstošas degšanas īpašības, nepieciešamas papildapstrādes; 4) kaņepāju mērcēšana rasā aizņem lielas platības; mērcēšanas ūdens baseinos piesārņo ūdeni (maz skābekļa, daudz peldošu un izšķīdušu organisku vielu), ūdens attīrīšana ir energoietilpīga un rada papildizmaksas, kas var apdraudēt kaņepju izejvielu ražošanas dzīvotspēju; 5) pirmreizējās apstrādes procesos rodas daudz putekļu. Tomēr tie salīdzinoši lielo izmēru dēļ neiekļūst dziļi organismā, līdz ar to ir mazāk kaitīgi. [85]

Eiropā ir trīs ievērojami kaņepju šķiedras pārstrādātāji ar ilggadēju pieredzi: „HempTechnology” Lielbritānijā, „Badische Naturfaseraufbereitung” (BaFa) Vācijā un „HempFlax” Nīderlandē. Vācu kompānija Temafa Maschinenfabrik GmbH (dabīgu un

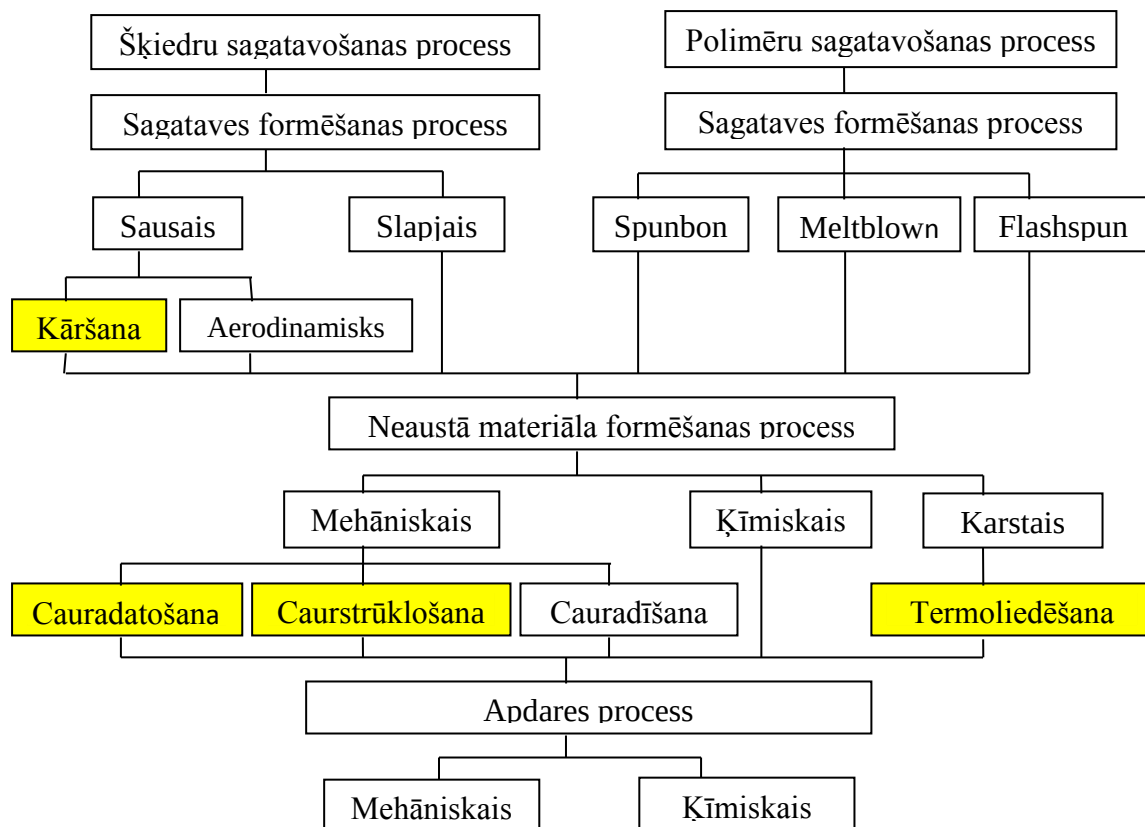
mākslīgi radītu šķiedru irdināšanas, tīrīšanas un jaukšanas tehnoloģiskās iekārtas) un Van Dommele Engineering NV no Beļģijas (šķiedru iegūšanas un apstrādes procesi) [64] „EcoTechnilin” dabisko šķiedru risinājumu ražotnēs Lielbritānijā un Francijā ir spējīgi saražot 7000 tonnas neaustu materiālu gadā. [86] Tos izgatavo ar cauradatošanas tehnoloģiju plašam lietojumu klāstam. Produktu klāstā ietilpst presēšanas procesā izgatavoti materiāli; 100% dabiski neaustie materiāli, kas piesūcināti ar termoreaktīviem sveķiem; dabiskās vai stikla šķiedras kombinācijā ar termoplastiskām šķiedrām; ar dabiskām šķiedrām armēti kompozītmateriāli; 100% dabisko šķiedru neaustie materiāli ar labām siltumizolācijas un akustiskām īpašībām (piem., apakšklājs *Feutralin*, ko lieto zem grīdu segumiem). [86]

Līdztekus tradicionālām kaņepju šķiedru izolācijas plātnēm, kas tiek iegūtas uz kokšķiedru izolācijas plātņu tehnoloģiskajām līnijām, [87] tiek veidoti un patentēti jauni sastāvi un jaunas izgatavošanas tehnoloģijas. Patentā (DE 19846704 A1, 2000, Vācija) piedāvāts izolācijas materiāls izmantošanai ēku celtniecībā, kas veidots no kaņepju garo, īso šķiedru un spaļu maisījuma, un slānim no abām pusēm pielīmēts, piešūts vai cauršūts speciāls papīrs, kā arī metode šī materiāla izgatavošanai. [88]

Leibniz institūta patentā (WO2005033380 A1, 2005, Vācija) [89] dota dabas šķiedraugu sagatavošanas metode. Svaigi novāktus stiebrus sasmalcina, un sasmalcināto maisījumu pakļauj šķirošanas procedūrai, kuras laikā šķiedras tiek atdalītas no citām augu sastāvdaļām. Metodei raksturīgs tas, ka atdalītās šķiedras tālāk izmanto celtniecības materiālu, t.sk., siltumizolācijas materiālu, ar šķiedrām stiprinātu kompozītmateriālu ražošanā. Promocijas darbā [90] šī metode izmantota kaņepju šķiedru plātņu izgatavošanā, kas paredzētas izmantošanai mēbeļu rūpniecībā, siltumizolācijas un telpu iekšējās apdares materiālu ražošanā. Gala produkta parametri: plātnes biezums robežās no 8 mm līdz 16 mm, blīvums robežās no 414 – 730 kg/m³, siltumvadītspēja mainās robežās no 0.074 līdz 0.125 W/m.K.

1.1.5. Neausto materiālu tekstiltehnoloģijas

Neausto materiālu tehnoloģija parasti ietver četrus secīgus procesus (1.3.att.): 1) komponentu sagatavošana; 2) sagataves veidošanas; 3) sagataves komponentu sasaiste; 4) apdare.



1.3.att. Neausto materiālu tehnoloģijas

Neausto materiālu izgatavošanā lieto divu tipu izejmateriālus, kas nosaka to apstrādes/iegūšanas tehnoloģijas 1) īsas dabas vai mākslīgās šķiedras (štāpeļšķiedras) vai 2) presētu polimēru granulas.

Piemērojot tekstiltehnoloģijas kaņepju stiebru pirmreizējās apstrādes procesā, šķiedras atdala no stiebra koksnainās daļas to salaužot, atdalot spaļus no šķiedrām kulkstīšanas procesā, atputeļojot ar sekojošu presēšanu ķīpās vai šķiedru klājuma veidošanu ar organizētām gaisa plūsmām un tā padevi uz nākošo otrreizējās apstrādes zonu, kur tiek veidota sagatave ar slapjo (wet-lay) vai sauso (dry-lay) procesu.

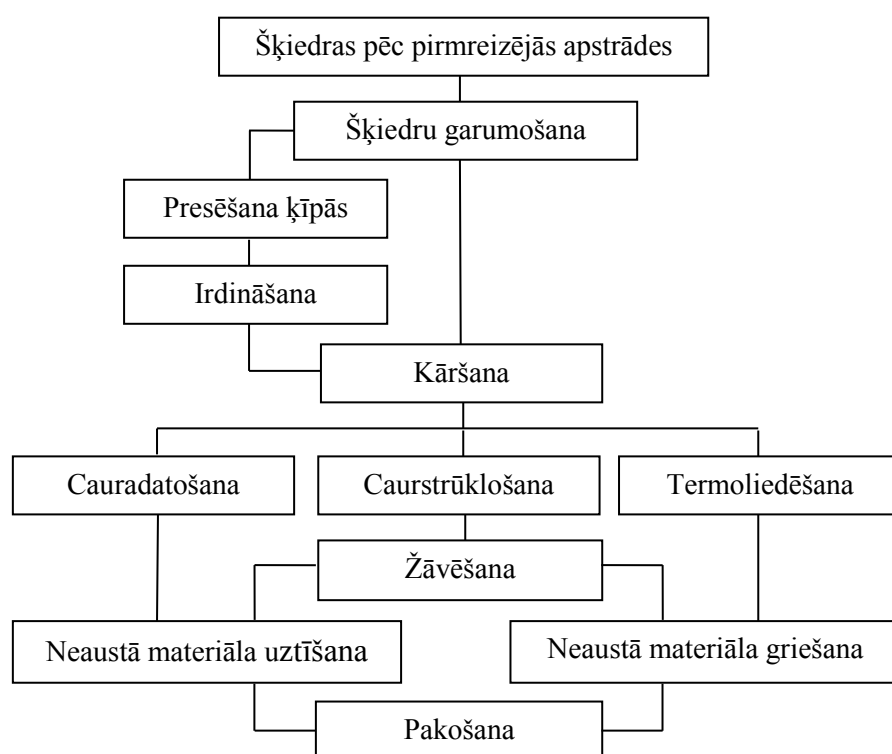
Slapjā tehnoloģija paredzēta īso šķiedru sasaistei (2-3 mm), tās izcelsme ir papīra ražošanā. Process ir ļoti energoietilpīgs, jo tas paredz žāvēšanu 2 līdz 4 stundas 120°-180°C temperatūrā, lai samazinātu mitrumu līdz 1-3 %, kas ievērojami ietekmē gala produkta izmaksas un ir viens no iemesliem, kāpēc pieprasījums pēc šādā procesā iegūtiem izolācijas materiāliem no augu šķiedrām ir ierobežots.

Savukārt izmantojot sauso metodi, sagatavi veido vispirms šķiedras irdinot (ja tās saņemtas no pirmreizējās apstrādes ķīpās), pēc tam kāršot vai arī formējot irdināto šķiedru slāni aerodinamiski (airlaid). Aerodinamiskajā procesā klājumu var veidot gan no īsām

(celulozes) šķiedrām, gan garākiem tehnisko šķiedru kompleksiem (linu, kaņepju tehniskās šķiedras), tomēr jāņem vērā, ka pārāk gari šķiedru kompleksi var bloķēt iekārtu darbību (veltni, transportlentas). Kāršanas tehnoloģija ļauj apstrādāt praktiski visu veidu štāpeļšķiedras (pieskaņojot šķiedru garumam darba orgānus un darba attālumus), izņemot ļoti īsas šķiedras (3 – 4 mm). [91]

Neaustā materiāla formēšanu, piemērojot tekstiltehnoloģijas, var veikt ar vairākām atšķirīgām sasaistes tehnoloģijām: 1) mehāniskām (cauradatošana, cauradīšana); 2) termiskām, kur nepieciešamo sasaisti nodrošina sagatavē iejaucot saistošas komponentes, to iemērcot saistvielās šķīdumā vai saistvielas uzsmidzinot/ uzputinot uz sagataves ar sekojošu karsēšanu (kontaktā ar sakarsētu veltnu virsmu vai sakarsēta gaisa plūsmā (termoliedējuma metode); 3) hidrauliskām, kur šķiedru sasaisti nodrošina caurstrūklojot sagatavi ar augsta spiediena ūdens strūklām secīgi izvietotos apstrādes mezglos (caurstrūklošana).

Noslēdzošajos apdares procesos neaustos materiālus pakļauj mehāniskai vai ķīmiskai apdarei, piešķirot uzlabotas funkcionālās (mitruma atgrūšana, ugunsizturība, nodiluma izturība) vai estētiskās īpašības (izskats, virsmas faktūra, krāsa, smarža). (1.3.att.).



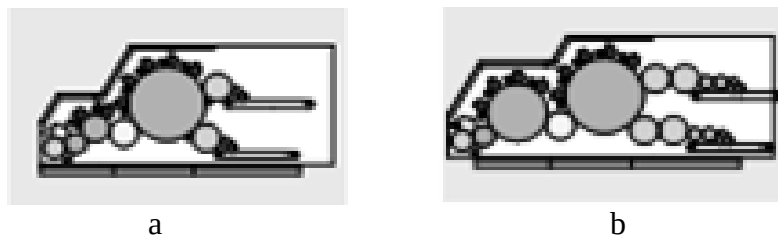
1.4.att. Neausto materiālu tekstiltehnoloģijas

Pēc kaņepāju pirmreizējās apstrādes iegūst samērā garus tehnisko šķiedru kompleksus ar lielu diametru, kas vairāku iemeslu dēļ nav piemērotas otrreizējai apstrādei. Garumošana jāaskaņo ar tehnoloģiskajā ķēdītē iekļautās kāršanas mašīnas darba orgānu specifiku, to veic ar giljotīnas tipa griezēju vai dažādā ātrumā rotējošiem veltnu pāriem, kas lielos šķiedru kompleksus sadala mazākos (1.4.att.). Jauna tipa kaņepju šķiedru smalcināšanas iekārta, kurā izmantots patentēts slīdošās griešanas princips, izgatavota Latvijā LLU īstenotā ERAF 2.1.1.1. apakšaktivitātes projekta "Jaunu kompozītbūvmateriālu izstrāde uz putuģipša bāzes ar šķiedraugu stiegrojumu un no tiem veidotu sistēmu pētījumi" ietvaros. [92]

Ja kaņepju stiebru pirmapstrāde un neaustā materiāla ražošana notiek vienas ražotnes nepārtrauktas līnijas ietvaros, pēc šķiedru griešanas tūlīt seko kāršana, kas ievērojami paaugstina produktivitāti. Savukārt, ja šķiedru pirmreizējā apstrāde un neausto materiālu ražotne ir teritoriāli atdalītas, sagriestās šķiedras presē ķīpās (1.4.att.).

Irdināšanas un kāršanas tehnoloģijas

Lielās, rūpnieciski ražotās kāršanas iekārtas ir veltnu tipa (samērā garu, elastīgu, nevienmērīga garuma šķiedru apstrādei) vai seggalviņu tipa (īsu, mazelastīgu, pēc garuma vienmērīgu šķiedru apstrādei) mašīnās. Lai gan kaņepju tehniskās šķiedras nav ļoti elastīgas (trūkšanas pagarinājums nepārsniedz 4 %), bet tai pat laikā ir nevienmērīgas pēc īpašībām, tām vairāk piemērota liekas veltnu tipa kāršanas tehnoloģija. Šobrīd ražotāji piedāvā daudzveidīgu veltnu tipa kāršanas mašīnu komplektāciju: ar mazāk (1.5.att., a) vai vairāk (1.5.att., b) jaudīgu priekškārsēju, divām kārsma noņemšanas sistēmām ar atšķirīgu blīvēšanas intensitāti, kā arī iespēju izvēlēties darba-noņemšanas veltnu pāru skaitu atbilstoši paredzamajam lietojumam.



1.5.att. Rūpnieciskās veltnu kāršanas iekārtas ²

² Trützschler Nonwovens GmbH, "Nonwovens," Krefeld, Germany

Ātrgaitas kāršanas iekārtas liela apjoma patēriņa preču ražošanai atkarībā no iekārtas konfigurācijas un šķiedru tipa nodrošina augstu produktivitāti, jo **darba platumi sasniedz 4.5 - 5 metrus**, atkarībā no šķiedru parametriem un platuma, **sagataves izvades ātrums var sasniegt 400 m/min.** [91] Iekļaujot tehnoloģiskajā ķēdē irdinātāju, veltņu kāršamajā mašīnā var iztikt ar mazāka skaita kāršanas punktiem. Tas samazina investīcijas un ekspluatācijas izmaksas, kā arī palielina produktivitāti. Darba platums 2.5m, 2000 kg/h. [93] Sagatavi no kāršanas iekārtas bez starpoperācijām padodot uz sekojošo apstrādes mezglu, piem., cauradatošanu, apstrādes operāciju skaits samazinās, tehnoloģiskās līnijas produktivitāte vēl vairāk palielinās.

Ātrgaitas kāršanas iekārtu darba orgāni ir segti, iestrādāta efektīva atsūkšanas sistēma, kas ne tikai aizvada atbrīvotās koksnainās daļiņas, bet arī regulē gaisa plūsmas spiedienu, nodrošinot netraucētu šķiedru kustību uz veltņiem. [91] Inovatīvs atsūkšanas princips un zāģzobainas darba orgānu garnitūras samazina iekārtas apkopes laiku, enerģiju un izmaksas. Standarta kāršanas mašīnai nepieciešamas 4 apkopes stundas ik pēc 160 ražošanas stundām, savukārt uzlabotam variantam „*Erko*” 4 apkopes stundas ik pēc 270 ražošanas stundām, attiecīgais produktivitātes pieaugums ir ekvivalents 68 t / a. [93]

Kāršanai atbilstoši šķiedru lineārie blīvumi robežās no 1 dtex līdz 300 dtex, šķiedras ar garumu robežās no 15mm līdz 250 mm. Vairums tehnoloģijās procesam pakļauj šķiedras ar garumu robežās no 45 mm līdz 100 mm, kārsuma virsmas blīvumu variējot robežās no 80 g/m² līdz 1000 g/m². [91]

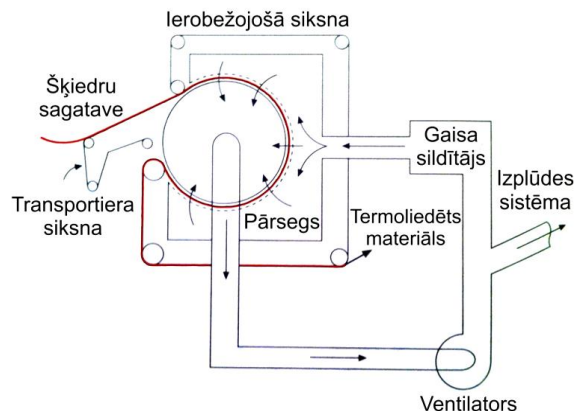
Termoliedējuma tehnoloģija

Izmantojot termoliedēšanas tehnoloģiju sagatavē pievieno vismaz 5 % saistošās šķiedras vai saistvielu pulvera/ granulu formā, kas kūst ievērojami zemākā temperatūrā nekā sasaistāmās šķiedras, lai novērstu to degradāciju. Karsējot termoplastiskā sastāvdaļa (šķiedra vai pulveris) kļūst viskoza vai kūst; [94] polimēram plūstot no šķiedras uz šķiedru, to krustošanās punktos veidojas līmēšanās apgabali. [95] Šobrīd vairāk lietotas ir polipropilēna šķiedras, kas kūst sasniedzot temperatūru 175° C. Ņemot vērā, ka kaņepju šķiedrās destruktīvie procesi sākas no 150° C, vairāk piemērotas ir divu komponentu polietilēna (kušanas punkts 130° C) - polipropilēna šķiedras. [94] Zemākas kušanas temperatūras PE apvalkā ieslēdzot augstākas kušanas temperatūras PP kodolu, iegūtās šķiedras var izmantot kā saistvielu, saglabājot tās šķiedru formā sasaistes procesā. [96] Līdz ar to tiek nodrošināti divi labumi: termoliedēšanas procesa temperatūra netuvojas dabas šķiedru temperatūras

pretestības robežai, divu komponentu šķiedras tiek integrētas materiāla struktūrā nodrošinot vairāk sasaistes punktus, kas uzlabo materiāla izturību un ļauj palielināt tehnoloģiskās līnijas ātrumu. Cita vēl labāka alternatīva ir dabiskās saistvielas. Bet tās pagaidām vēl ir salīdzinoši dārgas un stipri palielina gala produkta izmaksas.

Pirmos termoliedētos plaša patēriņa neaustos materiālus sāka ražot 1940. gadā. [95] Pieejami ne mazums patenti arī uz dabisko šķiedru, t.sk., kaņepju materiāliem un to izgatavošanas metodēm. Starptautiskais patents WO2010042536A1 (ASV, 2010) apraksta neaustu kompozītmateriālu, kas satur dabiskās šķiedras un metodi tā izgatavošanai: [97] liela diametra, ar lignīnu bāgātas dabas šķiedras (ieskaitot, bet neaprobežojoties ar kokosa šķiedrām) un termoplastiskas polimēru šķiedras (polipropilēns, polietilēns vai biodegradējami polimēri) tiek savstarpēji saliedētas kāršanas, cauradatošanas un termoliedēšanas tehnoloģijās. Starptautiskajā patentā WO2002027110A1 (Austrija, 2002) aizsargāts kaņepju šķiedru siltumizolācijas un/ vai skaņas izolācijas materiāls, ko izgatavo no 20- 1200 mm garām šķiedrām, vēlams robežās no 60- 700 mm ar diametru 0.01 - 0.2 mm, vēlams 0.01 mm - 0.1 mm, izgatavošanas procesā kaņepes vai jebkuras citas dabiskās šķiedras sasaista kopā vienotā sagatavē ar saistvielām, kas vēlams spēj bioloģiski noārdīties, piemēram, latekss. Sagatavi cauradato un pēc tam sasaista termoliedējot. [98] Atbilstoši izgudrotajai metodei saskaņā ar starptautisko patentu WO1999057353A1 [55] (Dānija, 1999) kaņepju vai linu šķiedru sagatavi, var izgatavot piejaucot mazāk saistvielu (0 -15%, vēlams 2- 3%) kaņepēm, salīdzinājumā ar līdzīgu sagatavi no koksnes šķiedrām (15- 20%), jo sagarumotās kaņepju šķiedras ir 4- 15 mm garas, bet koksnes 1- 3mm. Lai izgatavotu siltumizolācijas materiālu, sagatavi apstrādā ar karsto gaisu pie temperatūras, kas atkarīga no izvēlētās saistvielas (piem., sintētiskās šķiedras PP, PE). Patentos DE 19630828 A1 (Vācija, 1998) [49] un WO 2013093346 A1 (Francija, 2013) [99] aprakstīti dabisku šķiedru, t.sk., kaņepju siltumizolācijas materiāli, kas izgatavoti ar termoliedēšanas tehnoloģiju, kur kā saistvielas izmantotas daļēji vai pilnībā biodegradējami termoplastiski polimēri, piem., poli(hidroksiuretāns), kas vismaz daļēji iegūts no biomasas.

Neausto materiālu izgatavošanā ar termoliedēšanas tehnoloģiju izšķir divas formas – perforēta konveijera vai plakanas virsmas sistēma un perforēta cilindra jeb rotācijas sistēma (1.6. att.).



1.6.att. Termoliedēšana ar karstu gaisu - perforēta cilindra jeb rotācijas sistēma ³

Plakanas virsmas konveijera sistēma ir viens no labākajiem risinājumiem liela apjoma un zema blīvuma sagatavju sasaistīšanā. Augsta temperatūras precizitāte un optimāla gaisa plūsma visā platumā ir būtiska, lai novērstu materiāla saraušanos un radītu ļoti vienmērīgu sasaisti. [94] To nodrošina atpazīstamāko ražotāju piedāvātās iekārtas. [100] Karstā gaisa plūsma uz šķiedru sagatavi tiek pievadīta no augšas caur sprauslu sistēmu, šķiedru sagatave tiek karsēta no vienas vai abām pusēm. Ar šo metodi var izgatavot ļoti biezus materiālus, jo šķiedru klājumi netiek saspiesti. Tomēr jāņem vērā, ka karstā gaisa iedarbība ir vajāka sagataves iekšpusē, tāpēc šķiedru sasaiste nav vienmērīga visā materiāla šķērsgriezumā. [94]

Rotācijas tipa iekārtās šķiedru sagatavi transportē siksna, kas aptver perforēta cilindra virsmu (skat.1.6.att.). Ventilatora rada vilkmi, kas atsūcot karsto gaisu cauri šķiedru sagatavei visā tās biezumā nodrošina vienādu šķiedru sasaisti visā materiāla šķērsgriezumā. Ar šo metodi iespējams izgatavot materiālus virsmas blīvumu diapazonā no 10 līdz 3000 g/m², sasniedzot caurlaides ātrumu līdz pat 300 m/ min. [94]

Rotācijas sistēma nodrošina arī citas priekšrocības: samazinās enerģijas patēriņš, tā kā visi iekārtas elementi atrodas izolētā kamerā, automātiska siltuma atgūšanu no materiāla un to atkārtotu izmantošanu. Rezultātā samazinās izgatavošanas izmaksas. Perforēti cilindri ir pieejami diametrā no 1 līdz 3.5 m un darba platums 0.4 – 7 m. Parasti izmanto viena vai divu cilindru iekārtu. Dažās iekārtās sagatave beigu posmā tiek izvadīta caur diviem spiediena

³ A. Pourmohammadi, "Thermal bonding," in Handbook of nonwovens, S. J. Russell, Ed. Woodhead Publishing Limited, 2007, p. 298. – 329.

cilindriem, kas ļauj apjomīgākas sagataves veidot noteiktā biezumā. Procesu iespējams paātrināt izmantojot perforētus cilindrus ar līdz 96% perforētu laukumu, kas ļautu ražošanas ātrumam sasniegt 1000 m/ min. ar pieejamiem darba platumiem līdz 10 m. [94]

Tabulā 1.1. ir sakopoti tirgū pieejamo kaņepju bāzes siltumizolācijas materiālu biežāk norādītās īpašības: to siltumvadāmība variē robežās no 0.039 - 0.043 W/(m·K), blīvums no 28 līdz 50 kg/m³ un biezums no 40 līdz 250 mm. Atkarībā no ražotāja lietotas polietilēna, poliestera, poliolefīna vai sintētiskās divkomponenšu šķiedras, kas sastāda 5– 12 wt % no kopējā šķiedru apjoma.

1.1.tabula

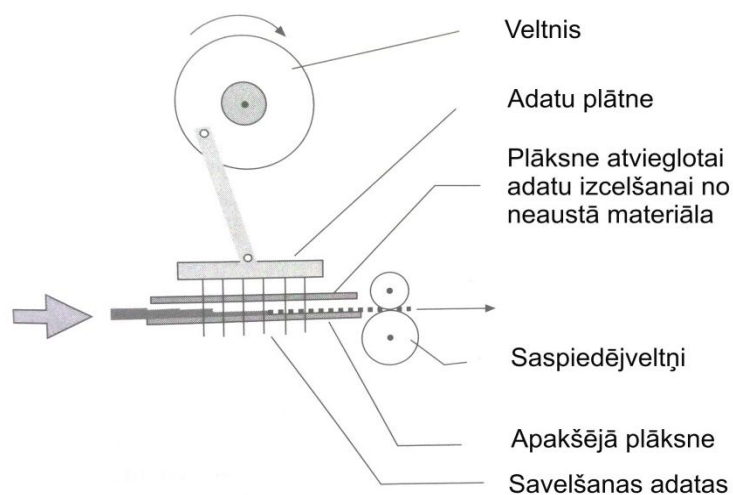
Tirgū pieejamo siltumizolācijas materiālu (sienu, jumtu, griestu) īpašības, kuru izgatavošanā izmantotas kaņepju šķiedras

Nosaukums	Sastāvs	Siltum- vadām. W/(m·K)	Siltum pretes. m ² K/ W	Blīvums kg/m ³	Biezums mm	Reakcija uz uguni, klase
Biofib' hemp [101]	90% kaņepju šķiedras, 10% polietilēna (PE) saistviela	0.040	1.10- 3.50	30 - 40	45 - 140	B
Biofib' duo [101]	44% kaņepju šķiedras, 44% linu šķiedras, 12 % poliestera saistviela	0.041	1.05- 4.85	30	45 - 200	F
Biofib' ouate [101]	45% Kaņepju šķiedras, 45% celuloze, 10% PE saistviela	0.040	1.10- 2.50	50	45- 100	B
STEICO canaflex [87]	kaņepju šķiedras, amonija fosfāts, poliolefīna šķiedras	0.043	0.50- 6.30	40	40 - 240	E
Breathe Insulation [68]	47.5% kaņepju, 47.5% linu, 5% poliestera šķiedras, pretdegšanas apstrāde	0.039		30	50 - 150	E
Hemp Flax Insulation [102]	90 % kaņepju šķiedru, BICO (sintētiskas divkomponentu šķiedras) vai polilaktīds. Antipirēns: soda	-	0.90- 5.55	35	40 - 160	-
Nature ProHemp [103]	Kaņepju šķiedras, saistvielas	0.040	-	28	70 - 100	E
Blackmountain hemp [104]	95% kaņepju šķiedras, 5% saistviela	0.039	-	30	50 - 250	E

Cauradatošanas tehnoloģija

Cauradatošana ir populārākā neausto materiālu tehnoloģija - 30 % no pasaules neaustajiem materiāliem, t.sk. 18% dabas šķiedru materiāli tiek formēti tos cauršujot ar paša materiāla šķiedrām bez speciālu saistošo komponentu lietojuma. [105] Rezultātā tehnoloģija attīstījusies un turpina attīstīties par augstas produktivitātes, kvalitatīvu, ātrdarbīgu procesu, nodrošinot ļoti plašu produktu daudzveidību, [106] sākot no segām, pārklājumiem, medicīnas un higiēnas izstrādājumiem līdz filtriem, ģeotekstilijām, kā arī siltuma un skaņas izolācijas materiāliem. Process ir videi draudzīgs, tā kā tam nav nepieciešams ūdens un tas tiek realizēts ar mazu enerģijas patēriņu un **caurlaides ātrumu**, kas pārsniedz **150 metrus minūtē**; kontekstā ar sasniegto automatizācijas līmeni tehnoloģija nodrošina augstu ražošanas efektivitāti.

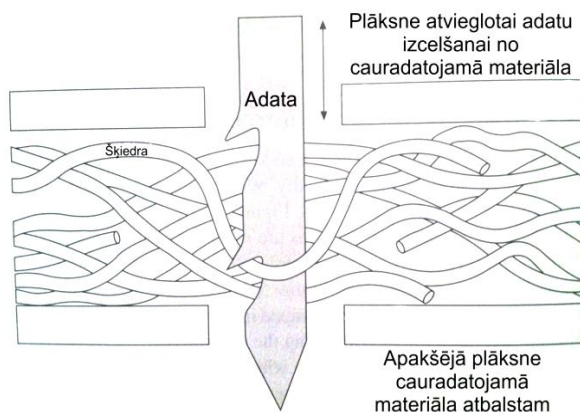
Ir pieejamas cauradatošanas tehnoloģiskās iekārtas dažādas apstrādes intensitātes un investīciju apjoma nodrošināšanai. Vienkāršāko iekārtu darba orgāns ir viena adatu plātne (1.7.att.), kas sagatavi cauršuj tikai no augšas vai apakšas. Pilnīga cauradatošanas līnija ir aprīkota ar priekšadatošanas, starpposma adatošanas un nobeiguma adatošanas darba blokiem. [105]



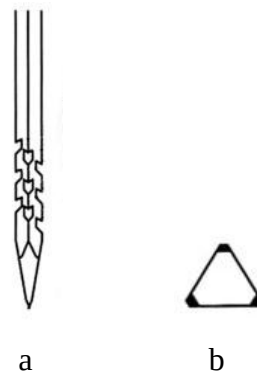
1.7.att. Vienkāršas cauradatošanas mašīnas darbības princips ⁴

^{4; 5; 6} S.C. Anand, D. Brunnschweiler, S.J. Russell, and G. Swarbrick, "Mechanical bonding," in *Handbook of nonwovens*, S. J. Russell, Ed. Woodhead Publishing Limited, 2007, p. 201. – 297.

Lielākā daļa mūsdienu ražotāju piedāvā ātrdarbīgas ražošanas cauradatošanas mašīnas ar līdz pat 4 adatu plātnēm, kas ir vairāk nekā **6 metrus** platas un strādā ar frekvenci **2500 apgriezieni minūtē** (1.2.tab.). [107] Nereti cauradatošanai tehnoloģiskajā līnijā sagataves formēšanai iekļauj vilnas kāršanas iekārtas, izmantojot šķiedras ar vidējo garumu 8 cm.



1.8.att. Cauršūšana ar atskabargu adatu ⁵



1.9.att. Regulāru atskabargu (RB) adata (a: trīsstūra formas 6 atskabargu adata; b: adatas šķērsgrīzums ar atskabargām stūros) ⁶

Svarīgākie cauradatošanas iekārtas darba parametri ir adatu iespiešanās dziļums un dūrienu blīvums – jo adatas iespiežas dziļāk un dūrienu blīvums lielāks, jo labāk šķiedras tiek sasaistītas gala produktā un veidojas mehāniski izturīgs neaustais materiāls. [108] Nozīmīga ietekme gan uz gala produkta īpašībām, gan uz tehnoloģisko procesu ir adatu biezumam, garumam, šķērsgrīzuma formai, numuram, atskabargu izmēriem un atstarpēm starp adatām (1.8. un 1.9. att.). Šķiedru sagataves virsmas blīvums un šķiedru veids ir būtiski faktori, kas jāņem vērā, izvēloties adatu veidu: lielāka izmēra adatas ar lielākām atskabargām izmanto rupjāku šķiedru cauradatošanai. Lietoto adatu izmēri no 18 līdz 43 atbilst diametriem robežās no 1.47 līdz 0.091 mm. [107] Attālumi starp atskabargām ietekmē adatu iespiešanās dziļumu. Visbiežāk lieto adatas ar regulāriem atskabargu (RB) attālumiem (1.9.att.), kas ļauj izgatavot viendabīgu neausto materiālu ar gludu virsmu. [34] Iespiešanās dziļumu 8- 20 mm robežās iestāda priekšcauradatošanai, to samazinot nobeiguma cauradatošanai. Ļoti izturīga materiāla

^{5, 6} S.C. Anand, D. Brunnschweiler, S.J. Russell, and G. Swarbrick, “Mechanical bonding,” in *Handbook of nonwovens*, S. J. Russell, Ed. Woodhead Publishing Limited, 2007, p. 201. – 297.

iegūšanai ne vienmēr ir nepieciešama deviņu atskabargu adata; var lietot mazāk atskabargu adatu, palielinot iespiešanās dziļumu. Tomēr jāpārbauda, ka adatu iespiešanās dziļums ietekmē mašīnas lineāro ātrumu. [107] Deviņu atskabargu adatas lietojamas biezu materiālu izgatavošanas procesā, lai nodrošinātu nepieciešamo sablīvēšanās pakāpi. [108] Sasaistes efektivitātes paaugstināšanai daudzos gadījumos var izmantot īsākas adatas ar 6 atskabargām, ja trīs augšējo atskabargu ieguldījums sasaistes veidošanā ir ļoti mazs. [107]

Zvaigžņu tipa adatas šķēsgriezums ir krustveida formas, tāpēc vienas iespiešanās laikā adata var pārvietot lielāku šķiedru skaitu salīdzinājumā ar standarta trīsstūra formas adatu, līdz ar to iespējams lielāks tehnoloģiskās līnijas ātrums. [107]

Ja sagatavi cauradato no abām pusēm, iegūst lielāku izturību, blīvumu un mazāku gaisa caurlaidību salīdzinājumā ar materiāliem, kas cauradototi no vienas puses. Palielinot adatu iespiešanās dziļumu materiāla blīvums palielinās, materiāla siltumpretestība samazinās. [108] Priekšcauradatošanas dūrienu blīvums (dūrienu skaits uz laukuma vienību) parasti mēdz būt robežās no 10 līdz 75 cm⁻²; atbilstošo iekārtu var iekļaut kā sagatavošanas operāciju pirms termoliedēšanas, kā arī pirms caurstrūklošanas, ražojot blīvus (heavyweight) termoliedētus vai caurstrūklotus materiālus, lai uzlabotu sasaisti un ievērojami samazinātu enerģijas patēriņu. [108]

Gala cauradatošanā dūrienu blīvums ir robežās no **100 – 1000** cm⁻², to aprēķina (1.1. un 1.2.vien.) atkarībā no nepieciešamā materiāla blīvuma, masas, šķiedru sastāva, gala produkta fizikālajām un mehāniskajām īpašībām. Modernas iekārtas darbojas ar **ātrumu 1000 - 3000 m/ min⁻¹**; universālākā iekārta, ko lieto noslēdzošajai cauradatošanai, aprīkota ar četrām adatu plātnēm (divas no augšas un divas no apakšas), katrā plātnē līdz 8000 adatām. [107]

Dūrienu blīvumu aprēķina:

$$P_d = n_n / A, \quad (1.1)$$

kur: P_d – Dūrienu blīvums, cm⁻²;

A – izlaide darba ciklā, cm;

n_n – adatu skaits uz adatu plātnes platuma cm.

$$A = P / S_f, \quad (1.2)$$

P – materiāla ražošanas ātrums, cm/ min;

S_f – Dūrienu frekvence, min⁻¹.

Pirmo komerciālo cauradatošanas iekārtu izveidoja Garnets Bywaters 1866.gadā, Anglijā. Agrīnie lietojumi - džutas šķiedru pamatnes ražošana paklājiem un matraču polsterējumi no sizala, džutas un rupjām dzīvnieku spalvām. Nepieciešamība apstrādāt smalkākas šķiedras noveda pie sarežģītāku iekārtu attīstības. 1920. gadā Vācijā uzņēmumā "Dilo" izstrādāta moderna cauradatošanas iekārta. [106] Gadu gaitā tehnoloģijas ir nepārtraukti uzlabojušās, divi no lielākajiem cauradato iekārtu ražotājiem ir Vācijas firma "Dilo Group" un Francijas "NSC", [105]; programmas vadītas ātrgaitas iekārtas ar lielāku darba platumu un vairākām adatu plātnēm ir ievērojami palielinājušas tehnoloģiskās līnijas produktivitātes spējas. [109]

Tā kā tehnoloģija ļauj apstrādāt dažādas šķiedru sagataves (vilnas, džutas, kaņepju, linu, kokvilnas, sintētiskās u.c.), iespējams samērā vienkārši variēt sortimentu: nedaudz nomainot iekārtas parametrus, pārslēgties uz cita tipa šķiedru apstrādi vai vienkārši integrēt sastāvā jaunas komponentes, kas paplašina/ papildina uzņēmuma darbības jomas un konkurētspēju. Piem., Ķīnas patentā CN 102691172A (*Ķīna, 2012*) kaņepju, kokvilnas un viskozes šķiedras sajauc kāršot un tad cauradato, iegūstot neausto materiālu, ko var izmantot ēku siltumizolēšanā. [110] Tādas neorganiskās šķiedras kā stikla šķiedra cauradatojot lūst un atlūzušās daļiņas var radīt veselības problēmas nokļūstot gaisā vai ar tām saskaroties. Starptautiskajā patentā WO1991001877A1 (*ASV, 1991*) piedāvāts stikla šķiedru slāni no abām pusēm ietvert ar organisko, t.sk., kaņepju šķiedru slāņiem, stikla šķiedras atlūzām neļaujot nonākt ārpus neaustā materiāla struktūras. [111]

Caurstrūklošanas tehnoloģija

Caurstrūklošana ir hidrotehniska neausto materiālu izgatavošanas tehnoloģija šķiedru sasaistei ar augsta spiediena ūdens strūklām. Caur sprauslām plūstoša ūdens izraisītas turbulences rezultātā šķiedru kūlīši sadalās un šķiedras savstarpēji sapinās, nodrošinot materiāla stiprību bez saistvielu izmantošanas. [112-114] Caurstrūklošanas tehnoloģiju 1973.gadā oficiāli ieviesa „DuPont”, realizējot rūpnieciskās tehnoloģijās laika periodā no 1963.- 1970. gadam pašu iegūtos piecus caurstrūkloto neausto materiālu patentus. Uzņēmums joprojām ir vadošais caurstrūkloto materiālu ražotājs pasaulē. [115] Caurstrūklošana ir ļoti ātrdarbīga. [107] Iegūtie materiāli ir elastīgi, izturīgi un mīksti, pēc izskata un taustes līdzīgi audumiem. Vairāk nekā 3/4 no ar šo tehnoloģiju saražotā kopapjoma ir medicīnas apģērbi, pārsienamie materiāli, salvetes, higiēnas izstrādājumi. [116]

Divi galvenie iekārtu ražotāji ir *Fleissner GmbH* (Vācija), kas piedāvā *Aquajet* sistēmas un *Rieter Perfojet* (Francija), kas piedāvā *Jetlace 3000* sistēmas, [107] pie lieliem ražotājiem pieskaitāma arī *Spunlace Technologies Ltd.* (Anglija) un *Honeycomb Systems* (ASV). [115]

Augstāka pretestības spēka dēļ hidrofilas šķiedras sapinas vieglāk nekā hidrofobas šķiedras. Visvairāk izmantotās dabīgās šķiedras ir koksne (celuloze). [116] Starp patentiem atrodamas dažādas caurstrūkloto neausto materiālu izgatavošanas metodes, izmantojot celulozes šķiedru (parasti koksnes un/ vai koksnes celulozei līdzīgas šķiedras) un sintētisko šķiedru sajaukumus salvešu, [105] medicīnisko halātu, [106; 108] autiņu u.c. lietojumiem. [107] Starptautiskajā patentā *WO2008078210A1* (ASV, 2008) aprakstīts mitrumu absorbējošs caurstrūklots neaustais materiāls (autiņu, salvešu lietojumiem), tā izgatavošanas tehnoloģija un izmantotās iekārtas. Procesā piedāvāts izmantot dažādas sintētiskās, dabiskās šķiedras, t.sk., kaņepju šķiedras un to sajaukumus. [117] Starptautiskais patents *WO2001066845 A1* (Vācija, 2001) apraksta neaustā materiāla izgatavošanas procesu no kaņepju šķiedrām, kas paredzēti tādiem gala lietojumiem kā sienu apšuvumi, sistēmas elements caurlaidīga izolācijas materiāla ražošanai, kā piemēru norādot, ka 1.5 mm biezs kaņepju šķiedru (bez saistvielām) neaustais materiāls piemērots grīdu siltināšanai. [118]

Procesa turpmākas attīstības iespējas ir, piem., neausto materiālu izgatavot cauruļveida formā, lietošanai filtrēšanā, [119; 120] kompozītu stiegrojumos, medicīnas pārsēju un medicīnas implantu un ierīču, piem., sintētisko asinsvadu veidošanā. Starptautiskajā patentā *WO2009127816* (Lielbritānija, 2009) piedāvāta cauruļveida neausto materiālu izgatavošanas metode, aptinot vismaz viena veida šķiedru materiālu ap grozāmu cauruli un savienojot šķiedras ar caurstrūklošanas tehnoloģiju. Caurules diametru var variēt, bet minimālais diametrs ir 1.5 mm. Iegūtās caurules iespējams funkcionalizēt, aizpildot ar vadiem, drumslām, vaskiem, šķidrumiem, gāzēm, un to maisījumiem, kas var uzlabot materiāla sniegtās īpašības. [121]

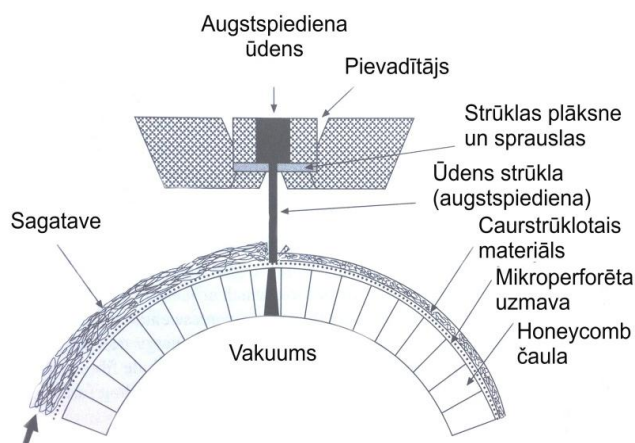
Pie caurstrūklošanas procesa plusiem lūksnes šķiedru apstrādē pieskaitāma efektīva ražošana (augsta produktivitāte), bez tam šķiedru kūlīši procesa laikā sadalās līdz pat elementārām šķiedrām/ mazākiem šķiedru kūlīšiem, kas gala produktam piešķir augstākus stiprības rādītājus. Pie procesa mīnusiem lūksnes šķiedru apstrādē var minēt šķiedru garuma sadalījumu plašā intervālā, kā arī ūdens filtru aizsērēšanu, kas veidojas no ūdenī nešķīstošām lignocelulozes komponentēm, kas atdalās sašķīdrošanas procesā un var sasniegt piesārņojuma līmeni līdz pat 600 mg/ l līdzīgi kā apstrādājot kokvilnu vai koksnes

lignocelulozi. Rezultātā nepieciešama biežāka filtru tīrīšana, kā arī jāizmanto sarežģītāka filtrēšanas sistēma nekā strādājot ar sintētiskajām šķiedrām. [107] Lai savāktu lielāku apjomu daļiņas, pirmo filtrācijas soli veic ar lielu daļiņu smilšu filtriem, pēc tam attīrīšana turpinās ar smalku smilšu filtriem un maisu filtriem. [115]

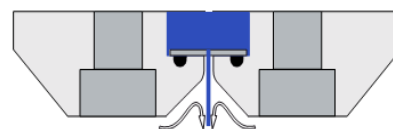
Lai gan ūdens spiediens caurstrūklošanas iekārtās var sasniegt 600 - 1000 bar, tomēr lielākajā daļā komerciālo iekārtu lietotais maksimālais spiediens nepārsniedz 250 bārus, kas skaidrojams ar energoietilpības normēšanu un sprauslu kalpošanas laika pagarināšanu, jo strādājot pie augsta spiediena tās nolietojas ievērojami ātrāk.

Pirms caurstrūklošanas sagatavi pakļauj zema spiediena ūdens strūklu priekšapstrādei (<30 bariem), lai atbrīvotu no gaisa, sablīvējot novērstu šķiedru sagataves šķērsriezuma nevienmērību un novērstu tās noslīdēšanu no konveijera virsmas nākošajos intensīvas apstrādes mezglos ar augsta spiediena strūklām, kas ļauj iegūt lielu materiāla izturības pieaugumu katrā no tiem. [107] Tā kā spiediena pieaugums saistīts ar enerģijas patēriņa pieaugumu, izvēloties tehnoloģiskos parametrus jāizsver, cik liela izturība nepieciešama izstrādājumam, jo palielinot spiedienu par katriem 100 bāriem, iekārtu izmaksas dubultojas. [122] Arī inžektoru skaits un iekārtas darba platums ietekmē procesa izmaksas. To samazināšana ir izdevīga, kamēr vien materiāla īpašības, īpaši mehāniskā izturība atbilst sortimentam. [107] Inžektoru energoietilpība tieši saistīta ar darba platumu un lietoto spiedienu: ja iekārtas darba platums ir 3.5 m inžektoru un darba spiediens 200 bari, tiek patērētas 155 kWh, pie 400 bāru spiediena 544 kWh un pie 600 bāru spiediena ~1088 kWh. Ja spiediens pārsniedz 150 bārus, pieaugot arī mašīnas platumam, izmaksas pieaug vēl straujāk. [107]

Strūklu trieciena spēks ietekmē šķiedru sasaistes intensitāti, materiāla biezumu un blīvumu. Apstrādes intensitāte atkarīga ne tikai no ūdens spiediena, bet arī no strūklas diametra sašaurinājumā un sprauslu rindu skaita loksne. Strūklas ātrums augsta spiediena sistēmās no sprauslām ar diametru starp 80 - 150 µm variējams robežās no 100 līdz 350 m/s. Vienā loksne parasti ir no 1 līdz 3 sprauslu rindām. [107] Lai paaugstinātu energoefektivitāti, Vācijas neausto materiālu iekārtu ražotājs *Trützschler Nonwovens GmbH* izveidojis jauna tipa sprauslas, kas ļauj strādāt ar zemāku spiedienu (1.11.att.) reizē arī stabilizējot procesu. Ar optimizētajām sprauslām (36 HPI) var sasniegt tādas pašas produktu īpašības kā ar 40 HPI sprauslām. [93] 1.10.att.attēloti caurstrūklošanas pamatelementi.



1.10.att. Augstspiediena caurstrūklošanas mezgla griezumums ⁷



1.11.att. Optimizēta caurstrūklošanas sprausla no ražotāja Trützschler Nonwovens GmbH ⁸

Caurstrūklošanas mašīnas ar vairāk kā 5 m platumu var sasniegt līnijas ātrumu līdz 300 m/min un ražošanas apjomus līdz 1100 kg/h/m. [107; 123] Ražotāja *Fleissner GmbH* jaunākā caurstrūklošanas sistēma *Aquajet spunlacing* paredzēta neausto materiālu ražošanai ar virsmas blīvumu no 20 līdz 800 g/m², standarta ātrums 5- 300 m/ min un var sasniegt pat 500 m/ min. [93; 115] *Fleissner Aquajet* līnijas, kas paredzētas dabiskām šķiedrām, ļauj izgatavot neaustos materiālus no līnīm un kaņepēm ar virsmas blīvumu līdz 1500 g/m². [93]

Procesa tehnoloģiskā un ekonomiskā efektivitāte un neaustā materiāla īpašības ir ļoti atkarīgas no šķiedru veida. Lai iegūtu vienmērīgu materiālu ar pēc iespējas mazāku enerģijas patēriņu nepieciešamas lokanas, hidrofilas šķiedras ar labu sasaistes spēju [107] un jāveic enerģijas patēriņa optimizācija. Uz sagatavi vērstās enerģijas patēriņu, kas ir atkarīgs no plūsmas ātruma caur inžektoru, ūdens spiediena un šķiedru uzturēšanās laika strūkļu iedarbībā, aprēķina pēc formulā 1.3 redzamās sakarības.

$$K = \frac{1}{bmV_b} \cdot \frac{C_d \pi \sqrt{2}}{4 \sqrt{\rho_w}} \cdot \sum_{i=1}^N n_i l_i d_i^2 P_i^{3/2}$$

, 1.3

⁷; ⁴ Trützschler Nonwovens GmbH, "Nonwovens," Krefeld, Germany

kur:

K - enerģija, ko izlieto caurstrūklotā šķiedru materiāla izgatavošanai (J/kg),

b – sagataves platums (m),

m – sagataves virsmas blīvums (kg/m^2),

V_b – konveijera ātrums (m/s),

P_i – ūdens strūklas spiediens pie i -tās sprauslu loksnes (inžektora) (Pa),

Q_i – ūdens plūsmas ātrums caur i -to inžektoru (m^3/s)

C_d - sprauslas izplūdes koeficients,

ρ_w – ūdens blīvums (kg/m^3),

n_i – ūdens sprauslu skaits uz i -tā inžektora (m),

l_i - i -tā inžektora platums (m),

D_i – i -tā inžektora ūdens strūklu sprauslu diametrs (m),

M – inžektoru skaits.

Konusveida uz leju vērstu sprauslu izplūdes koeficienta vērtība C_d parasti ir robežās 0.60-0.66. [107]

Kopumā enerģijas patēriņš, kas nepieciešams, lai saražotu neausto materiālu, atkarīgs no sagatavē esošām šķiedru fizikālajām un mehāniskajām īpašībām, šķiedru orientācijas, sagataves biezuma un blīvuma, no konveijera virsmas porainības un dizaina, sagatavē esošā ūdens daudzuma, šķiedru savstarpējiem berzes spēkiem u.c. Izlietotā ūdens filtrācija ievērojami palielina izmaksas. Tas nozīmē, lai vienlaicīgi iegūtu labas materiāla īpašības un pieņemamus ekonomiskos rādītājus, ir jāveic ļoti plašs pētījums uz katru jaunu sortimentu.

Caurstrūklošanas efektivitātes novērtēšanai no neaustā materiāla izturības skata punkta noderīgs rādītājs ir specifiskās enerģijas koeficients (SEc), kas novērtē enerģijas patēriņa attiecību pret materiāla stiepes izturību (vien.1.4). [107]

$$Sec = K / Ts, \quad 1.4$$

Kur:

K – kopējais enerģijas patēriņš (uz visiem inžektoriem),

Ts – stiepes izturība.

Nepieciešamā specifiskā enerģija atkarībā no sagataves svara, variē robežās no 0.1 līdz 0.85 kWh/kg .

Ražošanā caurstrūklošanas iekārtas parasti savieno tehnoloģiskā līnijā ar kāršanas mašīnu. Ja sagatave jāformā atsevišķi, nepieciešama kārtošanas iekārta, kas lietojama sagataves formēšanai ar nepieciešamo virsmas blīvumu sākot no 80- 400 g/m^2 . Tādu modernu

iekārtu, kā piemēram, *EKL 439* kārtošanas transportlentas ātrums pārsniedz 160 m/ min. un uz tās var noklāt no 4 līdz 76 šķiedru plīvura kārtām, kas var būt līdz 8 m platas. [93]

Tabulā 1.2. vienkopus apskatāmi termoliedēto, cauradatoto un caurstrūkloto tehnoloģiju neausto materiālu ražošanas parametri. Savukārt tab.1.3. sniedz informāciju par katras tehnoloģijas pozitīvajiem un negatīvajiem aspektiem lūksnes šķiedru apstrādē.

1.2.tabula

Termoliedēto, cauradatoto un caurstrūkloto neausto materiālu ražošanas parametri

Materiāla virsmas blīvums, g/m ²	Ražošanas ātrums, m/min	Darba platums, m	Adatu ieduršanās biežums, apgriezieni/ min.	Dūrienu blīvums, dūrieni/ cm ²	Ūdens spiediens, bar	Strūklas ātrums, m/s
Termoliedēto neausto materiālu ražošanas parametri						
10 - 3000	300 (1000)	0.4 – 7 (<10)	-	-	-	-
Cauradatoto neausto materiālu ražošanas parametri						
10 - 3000	< 150; Modernām iekārtām: 1000 - 3000	< 6	2500	100 – 1000	-	-
Caurstrūkloto neausto materiālu ražošanas parametri						
20 - 1500	līdz 400	< 5	-	-	Pārsvarā lieto līdz 250, bet pieejamas iekārtas arī ar 600-1000	100 - 350

Termoliedējuma, cauradatošanas, un caurstrūklošanas tehnoloģiju pozitīvie un negatīvie aspekti lūksnes šķiedru apstrādē

Tehnoloģija	Mīnusi	Plusi
Termoliedēšana	Dārgas saistošās (kūstošās) šķiedras; Zema dabas šķiedru bāzes materiālu mehāniskā izturība; Nav 100 % dabīgs materiāls, ja lieto sintētiskas saistošās šķiedras; Liela energoietilpība (daļu enerģijas tērē pamatmateriāla un apkārtējās vides karsēšanai), Emitē CO ₂ un CO atmosfērā.	Var izmantot dabīgas saistvielas; Var iegūt biezus materiālus
Cauradatošana	Nav piemērota viegliem materiāliem; Raupja virsma	Nav vajadzīgas saistvielas; 100% dabīgs materiāls
Caurstrūklošana	Liels ūdens, enerģijas patēriņš; Sprauslas aizsērē, regulāri jātīra; Nepieciešama žāvēšana; Augsta kapitāla izmaksas; Nepieciešama regulāra kvalificēta tehniskā apkope	Nav vajadzīgas saistvielas; 100% dabīgs materiāls; Gluda virsma; Augsta ražība, līdz 400 m/min.; Lūksnes šķiedru materiāls procesa laikā kļūst mehāniski izturīgāks; Šķiedru kūlīši procesa laikā sadalās mazākos kūlīšos, kas gala produktam piešķir lielāku mehānisko stiprību salīdzinājumā ar citām tehnoloģijām.

1.1.6. Kopsavilkums

Uzmanība, kas vērsta uz klimata pārmaiņām, vides un veselības veicināšanas jautājumu aktualizēšanos, efektīvāku resursu izmantošanu, ir radījusi pastiprinātu tendenci pievērsties dabiskām, atjaunojamām, bioloģiski noārdāmām izejvielām, t.sk., lūksnes šķiedrai. Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komiteja rosina veicināt dabas šķiedru, t.sk., linu, kaņepju, vilnas, celulozes šķiedru un biopolimēru ražošanu, lai nodrošinātu ar vietējām izejvielām daudzveidīgas tautsaimniecības jomas. Potenciālu turpmākai dabisko šķiedru, izņemot kokvilnu, izplatībai un izmantošanai dažādu produktu, t.sk., ēku siltumizolācijas materiālu ražošanā veicina arī strauji pieaugošais iedzīvotāju skaits, kur uz vienu iedzīvotāju gadā vidēji tiek patērēti aptuveni 12.2 kg šķiedru. Sintētisko šķiedru pieaugošās izmaksas arī ir palielinājušas pieprasījumu pēc dabas šķiedrām.

Kā viens no efektīviem resursu izmantošanas virzieniem ir enerģijas izlietojuma samazināšana, kur būtisks potenciāls ietaupījumam ir ēku sektorā, kas izlieto 40 % no ES kopējā enerģijas patēriņa. Kā ziņots Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvā „2010/31/ES par ēku energoefektivitāti”, ES līdz 2020. gadam enerģijas patēriņš jāsamazina par 20 %. Uz samazinājumu, ko var panākt ēkas siltumizolējot, vērstas arī LR un ES normatīvajos dokumentos sniegtās norādes. Neausto materiālu izgatavošanā izmantojamo neatjaunojamo resursu pilnīga vai vismaz daļēja aizvietošana ar atjaunojamiem izejvielu resursiem, piemērojot esošās tehnoloģijas, rada iespēju izmantot kaņepju šķiedras siltumizolācijas materiālu ražošanā. Pēc EIHA datiem uz 2009./ 2010.gadu ES saražoja 35'000 tonnas kaņepju šķiedru, no kurām 25.9 % tika pārstrādātas siltumizolācijas materiālos.

Pozitīvie argumenti kaņepju šķiedru izmantošanai siltumizolācijas materiālos, ir to siltuma un skaņas izolācijas īpašības, pozitīvā ietekme uz iekštelpu mikroklimatu, materiālu ūdens tvaiku caurlaidība („elpojoši), kondensāta kontrole, pietiekoša noturība pret mikroorganismiem, iespēja uzstādīt bez aizsargtērpu un respiratoru izmantošanas. Kā svarīgs aspekts ir arī to ekoloģiskās īpašības, t.i., zems enerģijas patēriņš un siltumnīcas efektu veidojošo gāzu ietaupījums visā produktu dzīves cikla laikā, otrreizējās pārstrādes iespējas, degot tie nerada toksiskas vielas. Bez tam kaņepju iekļaušana augu sekā uzlabo augsnes struktūru un tās var audzēt bez vai ar nelielu mēslojuma devu, bez augu aizsarglīdzekļu lietojuma. Pieaugošā interese par kaņepēm daļēji radusies arī sakarā ar to, ka visā pasaulē strauji pieaug mežu izciršana; bez tam no kaņepju hektāra var iegūt četras reizes vairāk šķiedrvielu nekā no kokiem un viens ha kaņepju augšanas laikā absorbē līdz 18t CO₂, vienā tonnā žāvētu kaņepju tiek uzglabāti 325 kg CO₂.

Pie ierobežojumiem jāmin nepieciešamība pēc biežākām sienām, kā arī lai nodrošinātu ugunsdrošības normatīviem atbilstošas degšanas īpašības, nepieciešamas papildapstrādes. Kaņepāju mērcēšana rasā aizņem lielas platības, savukārt mērcēšana ūdens baseinos piesārņo ūdeni, kā attīrīšana rada papildizmaksas. Pirmreizējās apstrādes procesos rodas daudz putekļu, tomēr tie salīdzinoši lielo izmēru dēļ neiekļūst dziļi organismā, līdz ar to ir mazāk kaitīgi.

Lai gan sintētisko šķiedru neaustajiem materiāliem ir vairākas pozitīvas īpašības, tomēr atšķirībā no atjaunojamo resursu šķiedru materiāliem, tie degot izdala kaitīgas gāzes, kā arī iekļaušanas un lietošanas laikā izdala kaitīgus putekļus, vairums gadījumos nav biodegradējami un tvaiku caurlaidīgi vai relatīvam mitrumam paaugstinoties un samazinoties, materiāls nespēj absorbēt mitrumu no atmosfēras un to atbrīvot, kas nenovērš kondensāta un pelējuma draudus.

risku: nenobriest sēklas nākošajai sējai, sākoties lietus periodam nav iespējams novākt stiebrus un tie jāatstāj uz lauka līdz pavasarim, aizkavējot lauka apstrādi, kā arī pazeminot pavasarī novākto stiebru kvalitāti. Minēto risku mazināšanai vēlams izveidot/ atrast klimatiskajiem apstākļiem atbilstošu kaņepju šķirni balstoties uz kloniem, kas piemērojušies klimata specifikai. Spriežot pēc līdzšinējiem pētījumiem, no 25 potenciāliem kandidātkloniem Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā izdalītais lokālais divmāju genotips “Pūriņi” vērtējams kā daudzsološs Latvijas klimatiskajiem apstākļiem atbilstošas sēklu šķirnes prototips, kas atkārtotas selekcijas procesā varētu kļūt arī par sēklu-šķiedru šķirni, tā kā gan “Bialobrzieskie”, gan “Pūriņu” THC saturs nepārsniedz 0.05% (noteikts 2010. un 2011. gada ražai), kas pilnībā atbilst ES pieļaujamajām normām. Pagaidām genotips „P” vēl nav iekļauts kaņepju šķirņu sarakstā, kam ir tiesības uz atbalsta maksājumiem. Lai to attīstītu par šķirni, kas iekļauta ES industriālo šķirņu sarakstā, kā arī noteiktu un attīstītu iespējamās tās lietojumus, jāveic vispusīgi pētījumi un salīdzinošas analīzes.

2. MATERIĀLI UN METODES

Šajā nodaļā apkopota informācija par pētījumos izmantotajiem materiāliem un palīgmateriāliem, kā arī kaņepju šķiedru testēšanā un neausto materiālu izgatavošanā, testēšanā pielietotajām metodēm.

2.1. Izejmateriāli

Salīdzinošiem pētījumiem darba ietvaros pakļauti divu šķirņu Latvijas klimatiskajos apstākļos Latgales Lauksaimniecības zinātnes centra izmēģinājuma lauciņos (Viļānu rajons) 2009. un 2010. gada veģetācijas periodā [124- 126] audzēti kaņepāji: 1) vietējais divmāju genotips „Pūriņi” (P); 2) Polijā selekcionēta, ES reģistrēta vienmāju šķiedru kaņepju šķirne „Bialobrzeskie” (B), kas izveidota ilgstoša selekcijas procesa rezultātā krustojot divmāju un vienmāju kaņepju šķirnes (2.1.tab.), reģistrēta 1968. gadā.

2.1.tabula

Kaņepju šķirnes „Bialobrzeskie” selekcijas etapi [127]

Divmāju šķirne	Divmāju šķirne	Divmāju šķirne	Vienmāju šķirne
LKCS	Kompolti	Bredemann 18	Fibrimon 24
Centrāl-Krievija	Ungārija	Vācija	Francija

Šobrīd „Bialobrzeskie” ir viena no Latvijā visvairāk audzētām, klimatiskajiem apstākļiem atbilstoša šķiedru kaņepju šķirne. Veģetācijas periods Latvijā ir pārāk īss, lai iegūtu šīs šķirnes sēklas. Līdz ar to rūpnieciskajiem sējumiem nepieciešamās sēklas jāiepērk no valstīm ar garāku veģetācijas periodu, kas veido diezgan ievērojamu daļu no paredzamajiem ienākumiem pārdodot šķiedras.

Savukārt „Pūriņi” ir vietējais genotips, atlasīts no vairāk nekā 25 Latvijas teritorijā ievāktiem kaņepāju genotipiem, kas 20. gs. otrajā pusē audzēti mazdārziņos sēklu iegūšanai un kaitēkļu atbaidīšanai. Lai arī šobrīd „P” šķirnes kaņepāji tiek audzēti tikai izmēģinājumu lauciņos Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā, nākotnē varētu pretendēt uz jauktu sēklu-šķiedru šķirni, tā kā salīdzinot ar „B”, tās veģetācijas periods ir īsāks vismaz par 7-10 dienām un ļauj iegūt sēklas nākošajam veģetācijas periodam un patēriņam.

Gan „P”, gan „B” kaņepāji veģetācijas perioda sākumā saņēmuši slāpekļa mēslojumu N 60 kg/ ha, kas tiek uzskatīts par optimālu augstāka hlorofila satura iegūšanai. To palielinot tiek negatīvi ietekmēta hlorofila biosintēze. [128]

Veģetācijas perioda beigās veikta ražas uzskaitē, tās kvalitātes novērtēšana, paraugu pārstrāde lūksnes atdalīšanai no koksnainās stiebra daļas Latgales Lauksaimniecības zinātnes

centrā, pirmreizējās kaņepju pārstrādes ražotnē Krāslavā, kā arī paraugu sagatavošana analīzei RTU un Leeds universitātes Tehnisko tekstiliju centra laboratorijās (Lielbritānija). Informācija par veģetācijas perioda agrotehniskajiem parametriem sakopota 2.2.tabulā. Visu variantu kaņepju stiebi mērcēti rasā līdz gatavībai, kas tiek noteikta vizuāli un organoleptiski.

2.2.tabula

Kaņepju 2010. gada veģetācijas perioda agrotehniskie parametri

Darbība	„Pūriņi”	„Bialobrzieskie” (LV)
Ražas novākšanas gads	2010.	2010.
Audzēšanas vieta	LLZC, Viļānu raj., Latvija	LLZC, Viļānu raj., Latvija
Izmēģinājuma lauka apstākļu raksturojums		
Augsnes tips	trūdaini podzolēta glejaugsne	
Organiskās vielas saturs augsnē	6.5 %	
pH	7.0	
P2O5	145 mg/kg augsnes	
K2O	118 mg/kg augsnes	
Priekšaug	Melnā papuve	
Kaņepju sēja	13. maijs	
Izsējas norma	70 kg ha ⁻¹	
N mēslojuma norma	N 60	
Ziedēšana	20. jūlijs	14. augusts
Ražas novākšana	7.septembris	16.septembris
Augu garums	1.35 m	2.70 m
Stumbra biezums	-	-
Salmiņu raža	8.07 t/ha	18.22 t/ha
Lūksnes raža	-	810 g/m ²
Lūksnes raža %	23.9 %	32.1 %
Spaļu raža	-	860 g/m ²
Šķiedru krāsa	pelēka	gaiši pelēka
Mērcēšanas pakāpe	Līdz gatavībai	Līdz gatavībai
Mērcēšanas ilgums	3 - 4 nedēļas	3 - 4 nedēļas

Neausto materiālu paraugi izgatavoti no 2010. gadā audzētiem kaņepājiem un to fizikālās īpašības testētas Leeds universitātes Tehnisko Tekstiliju centra laboratorijās un RTU TTDI tekstilmateriālu laboratorijās. Šķiedru testiem pakļauti 2009. gada vākuma kaņepju šķiedras.

Neausto šķiedru materiālu paraugu izgatavošanai termoliedēšanas procesā, kaņepju šķiedrām kāršanas procesā pievienotas 7.7 wt% termoplastiskas divu komponentu šķiedras PE-PP.

2.2. Neausto materiālu tehnoloģijas

Neausto materiālu iegūšanai no 2010.g. veģetācijas perioda tillinātiem (rasā mērcētiem) stiebriem iegūtais P un B varietāšu šķiedru flīss pārstrādāts: termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas tehnoloģijas procesā. Kārsto šķiedru flīss izgatavots uz mazgabarīta nestandarta kāršamās mašīnas Tatham. Pirms kāršanas no tehnisko šķiedru grīstēm ķemmējot atdalīti spaļi un mehāniskie piemaisījumi, ar sekojošu sagriešanu 5 - 10 cm garos saišķos (roku darbs).

Eksperimentu gaitā katras tehnoloģijas ietvaros izgatavotas trīs dažāda biezuma paraugu grupas (caurstrūklotajiem četras), lai novērtētu to paredzamajam lietojumam svarīgas īpašības, īpašību atšķirības tehnoloģijas ietvaros, kā arī analizētu tehnoloģiju ietekmi uz iegūto materiālu īpašībām. Flīsa izgatavošanas procesu parametri sakopoti 2.3. tabulā, piešķirot katram variantam 3-zīmju kodu. P vai B pievienots koda sākumā norāda kaņepju šķirni, otrā koda zīme identificē izgatavošanas tehnoloģiju: T termoliedētajiem, N cauradatotajiem un H caurstrūklotajiem paraugiem, bet trešās koda zīmes cipari 1, 2, 3 vai 4 tiek pievienoti kā flīsa masas raksturojums (2.3.tab.).

Flīsa formēšanas procesā **termoliedēšanai** uz kāršanas mašīnas ieejas transportgalda viena virs otras kārtotas kaņepju un PE-PP divu komponentu šķiedras attiecībā 92:8 %, precīzāk: 92,3:7.7%, lai kāršanas procesā nodrošinātu nelielā PE-PP apjoma vienmērīgu izkliedi flīsa šķērsgrīzumā. Pirms ievietošanas žāvēšanas kamerā, sagataves pārvieto speciāli eksperimentam izgatavotā biezumu ierobežojošā metāla režģu palīgierīcē, lai iegūtu vienmērīgu biezumu visā parauga platumā un kopā ar to transportē uz žāvēšanas iekārtu „Spoonier”. Tur sagatavi apstrādā no augšas ar karsta gaisa plūsmu (145°C), apstrādes ilgumu nosaka atbilstoši parauga biezumam (1 min. uz katru materiāla biezuma centimetru). Procesu atkārtoti parauga otrai pusei. Rezultātā T1 paraugu apstrāde ilga 2 minūtes, T2 - 4 min., biezāko T3 paraugu termoliedēšanas process ilgst 20 minūtes (10 min. no katras puses).

Kaņepju šķiedru flīsa formēšanas specifikācija

<i>Termoliedēšanai</i>					
Parauga apzīmējums	Kaņ.masa pirms kāršanas, g	Flīsa masa, g	Garums, m	Platums, m	Virsmas blīvums, g/m ²
PT1	65 (60g kaņepes, 5g PE-PP)	44.7	0.56	0.44	181
PT2	130 (120g kaņepes, 10 g. PE-PP)	103.3	0.55	0.45	417
PT3	650 (600g kaņepes, 50 g. PE-PP)	563.5	0.57	0.53	1865
BT1	65	34.0	0.60	0.39	150
BT2	130	80.2	0.52	0.46	343
BT3	650	488	0.55	0.51	1740
<i>Cauradatošanai</i>					
PN1	100	55.0	0.58	0.42	224
PN2	300	174	0.58	0.44	678
PN3	900	570	0.58	0.44	2018
BN1	100	41.0	0.54	0.36	211
BN2	300	126.0	0.55	0.37	613
BN3	900	364.0	0.51	0.37	1917
<i>Caurstrūklošanai</i>					
PH1	100	56.5	0.55	0.45	228
PH2	120	70.0	0.55	0.45	283
PH3	140	89.0	0.56	0.44	361
PH4	160	98.6	0.57	0.45	384
BH1	100	41.7	0.52	0.41	196
BH2	120	50.8	0.55	0.42	220
BH3	140	68.3	0.56	0.37	330
BH4	160	82.4	0.55	0.44	340

Cauradatošana veikta uz 30 cm platas cauradatošanas iekārtas “Foster” ar pamīšus sakārtotām 36 gramu regulārām 3-zobu adatām (kāta gabarīti: 15 - 18 - 42); adatu iespiešanās dziļums 6.4 mm no katras sagataves puses, dūrienu blīvums 75 cm⁻². Katra kārstā sagatave (tab.2.3.) cauradatota atsevišķi ar sekojošu savietošanu slāņos. Iegūtos vairākslāņu paraugus papildus necauradato. Šāda laboratorijas tehnoloģija piemērota ar mērķi iegūt vēlamo biezumu no ierobežota šķiedru apjoma.

Caurstrūklošana veikta uz iekārtas, kas pēc individuāla pasūtījuma izgatavota uzņēmumā „Courtaulds Engineering Limited” Koventrijā (Lielbritānija). Tā ir 0.5 metrus plata septiņu inžektoru iekārta ar iespējamo līnijas ātrumu robežās no 1 līdz 100 m/ min. un ūdens strūkļas spiedienu līdz 180 bāriem. Sākotnējai samitrināšanai pakļautās sagataves nonāk uz caurstrūklošanas darba zonu, kurā caur 150 mikronu diametra sprauslām tiek padots ūdens zem 100 bāru (10 MPa) spiediena pārmaiņus no augšas un apakšas profiliem. Konveijers darbojas ar ātrumu 5 m/ min. Tūlīt pēc caurstrūklošanas lielu daļu gatavā materiāla ūdens satura aizvada atsūknējot, atlikušo žāvējot iekārtā „Spoonier”.

2.3. Siltumizolācijas materiālu īpašību testēšanas metodes

2.4. tabula

Neausto materiālu testēšanas plāns

Paraugu grupas kods		Biezums	Virsmas blīvums	Blīvums	Tvaiku caurlaidība	Gaisa caurlaidība	Poru izmēri	Porainība	Siltum-pretestība	Siltum-vadamība	Ugunsizturība
		mm	g/ m ²	kg/m ³	%	mm/s	µm	%	m ² K/W	W/(m·K)	
Termoliedētie	PT1	+	+	+	+		+	+	+	+	
	PT2	+	+	+	+				+	+	+
	PT3	+	+	+	+				+	+	
	BT1	+	+	+	+		+	+	+	+	
	BT2	+	+	+	+				+	+	+
	BT3	+	+	+	+				+	+	
Caurdatotie	PN1	+	+	+	+				+	+	
	PN2	+	+	+	+				+	+	+
	PN3	+	+	+	+				+	+	
	BN1	+	+	+	+				+	+	
	BN2	+	+	+	+				+	+	+
	BN3	+	+	+	+				+	+	
Caurstrūklotie	PH1	+	+	+	+	+			+	+	
	PH2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	PH3	+	+	+	+	+			+	+	
	PH4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	BH1	+	+	+	+	+			+	+	
	BH2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	BH3	+	+	+	+	+			+	+	
	BH4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Neausto materiālu fizikālo īpašību testēšanas procesā piedāvātajiem siltumizolācijas materiāliem jānosaka īpašības, kas raksturo to veiktspēju un nosaka lietojuma jomas. Pie tām pieskaitāmas: biezums, virsmas blīvums un blīvums, siltumpretestība, siltumvadāmība, gaisa caurlaidība, ūdens tvaiku caurlaidība, poru izmēri, porainība, ugunsizturība. Pirms testiem materiālu paraugi vismaz 24 stundas izturēti klimatiskajā kamerā atbilstoši standarta ISO 139 [129] nosacījumiem. Darbā neausto materiālu testi veikti atbilstoši testēšanas plānam (2.4.tab.) pēc standartu (siltumpretestība: BS 4745: 2005 [130], biezums: EN ISO 9073-2:1997 [131], virsmas blīvums: LVS EN 29073-1:2001 [132], gaisa caurlaidība: LVS EN ISO 9237:2001 [133], ūdens tvaiku caurlaidība: BS 7209:1990), [134] kā arī nestandarta metodēm (neausto materiālu vidējo poru izmēri). Iegūtie rezultāti apstrādāti matemātiskās statistikas metodēm, sakarības attēlotas grafikos, aprakstītas ar matemātiskiem modeļiem.

Neaustā materiāla biezums noteikts saskaņā ar standartu EN ISO 9073-2:1997. [131] Datu savstarpējās savietojamības nolūkā visu biezumu materiāliem lietota standarta metode „C” ar nelielām modifikācijām. Caurstrūkloto paraugu mērījumi veikti uz iekārtas „Shirley”, kur iekārtas plātne iedarbojas ar 0.02 kPa lielu spiedienu uz paraugu, t.i., ar 10 gramu lielu masu uz 50.2 cm² lielu caurstrūklotā materiāla parauga laukumu. Novirzes no standarta procedūras: 1) eksperimentā testējamo paraugu izmēri 100 x 100 mm (pēc standarta 200 x 200 mm); 2) stikla mērīšanas plāksne (200mm +/- 0.2 mm) x (200mm +/- 0.2 mm) ar masu 82 +/-2 g aizvietota ar 100 x 100 mm kartona plāksni, aprēķinot spēku ar kādu tai jāiedarbojas uz paraugiem šādi:

$$F = P \cdot S = 20 \cdot 0.01 = 0.2 \text{ N}, \quad (2.3)$$

kur F ir spēks ar kādu plātnei jāspiež uz paraugu,
 P ir spiediens, kas norādīts standartā,
 S ir konkrēti šim testam piemērotais kartona plāksnes laukums.

$$m = F/a = 0.2 / 9.81 = 0.02 \text{ kg jeb } 20 \text{ g}, \quad (2.4)$$

kur m ir masa, kas papildina kartona plāksnes masu,
 $a = 9.81 \text{ m/s}^2$ ir paātrinājums.

Rezultātā plātnes spiediena spēks uz parauga 100 cm² laukumu ir 0.02 kPa, t.i., 20 grami. No katras paraugu grupas testēti 5 paraugi.

Virsmas blīvums g/m² noteikts atbilstoši standartam LVS EN 29073-1:2001, [132] izgatavojot 10 000 mm² lielus paraugus standartā norādīto 50 000 mm² paraugu vietā. 5 katra

varianta paraugi svērti uz elektroniskajiem svariem ar precizitāti 0.001. Neausto paraugu blīvums (kg/m^3) aprēķināts virsmas blīvumu (materiāla masu uz laukuma vienību) izdalot ar materiāla tilpumu.

Siltumpretestība (R), $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ noteikta atbilstoši standartam BS 4745: 2005 [130] pēc divu plātņu metodes ar fiksētu spiedienu, tā kā testējamo materiālu ārējās plaknes lietojumos no saskares ar gaisu pasargā ēkas sienas, starpstāvu griestu pārsegumi, jumti, grīdas segumi.

Siltumvadāmība (k), $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ noteikta pēc sakarības:

$$k = d / R, \quad (2.5)$$

kur d - biezums, R – materiāla siltuma pretestība. [130]

Gaisa caurlaidība (mm/s) saskaņā ar standartu LVS EN ISO 9237:2001. [133] veikta uz aparāta „SDL ATLAS Textile Testing solutions”. No katras causrstrūkloto paraugu grupas testēti 10 paraugi ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) pie gaisa spiediena starpības 50 Pa un testēšanas laukuma 5 cm^2 . No iegūtajiem mērījumiem aprēķināta gaisa caurlaidības vidējā aritmētiskā vērtība (l/min) un gaisa caurlaidības koeficients: [133]

$$R = q_v / A \cdot 167, \quad (2.6)$$

kur R gaisa caurlaidības koeficients, mm/s ;

q_v vidējā gaisa caurlaidība, l/min ;

A – parauga laukums, caur kuru plūst gaiss;

167 – skaitliska vērtība gaisa caurlaidības pārvēršanai no l/min uz mm/s .

Cauradatoto un termoliedēto paraugu gaisa caurlaidības noteikšanu nevarēja piemērot.

Ūdens tvaiku caurlaidība saskaņā ar standartu BS 7209:1990 [134] noteikta uz iekārtas, kas izgatavota pēc speciāla pasūtījuma ar nodrošinātu atbilstību standartā noteiktajiem parametriem (Lielbritānija). Testēšanas procesā paraugus rotē 1 h , lai panāktu ūdens tvaiku vienmērīgu sadalījumu parauga tilpumā, pēc tam tos nosver ar precizitāti līdz 0.001 g , fiksējot datus salīdzināšanai ar gala datiem, kas iegūti turpinot diska rotēšanu kontrolētā atmosfērā vēl 16 h . Periodiski sverot traukus, tiek izsekota ūdens tvaiku kustība un izsūkšanās temps cauri paraugam.

Lai piemērotu metodiku biežākajiem neaustajiem materiāliem, trauka malas pārklāj ar plānu, ātri cietējošas līmes slāni un uz tā uzmanīgi novieto paraugu; tā ārējās malas aizklāj ar gaisu un mitrumu necaurlaidīgu materiālu, lai izvairītos no gaisa un mitruma iekļūšanas un

izkļūšanas caur parauga malām. Caurstrūklotos paraugus nelīmē, bet nostiprina ar gumijas gredzenu.

Ūdens tvaiku caurlaidības indeksu aprēķina:

$$I = \left\{ \frac{(WVP)_f}{(WVP)_r} \right\} \times 100 \quad (2.7)$$

kur: I ūdens tvaiku caurlaidības indekss;

$(WVP)_f$ parauga vidējā ūdens tvaika caurlaidība;

$(WVP)_r$ references auduma ūdens tvaiku caurlaidība.

Neausto materiālu vidējie poru izmēri noteikti ar šķidruma izspiešanas metodi, ko parasti piemēro, ja poru aptuvenais diametrs ir robežās no 0.05 μm līdz 50 μm. Paraugu testēšana veikta pēc Leeds universitātē (Lielbritānija) izstrādātas metodikas uz iekārtas “Perm Porometer”, izmantojot šķidrumu “Galwick” ar virsmas spraigumu 15.9 dini/ cm. Testēšanai pakļauti abu šķiedru caurstrūkloto materiālu paraugi PH2, PH4, BH2 un BH4, kā arī termoliedēto materiālu plānākie paraugi PT1 un BT1. Izgatavoti pieci 400 mm² laukuma (20 mm x 20 mm) paraugi no katra varianta. Cauradatoto paraugu pārāk lielas porainības dēļ grūti iegūt ticamus rezultātus. Pirms eksperimenta uzsākšanas datorprogrammā ievada parauga biezumu un šķidruma veidu. Starp metāla režģiem fiksēto paraugu ievieto speciālā traukā, lej uz tā Galwic šķidrumu līdz paraugs samirkst. Trauku noslēdz un ievieto iekārtā. Rezultātus iegūts Excel programmas datnē, kur katram paraugam uzrādīts vidējais poru diametrs mikronos.

Neausto materiālu porainība P (%), kas raksturo gaisa spraugas neaustajā materiālā, noteikta saskaņā ar šādu vienādojumu: [28; 135]

$$P = 100 - \delta / \rho \times 100, \quad (2.8)$$

kur P neaustā materiāla porainība, %;

ρ šķiedras blīvums, kg/m³;

δ neaustā materiāla blīvums, kg/m³.

Vidējais kaņepju šķiedru blīvums, ko parasti uzrāda literatūrā $\rho = 1.48 \text{ g/cm}^3$ vai 1480 kg/m³. [80; 136]

Neausto materiālu ugunsreakcija. Ugunsreakcijas pārbaudes veiktas ar konisko kalorimetru 50 kW·m⁻² siltuma starojumā atbilstoši standarta LVS ISO 5660-1 [137] metodikai. Testējamo paraugu izmēri: 100 x 100 mm. Visu neausto materiālu paraugi kondicionēti standarta atmosfēras apstākļos saskaņā ar standartu LVS EN 13238. [138]

Pirms ievietošanas koniskajā kalorimetrā katru paraugu no piecām pusēm ietin alumīnija folijā augšējo virsmu atstājot neaizsegto, tādējādi netraucējot uguns iedarbībai. Parauga neaizsegta virsma ir nepārtraukti pakļauta vienmērīgam siltuma starojumam. Testu pārtrauc pēc liesmu nodzišanas. Katrai paraugkopai testēti standartā noteiktie trīs paraugi. Datu apstrāde veikta ar iekārtai speciāli izstrādātu Cone CAL programmas nodrošinājumu, kas analizē tādus datus kā aizdegšanās laiks, degšanas jauda, kopējais izdalītais siltuma daudzums u.c. parametrus, kas raksturo degšanas procesa norisi.

2.4. Kaņepju šķiedru testēšanas metodes

Kaņepju šķiedru kūlīšu (saišķu) stiprības testiem pakļautas kaņepju šķirnes "Pūriņi" šķiedras no izmēģinājuma lauka Viļānu rajonā un "Bialobrzeskie" no rūpnieciskiem sējumiem Krāslavas rajonā (2009.g.). Paraugu sagatavošanas procesā lūksnes šķiedras no stiebra koksnainās daļas tiek atdalītas mehāniski, iegūtie lielie šķiedru kūļi ķemmējot sadalīti mazos šķiedru kūlīšos, kā arī atdalītas sekundārās šķiedras.

Turpmākajā šķiedru sagatavošanas procesā testēšanai veikta šķiedru kūlīšu atlase ar līdzīgiem izmēriem stiprības testiem. Testēšanai sagatavoti paraugi ar masu 2 gramu un šķiedru garumu 40 mm. Šķiedru masa noteikta ar mehāniskajiem svariem (ar iedaļas vērtību 0.2 mg). Lai novērstu šķiedru kūlīšu izslīdēšanu no spīlēm, to gali nostiprināti, ielīmējot milimetru papīra rāmīšos. Testiem atlasīto šķiedru kūlīšu skaitu skatīt 2.5. tabulā.

2.5.tabula

Kaņepju šķiedru kūlīšu diametru izpēte

Testēšanas parametri	Pūriņi			Bialobrzeskie		
Iespīlēšanas garums, mm	3	10	20	3	10	20
Paraugu skaits	20	130	20	20	20	50

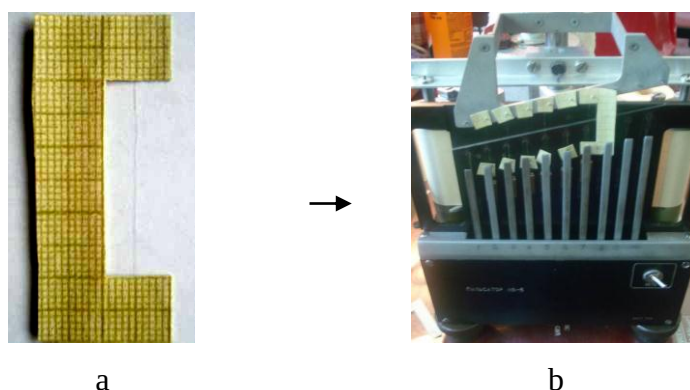
Kaņepju šķiedru stiprības testi veikti uz šķiedru raušanas iekārtas „PM-3-1” atbilstoši iespīlēšanas garumiem 3 mm, 10 mm un 20 mm, tā kā literatūras avotos nav viennozīmīgi noteikts iespīlēšanas garums šķiedru kūlīšiem. Eksperimentā stiepes stiprība tiek novērtēta pie 30N, spēles pārvietošanās ātrums 200 mm/ min. Tai pat laikā „Dabīgo šķiedru un medicīnas augu pētnieciskajā institūtā” (Poznaņa) atbilstoši Polijas standartam PN-P-04676:1986 [139] mērāmā parauga iespīlēšanas garums ir 3 mm; pārraušanas spēka diapazons 100 cN/tex,; testēšanas ātrums 10 mm/ min. Šķiedru kūlīšu pārrāvumu stiprību attiecinot pret šķiedru kūlīšu lineāro blīvumu, iegūst aprēķina formulu 2.7.:

$$Q = \frac{F}{T_t}, \quad (2.9)$$

kur Q – stiepes stiprība [cN / tex];
 F – pārraušanas spēks [cN];
 T_t – šķiedru kūlīšu lineārais blīvums [tex].

Pārrāvuma izturību nolasa ar precizitāti 0.1 cN/tex, pārraušanas spēka variācijas koeficientu nolasa ar precizitāti līdz 0.1%. Pirms eksperimenta paraugi jāiztur noteiktos klimatiskos apstākļos. Iegūtie rezultāti apstrādāti ar matemātiskās statistikas metodēm un atspoguļoti grafikos.

Kaņepju šķiedru kūlīšu ilgizturības testi daudzkārtējā stiepē, kuru gaitā noteikta šķirņu P un B šķiedru pretestība atkārtotām stiepes deformācijām, noteikta nelieliem primāro šķiedru kūlīšiem uz pulsatora „UB-5”. Sagatavošanas procesā šķiedru kūlīši ar mehāniskās atdalīšanas metodi sadalīti sīkās vienībās, uz optiskā mikroskopa atlasīti 0.04 mm diametra primāro šķiedru kūlīši un ielīmēti milimetru papīrā (2.1.att.).



2.1.att. Šķiedru kūlīšu sagatavošana testēšanai. a) testēšanai sagatavots paraugs, b) paraugi pulsatorā

Katrs paraugs uz pulsatora piestiprināts, fiksējot papīra augšējo un apakšējo daļu, vidējā daļa pēc nostiprināšanas tiek pārgriezta (2.1.att.). Vienlaicīgi tiek testēti 10 paraugi. Izmēģinājumu gaitā atbilstoši pilotmērījumu rezultātiem noteiktas amplitūdu un slodzes izmaiņu robežas. Eksperiments divos blokos:

- a) Šķiedru kūlīšu ilgizturība noteikta veicot iedarbību līdz 1000 cikliem. Testiem pakļautas kaņepju šķirņu P un B tillinātas šķiedras (2009. g.), kas apstrādātas uz linu kulstīšanas iekārtas. Paraugi šķiedru izturības pētījumiem sagatavoti un testēti 2010. gadā. Testēšanas parametri: iekārtas ciklu skaits 250 min^{-1} , šķiedru iespīlēšanas garums 30 mm, šķiedru

kūlīšu diametrs 0.04 mm, amplitūda 0.2 mm un 0.3 mm; slodzi 0.5 g vai 1 grams nodrošina katra parauga apakšdaļā piestiprinot attiecīgu atsvaru.

- b) Sagatavoto šķiedru kūlīšu testi veikti atbilstoši pilna faktoru eksperimenta plānam 2^3 ar diviem atkārtojumiem variējot amplitūdu un slodzi atbilstoši 2.6.tab. norādītajiem faktoru līmeņiem un testu turpinot līdz 1000 vai 2000 cikliem, tā kā vājākās šķiedras pirmās izsauc produktu atteikumu, kuros tās iestrādātas. Līdz ar to ir svarīgi novērtēt vājāko šķiedru slodzes nestspēju.

2.6.tabula

Faktoru variācijas līmeņi 2^3 eksperimentā

Faktors	Testēšanas parametri	Faktora variācijas līmenis	
		-1	1
x1	Amplitūda, mm	0.2	0.3
x2	Slodze, g	0.5	1
x3	Kaņepju šķirne	Biološanaskie	Pūriņi

Šķiedru kūlīšu diametrs tāpat kā iepriekš 0.04 mm ar šķiedru iespīlēšanas garumu 30 mm (testējot līdz 1000 cikliem) un 20 mm (testējot līdz 2000 cikliem), saglabājot nemainīgus 2.6.tab. norādītos faktoru līmeņus. Ir svarīgi, lai šķiedras spētu pretoties atkārtotām deformācijām, ko rada darba orgāni tehnoloģiskajos procesos, savukārt ekspluatācijas gaitā izolācijas materiāli šādām iedarbībām netiek pakļauti.

Iegūtie eksperimenta rezultāti apstrādāti, lietojot matemātiskās statistikas un eksperimenta plānošanas metodes, sakarības attēlotas grafikos, veidotas atbalss virsmas vai to divu dimensiju šķēlumi.

3. REZULTĀTI

Nodaļā sakopota kaņepju šķirņu Pūriņi (P) un Bialobrzeskie (B) šķiedru mehānisko īpašību salīdzinošas analīzes rezultāti, kā arī atspoguļotas ar termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas tehnoloģijām iegūto neausto materiālu fizikālās īpašības un to mijiedarbības, salīdzinoša šķiedru izcelsmes ietekmes analīze, kā arī neausto materiālu tehnoloģijas ietekmes analīze uz iegūto izolācijas materiālu nozīmīgākajām lietošanas īpašībām. Veiktas neausto materiālu izmaksu kalkulācijas, lai novērtētu tehnoloģiju ietekmi uz produkta cenu.

3.1. Termoliedēto neausto materiālu īpašības

3.1. tabulā apkopotas kaņepju šķirņu Pūriņu un Bialobrzeskie šķiedru paraugu fizikālo īpašību vidējās vērtības, kas raksturo izolācijas materiālu.

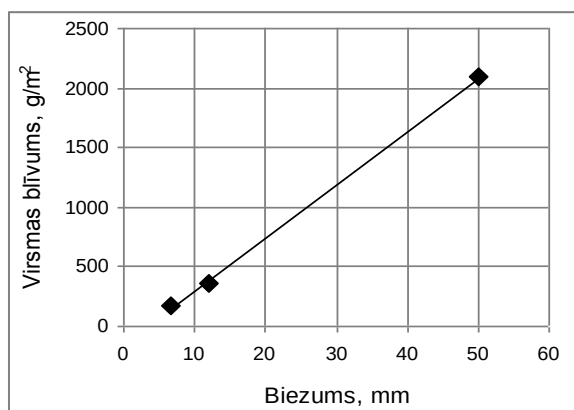
3.1.tabula

Termoliedēto neausto materiālu fizikālās īpašības

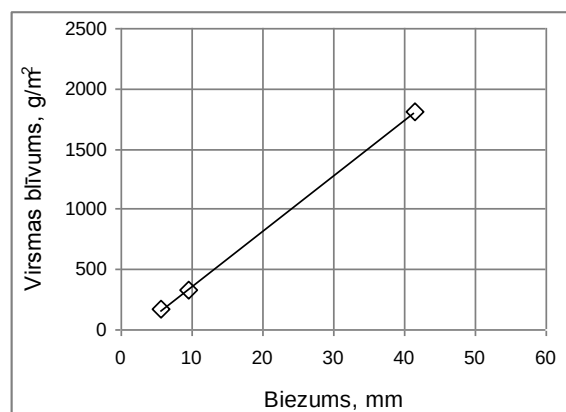
Nr.	Testa veids	Pūriņi			Bialobrzeskie		
		PT1	PT2	PT3	BT1	BT2	BT3
1.	Biezums, mm	6.7	12.0	50.1	5.7	9.6	41.4
2.	Virsmas blīvums, g/m ²	172	357	2089	169	335	1813
3.	Blīvums, kg/m ³	25.7	29.7	41.7	29.6	34.9	43.8
4.	Maksimālais poru izmērs, μm	191	-	-	172.8	-	-
5.	Porainība, %	98.3	98.0	97.2	98.0	97.6	97.0
6.	Ūdens tvaiku caurlaidība, %	71.4	56.9	21.2	80.5	69.0	26.9
7.	Siltumpretestība, m ² K/W	0.20	0.38	1.39	0.19	0.31	1.38
8.	Siltumvadāmība, W/(m·K)	0.033	0.031	0.036	0.029	0.031	0.030
9.	Aizdeģšanās laiks, s	-	1.3	-	-	3	-
10.	Maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanas laiks, s	-	18.3	-	-	25	-
11.	Maksimālā degšanas jauda (HRRmax), kW/m ²	-	221	-	-	284	-
12.	Kopējā siltuma izdalīšanās (THR), MJ/ m ²	-	8.2	-	-	6.5	-

Siltumizolācijas materiāla biezums un virsmas blīvums ir divi svarīgi parametri, kas nosaka materiāla atbilstību specifiskam lietojumam. No 3.1. tabulas redzams, ka izmainoties P šķiedru neaustā materiāla biezumam 7.5 reizes, virsmas blīvums palielinās 12.1 reizi; līdzīgi

palielinoties B šķirnes šķiedru neaustā materiāla biezumam 7.3 reizes, tā virsmas blīvums palielinās 10.8 reizes. 3.1.att. un 3.2.att. grafiki liecina, ka sakarības starp termoliedēšanas procesā iegūtā neaustā materiāla biezumu un virsmas blīvumu var raksturot kā lineāras; virsmas blīvums kā materiāla biezuma funkcija aprakstāma ar taisnes vienādojumu gan P, gan B šķiedru neaustajiem materiāliem (3.1 un 3.2. vien.). Nelielās virsmas blīvuma atšķirības, ko rada šķiedru izcelsme, skaidrojamas ar to, ka kāršanas mašīnas ieejā visiem variantiem padots vienāds šķiedru apjoms (2.3. tab., 2.nod.), bet izejošo sagatavju masa no P šķiedrām vidēji par 19.2 % pārsniedza atbilstošo B šķiedru rādītāju, tā kā lielāks daudzums šķirnes B šķiedru kāršanas procesā nonāca atsūkās. Taču, kā redzams grafikos, posmā, kur P un B biezumi sakrīt (robežās no 10 – 40 mm), P grupas paraugu virsmas blīvums ir tikai nedaudz mazāks (3.1. un 3.2.att.). Konstatētās šķiedru sagatavju masas atšķirības varētu būt atšķirīgu šķiedru lineāro blīvumu rezultāts. [127] Savukārt stingrā sakarības proporcionalitāte ļauj lietot matemātiskos modeļus (3.1., 3.2. vienādojumi) sagaidāmo virsmas blīvumu prognozēm, kārtējot kārstās sagataves līdz nepieciešamajam biezumam.



3.1.att. Virsmas blīvums kā biezuma f-ja (P)



3.2.att. Virsmas blīvums kā biezuma f-ja (B)

$$Y_{vbP} = - 151.22 + 44.651X_{biP} \quad (3.1)$$

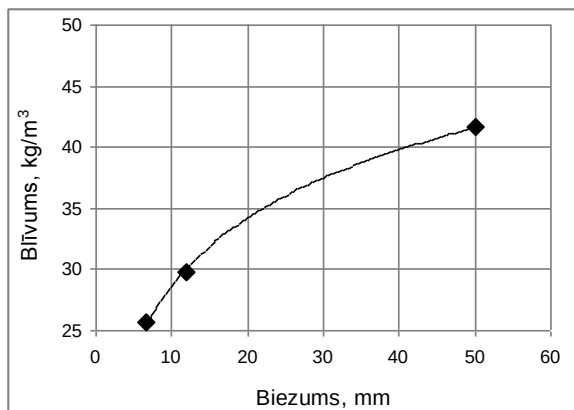
$$Y_{vbB} = - 101.18 + 46.221X_{biB}, \quad (3.2)$$

kur: Y_{vbP} ; Y_{vbB} – termoliedēto materiālu virsmas blīvums (g/m^2),

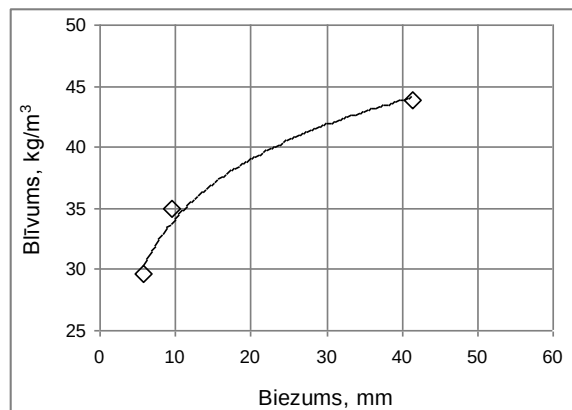
X_{biP} ; X_{biB} – termoliedēto materiālu biezums (mm).

Termoliedēto paraugu blīvuma atkarībai no parauga biezuma ir izteikti nelineārs raksturs (3.3. un 3.4.att.). To aprakstam piemērotas logaritmiskās funkcijas (3.3. un 3.4. vien.). B paraugu blīvuma grafiks novietojas augstāk nekā atbilstošais P šķiedru grafiks (3.3. un 3.4.att.). Tas liecina, ka šķiedru izvietojs B paraugos ir blīvāks, kā arī pašu šķiedru

lineārais blīvums augstāks, ko apstiprina darbā [127] veiktie pētījumi: B šķiedru lineārais blīvums (3.6 Tex) 1.6 reizes pārsniedz P šķiedru lineāro blīvumu (2.3 Tex). Biezumam mainoties robežās no 10 - 40 mm, blīvuma starpība starp šķirnēm variē ~ 4 - 5 kg/m³ robežās. To var skaidrot ar faktu, ka P šķiedras ir smalkākas nekā B, [127] kā rezultātā starp tām ir vairāk vietas gaisa porām un materiāls veidojas mazāk blīvs.



3.3.att. Blīvums kā biezuma f-ja (P)



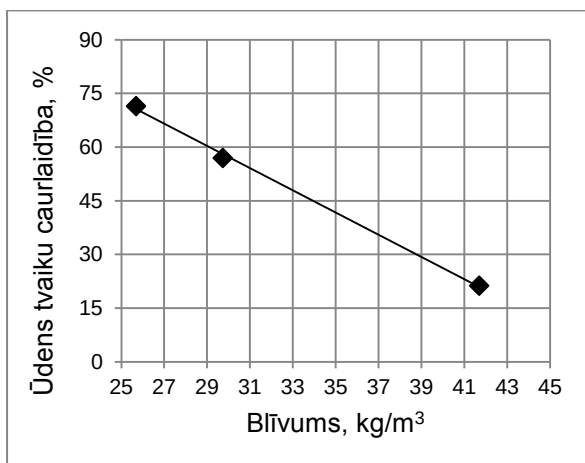
3.4.att. Blīvums kā biezuma f-ja (B)

$$Y_{bP} = 10.168 + 8.0285 \ln(x_{biP}) \quad (3.3)$$

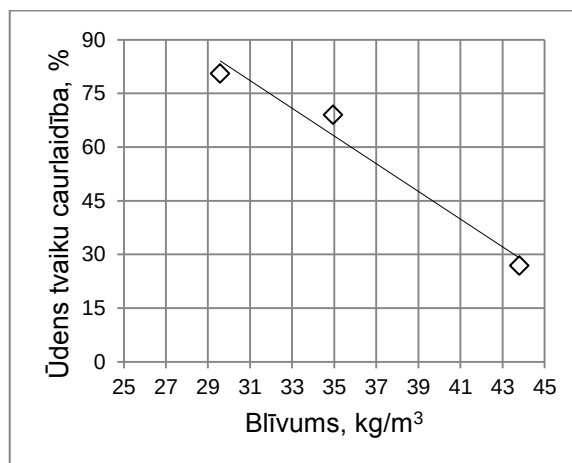
$$Y_{bB} = 18.262 + 6.9291 \ln(x_{biB}), \quad (3.4)$$

kur : Y_{bP} ; Y_{bB} – termoliedēto paraugu blīvums (kg/m³),

x_{biP} ; x_{biB} – termoliedēto paraugu biezums (mm).



3.5.att. Ūdens tvaiku caurlaidību kā blīvuma f-ja (P)



3.6.att. Ūdens tvaiku caurlaidību kā blīvuma f-ja (B)

Ūdens tvaiku caurlaidību kā blīvuma f-ju apraksta lineāras sakarības (3.5 un 3.6.vien.), ģeometriski - taisnes (3.5. un 3.6. att.). Palielinoties termoliedētā materiāla blīvumam, ūdens tvaiku caurlaidība strauji samazinās, pie tam visā blīvumu diapazonā tvaiku caurlaidība ir ievērojami zemāka P šķiedru neaustajiem materiāliem (3.5. un 3.6. att.).

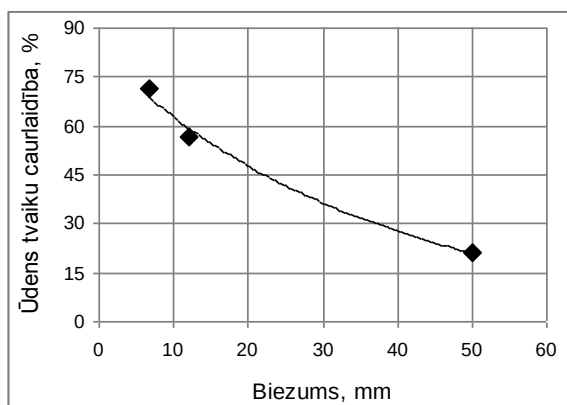
$$Y_{\bar{u}P} = 150.34 - 3.1037x_{bP} \quad (3.5)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 198.48 - 3.8685x_{bB}, \quad (3.6)$$

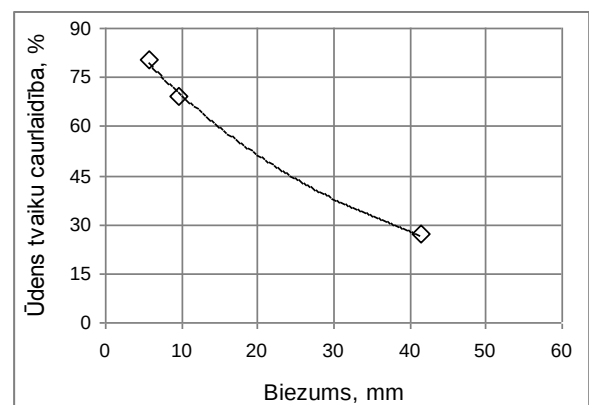
kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – termoliedēto paraugu ūdens tvaiku caurlaidība (%),
 x_{bP} ; x_{bB} – termoliedēto paraugu blīvums (kg/m^3).

P šķiedru paraugu blīvumam palielinoties par 62%, tvaiku caurlaidība samazinās par 237%. Savukārt B šķiedru paraugiem, blīvumam pieaugot par 48%, ūdens tvaiku caurlaidība samazinās par 199% (praktiski divas reizes). Salīdzinot abu šķirņu šķiedru paraugus, redzams, ka P šķiedru materiālu blīvumam 30 kg/m^3 atbilstoša ūdens tvaiku caurlaidība ir 57.2 % un B paraugiem - 82.4 %, t.i., 1.44 reizes labāka. Tas skaidrojams ar materiāla biezuma atšķirībām (B- 5.7; P- 12 mm).

Tā kā projektējot izolācijas materiālus ļoti svarīgs ir materiāla biezums, ūdens tvaiku caurlaidība atkarībā no pētāmo paraugu biezuma atspoguļota 3.7.att. un 3.8.att., no kuriem redzams, ka sakarībām ir nelineārs raksturs; šīs sakarības aprakstītas ar matemātiskiem modeļiem - otrās pakāpes adekvātiem polinomiem (3.7. un 3.8.vienādojumi). Palielinoties biezumam, abu grupu paraugu ūdens tvaiku caurlaidība praktiski vienlīdz strauji samazinās; vienāda biezuma intervālā (10 - 40 mm) P paraugu ūdens tvaiku caurlaidība ir par 7 - 8 % mazākas nekā B paraugiem. Pie līdzīgiem biezumiem (P- 6.7; B- 5.7 mm), B paraugu UTC ir par 1.1 reizi augstāka nekā P.



3.7.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (P)



3.8.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (B)

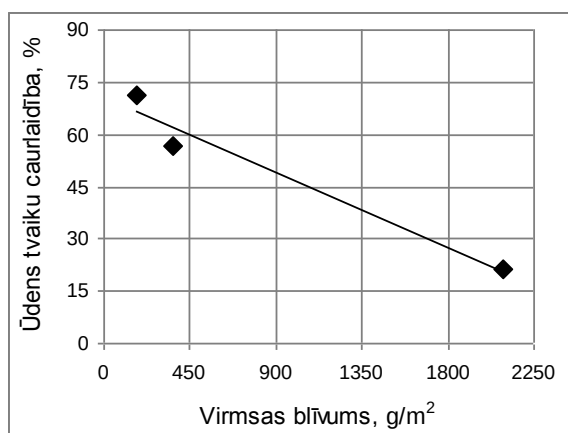
$$Y_{\bar{u}P} = 93.063 - 0.3511x_{biP} + 0.0004x_{biP}^2 \quad (3.7)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 99.798 - 0.3645x_{biB} + 0.0005x_{biB}^2, \quad (3.8)$$

kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – termoliedēto materiālu ūdens tvaika caurlaidība (%),
 x_{biP} ; x_{biB} – termoliedēto materiālu biezums (cm).

Līdzīgi tvaiku caurlaidības spēcīga atkarība no kokvilnas adītu drānu biezuma konstatēta darbā [34; 36]

Ūdens tvaiku caurlaidības atkarību no termoliedētā materiāla virsmas blīvuma var aprakstīt ar taisnes vienādojumiem (3.9 un 3.10 vien.). Kā rāda 3.9 un 3.10.att. grafiki, virsmas blīvumam pieaugot, ūdens tvaiku caurlaidība strauji samazinās. Šķiedru izcelsmes ietekme virsmas blīvumam pieaugot samazinās. B šķiedru materiāla virsmas blīvumam 172 g/m² atbilstošā tvaiku caurlaidība ir par 16 % lielāka nekā atbilstošais P šķiedru bāzes materiāla rādītājs $Y_{\bar{u}P}$. Turpretīm virsmas blīvumam palielinoties līdz 1813 g/m², $Y_{\bar{u}}$ atšķirības starp P un B šķiedru materiālu ūdens tvaiku caurlaidībām ir tikai 3%.



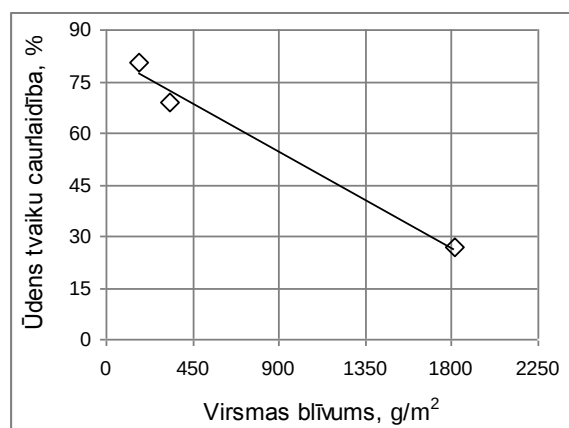
3.9.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (P)

$$Y_{\bar{u}P} = 70.744 - 0.024X_{vbP} \quad (3.9)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 82.726 - 0.031X_{vbB}, \quad (3.10)$$

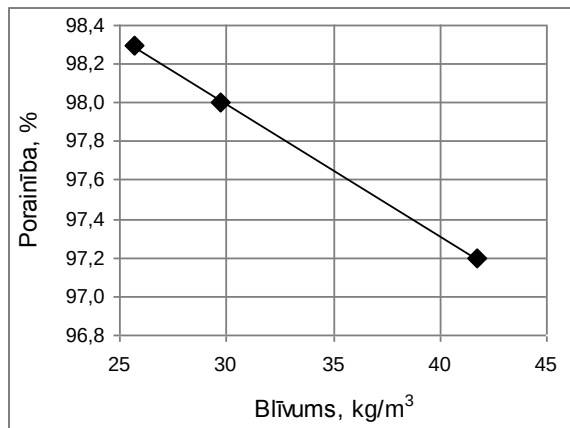
kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – termoliedēto materiālu ūdens tvaika caurlaidība (%),

X_{vbP} ; X_{vbB} – termoliedēto materiālu virsmas blīvums (g/m²).

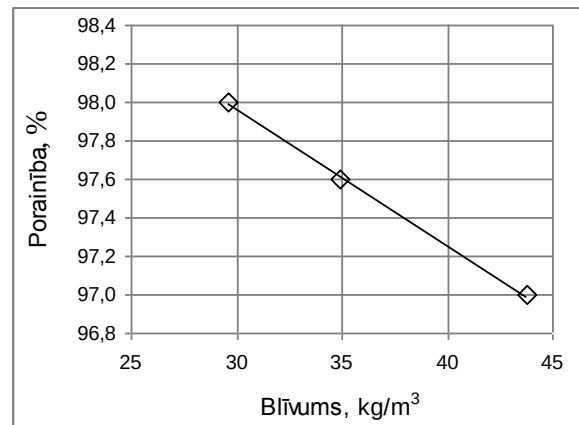


3.10.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (B)

Abu šķirņu šķiedru termoliedēto materiālu porainība lineāri samazinās, palielinoties to blīvumam (3.11., un 3.12. vien.; 3.11.att. un 3.12. att.). Bet skaitliski samazinājums nav liels – P šķiedru materiālu blīvumam mainoties plašās robežās (25.7 kg/m³– 41.7 kg/m³), izmaiņas poru apjomā ir tikai 1.1%. Šķirnes B materiālu blīvums kopumā ir nedaudz lielāks (29.6 - 43.8 kg/m³), porainība ir nedaudz zemāka – eksperimentāliem paraugiem mainās 1% robežās (3.11. un 3.12.att), par ko liecina arī ļoti niecīgās leņķa koeficientu vērtības vienādojumos 3.11. un 3.12.



3.11.att. Porainība kā blīvuma f-ja (P)



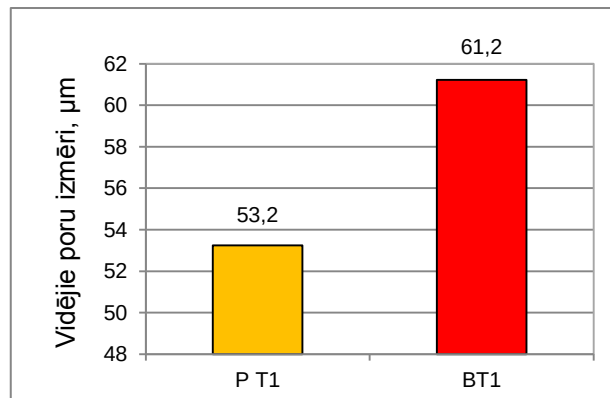
3.12.att. Porainība kā blīvuma f-ja (B)

$$Y_{pP} = 100.05 - 0.0683x_{bP} \quad (3.11),$$

$$Y_{pB} = 100.06 - 0.0701x_{bB}, \quad (3.12).$$

kur: Y_{pP} ; Y_{pB} – termoliedēto materiālu porainība (%),
 x_{bP} ; x_{bB} – termoliedēto materiālu blīvums (kg/m³).

Vidējie poru izmēri noteikti T1 paraugiem (3.13.att.). BT1 paraugu vidējie poru izmēri ir par 15 % lielāki nekā PT1 paraugiem. Par atšķirību iemesliem var uzskatīt atšķirīgos blīvumus (P - 25.7 kg/m³, B – 29.6 kg/m³), kā arī atšķirīgos šķiedru lineāros blīvumus, tā kā neaustajos materiālos mazākas poras var panākt, izmantojot neliela diametra šķiedras. [24]



3.13.att. Vidējie poru izmēri PT1 un BT1 variantu paraugos

3.2.tab. parādītas aprēķinātās korelācijas koeficientu vērtības. Pie nozīmības līmeņa $p = 0.95$ un brīvības pakāpju skaita 4, par būtiskiem uzskatāmi korelācijas koeficienti $r > 0.82$. No teiktā seko, ka uz korelāciju norāda tikai tie koeficienti, kas ir ļoti tuvi vērtībai $r = 1$; iekrāsoti 3.2. tabulā.

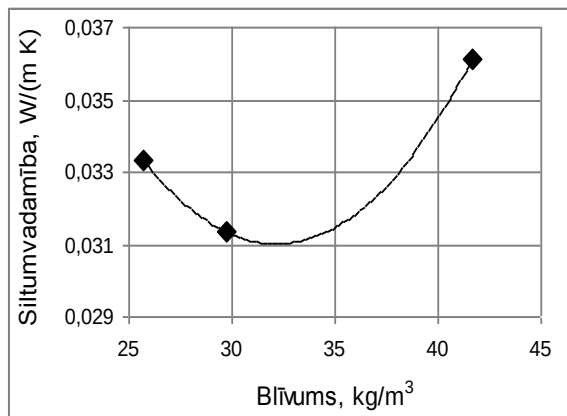
3.2.tabula

Termoliedēto kaņepju šķiedru neausto materiālu fizikālo īpašību korelācijas matrica

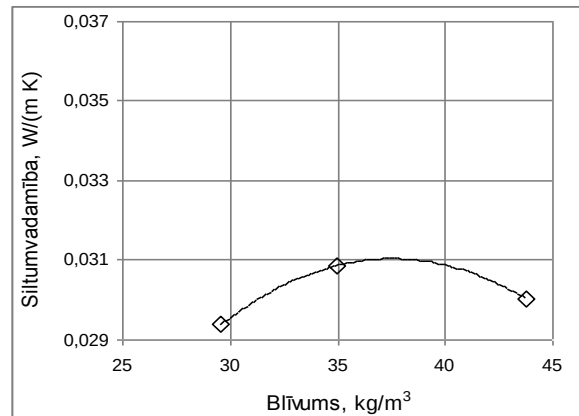
Termoliedētā materiāla īpašības	Biezums mm	Virsmas blīvums, g/m ²	Blīvums kg/m ³	Porainība, %	Tvaiku caurlaidība %	Siltum pret., m ² K/W	Siltumvad W/(m·K)
Biezums, mm	1.000						
Virsmas blīvums, g/m ²	0.998	1.000					
Blīvums, kg/m ³	0.901	0.916	1.000				
Porainība, %	- 0.878	- 0.895	- 0.999	1.000			
Ūdens tvaiku caurlaidība, %	- 0.977	- 0.971	- 0.870	0.848	1.000		
Siltumpretestība m ² K/ W	0.990	0.995	0.926	- 0.908	- 0.976	1.000	
Siltumvadāmība, W/(m·K)	0.491	0.453	0.166	- 0.122	- 0.476	0.382	1.000

Kā redzams no 3.2. tab. pēdējās rindiņas, siltumvadāmība nekorelē ne ar vienu no apskatītajām termoliedēto materiālu īpašībām. Katram modificētam vai jaunam materiālam jāveic visām pārējo īpašību kombinācijām atbilstoši mērījumi un analīzes kā tas parādīts zemāk, ņemot vērā, ka siltumvadāmība ir viens no galvenajiem siltumizolācijas materiālu raksturlielumiem.

Neskatoties uz to, ka siltumvadāmības raksturlieknes kā funkcijas no P un B šķiedru termoliedēto materiālu blīvuma ir ar pretējiem izvērsumiem (3.14. un 3.15. att.), eksperimentāli iegūtās siltumvadāmības skaitliskās vērtības oscilē diapazonā no 0.031 līdz 0.036 W/(m·K) „P” grupas paraugiem un 0.029 - 0.031 W/(m·K) „B” grupas paraugiem. Vērtības uzskatāmas par samērā maz atšķirīgām, ņemot vērā atšķirīgos materiālu blīvuma diapazonus un siltumvadāmībai kā materiāla īpašībai raksturīgu lielu izkliedi. [19; 74] Iegūtie rezultāti liecina, ka siltumvadāmībai ir tendence samazināties, pieaugot materiāla blīvumam. Tomēr, mainoties blīvumam, izmaiņas siltumvadāmībā ir salīdzinoši nelielas, kas konstatēts testējot termoliedēto materiālu variantus.



3.14.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (P)



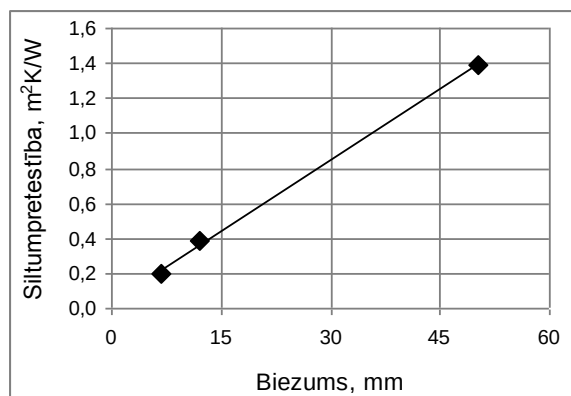
3.15.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (B)

$$Y_{svP} = 0.0892 - 3.6227x_{bP} + 56.358x_{bP}^2 \quad (3.14)$$

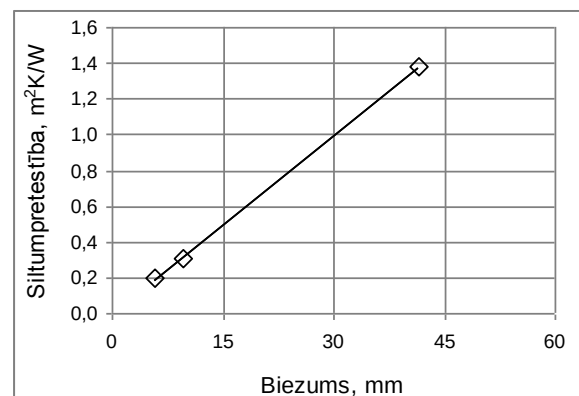
$$Y_{svB} = -0.0062 + 1.9867x_{bB} - 26.452x_{bB}^2, \quad (3.15)$$

kur: Y_{svP} ; Y_{svB} – termoliedēto materiālu siltumvadāmība (W/(m·K)),

x_{bP} ; x_{bB} – termoliedēto materiālu blīvums (kg/m³).



3.16.att. Siltumpretestība kā biezuma f-ja (P)



3.17.att. Siltumpretestība kā biezuma f-ja (B)

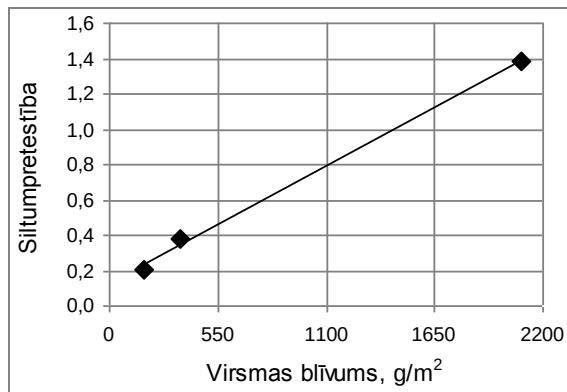
$$Y_{spP} = 0.0388 + 0.0269x_{biP} \quad (3.16)$$

$$Y_{spB} = -0.0022 - 0.0333x_{biB}, \quad (3.17)$$

kur: Y_{spP} ; Y_{spB} – termoliedēto materiālu siltumpretestība (m²K/W),

x_{biP} ; x_{biB} – termoliedēto materiālu biezums (mm).

Virsmas blīvumu intervālā 500 - 650 g/m² P un B šķiedru termoliedēto materiālu siltumpretestības rādītāji ir praktiski vienādi (3.18., 3.19.att.). Virsmas blīvumiem zem 500 g/m² lielāka siltumpretestība ir P šķiedru materiālam. Savukārt sasniedzot virsmas blīvumu 2000 g/m², B paraugu siltumpretestība par 10% pārsniedz P šķiedru materiāla siltumpretestības rādītāju.



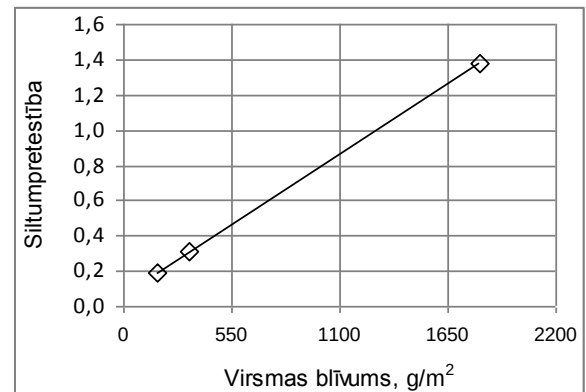
3.18.att. P šķiedru materiāla siltumpretestība kā virsmas blīvuma f-ja (P)

$$Y_{spP} = 0.1308 + 0.0006x_{vbP} \quad (3.18)$$

$$Y_{spB} = 0.0708 + 0.0007x_{vbB}, \quad (3.19)$$

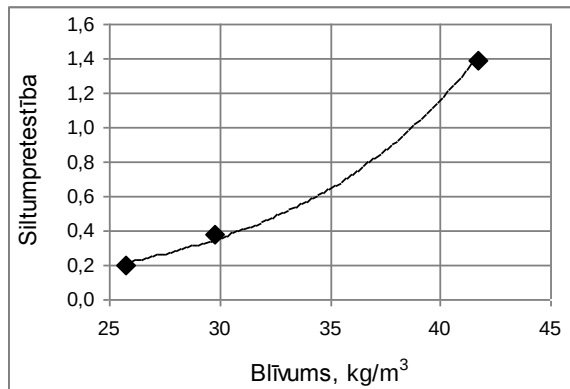
kur: Y_{spP} ; Y_{spB} – termoliedēto materiālu siltumpretestība (m^2K/W),

x_{vbP} ; x_{vbB} – termoliedēto materiālu virsmas blīvums (g/m^2).



3.19.att. B šķiedru materiāla siltumpretestība kā virsmas blīvuma f-ja (B)

Pie vienādiem blīvumiem, genotipa P siltumpretestības rādītāji ir augstāki, salīdzinot ar šķirni B. Ja pie blīvuma 30 kg/m^3 , P siltumpretestība ir ap $0.35 \text{ m}^2K/W$, tad B tā ir ap $0.2 \text{ m}^2K/W$. Taču pie blīvuma 40 kg/m^3 , atšķirība jau ir krietni lielāka: P ap $1.2 \text{ m}^2K/W$ un B tikai ap $0.75 \text{ m}^2K/W$ (3.20. un 3.21.att.).



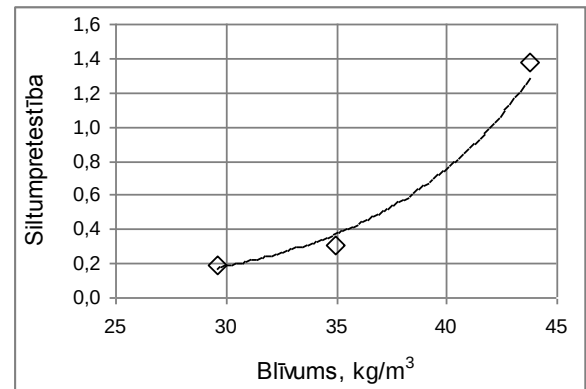
3.20.att. P šķiedru materiālu siltumpretestība kā blīvuma f-ja (P)

$$Y_{spP} = y = 0.8484 - 86.364x_{bP} + 2380.2x_{bP}^2 \quad (3.20)$$

$$Y_{spB} = 6.6645 - 422.72x_{bB} + 6896.1x_{bB}^2, \quad (3.21)$$

kur: Y_{spP} ; Y_{spB} – termoliedēto materiālu siltumpretestība (m^2K/W),

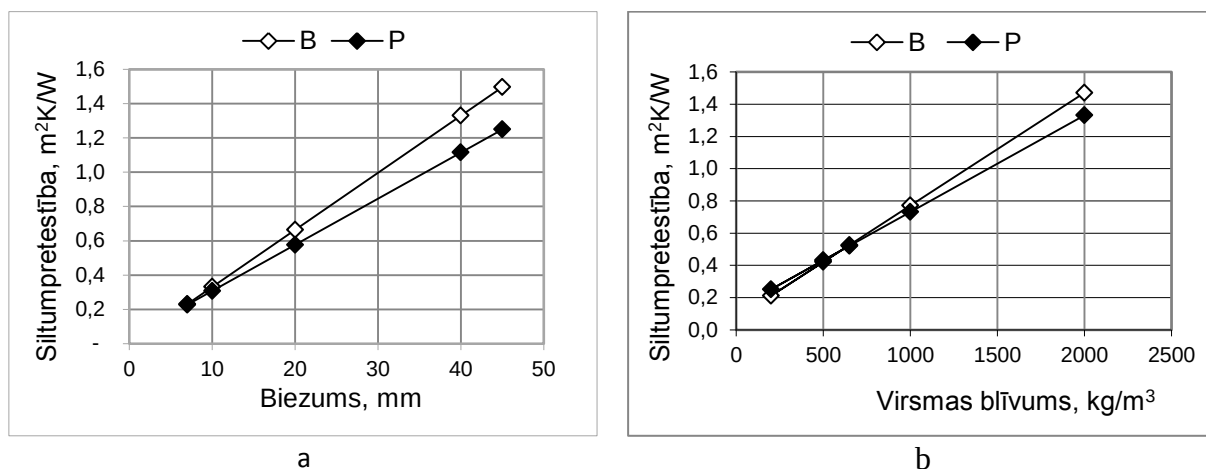
x_{bP} ; x_{bB} – termoliedēto materiālu blīvums (kg/m^3).



3.21.att. B šķiedru materiālu siltumpretestība kā blīvuma f-ja (B)

No 3.2. tab. redzama cieša termoliedēto materiālu siltumpretestības korelācija ar materiāla biezumu ($r = 0.99$) un virsmas blīvumu ($r = 0.995$), kā arī ūdens tvaiku caurlaidību ($r = -0.976$). Attēlu 3.16. un 3.17. grafiki rāda, ka siltumpretestība lineāri pieaug, palielinoties abu salīdzināmo šķiedru termoliedēto materiālu biezumam (3.16. un 3.17. att.) un virsmas blīvumam (3.18. un 3.19. att.), bet proporcionāli samazinās, palielinoties tvaiku caurlaidībai.

Vienādam minimālajam biezumam (6.7 mm) atbilstošie P un B šķiedru materiālu siltumpretestības rādītāji ir praktiski vienādi (3.22. att.a), bet biezumam pieaugot virs 35 mm, B siltumpretestība par 19 % pārsniedz P šķiedru attiecīgo rādītāju (3.22. att.a).

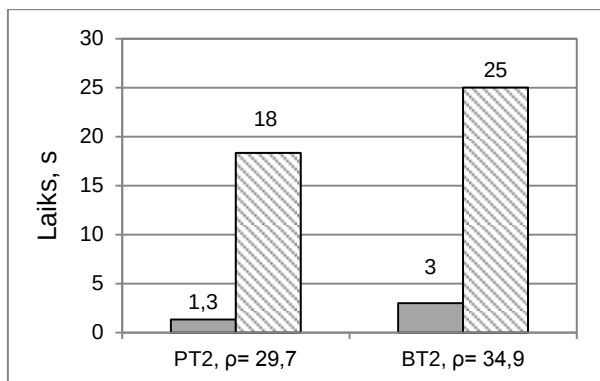


3.22.att. Salīdzinoši siltumpretestības izmaiņu grafiki palielinoties materiāla biezumam (a) un virsmas blīvumam (b)

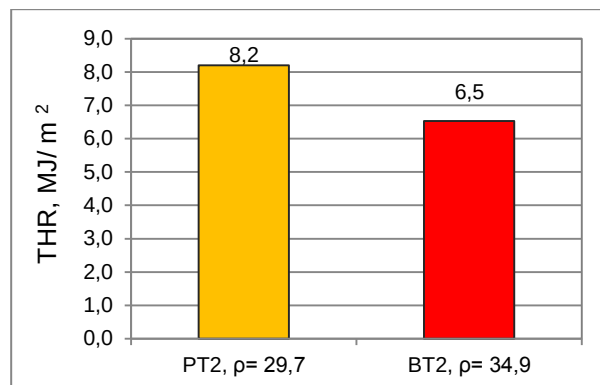
Kaņepju termoliedēto materiālu ugunsreakcijas īpašības apkopotas 3.1.tabulā. Galvenie rādītāji, kas raksturo materiāla degšanas raksturu ir aizdegšanās laiks un kopējais izdalītais siltums (THR). [140] Būtisks faktors, kas jāņem vērā aizdegšanās un degšanas procesa raksturošanai, ir neaustā materiāla mitrums un blīvums, tomēr nozīmīga ietekme ir arī šķirnei, elementāršķiedru biezumam, ķīmisko sastāvdaļu proporcijām, kur, piem., pie lielāka lignīna sastāva aizdegšanās laiks var paātrināties. [141]

3.23.att. redzams koniskā kalorimetra testu rezultātā noteiktais kaņepju un PE-PP šķiedru neausto materiālu aizdegšanās laiks $50 kW \cdot m^2$ siltuma starojuma ietekmē un maksimālās degšanas jaudas laiks termoliedētajiem abu šķirņu paraugiem. PT2 grupas paraugu aizdegšanās laiks ir par 56% ātrāks salīdzinājumā ar BT2 paraugiem un uzrāda arī par 27% ātrāku maksimālās degšanas jaudas laiku. Atšķirības starp šķirnēm var skaidrot ar blīvuma atšķirībām, kur P šķiedras ir smalkākas (2.3 Tex) nekā B šķiedras (3.6 Tex) un līdz ar to ātrāk uzliesmojošas. Arī lignīna saturs B šķiedrās ir mazāks (5.7 %) nekā P šķiedrās (8 %). [127]

Degšanas procesa raksturošanai izmantoti kopējā izdalītā siltuma daudzuma rādītāji (3.24. att.). Neausto materiālu paraugu grupai PT2 degot izdalās par 26 % lielāks siltuma daudzums nekā attiecīgajai BT2 paraugu grupai. To var skaidrot ar blīvuma atšķirībām (3.1. tab., 3.23. att.): pieaugot blīvumam samazinās kopējā izdalītā siltuma jauda (THR); jo mazāks blīvums, jo vairāk materiālā ir iekļauts skābeklis, līdz ar to tiek veicināta degšana un pieaug kopējais izdalītais siltuma daudzums THR. [142; 143]

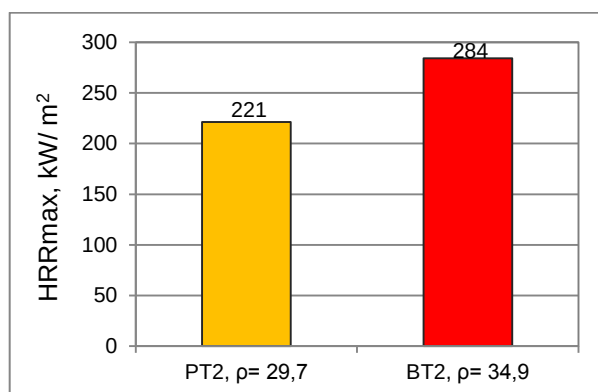


3.23.att. Termoliedēto materiālu aizdegšanās laiks un laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai



3.24.att. Termoliedēto materiālu kopējais izdalītais siltums (THR).
 ρ – materiāla blīvums, g/cm³

Viens no materiālu paraugu degamības raksturojumiem ir degšanas jauda, kas sasniegusi maksimālo robežu, ko dēvē par degšanas pīķa jaudu. Fiksētās Pūriņu un Bialobrzieskie šķirņu šķiedru termoliedēto materiālu maksimālās degšanas jaudas parādītas 3.25. attēlā. Salīdzinot skaitliskās vērtības konstatēts, ka BT2 paraugu maksimālā degšanas jauda par 28 % pārsniedz PT2 paraugu rādītāju. Tas nozīmē, ka BT2 šķiedru termoliedētie materiāli liesmu izplatīšanos uz apkārt esošiem objektiem veicinās straujāk. [144]



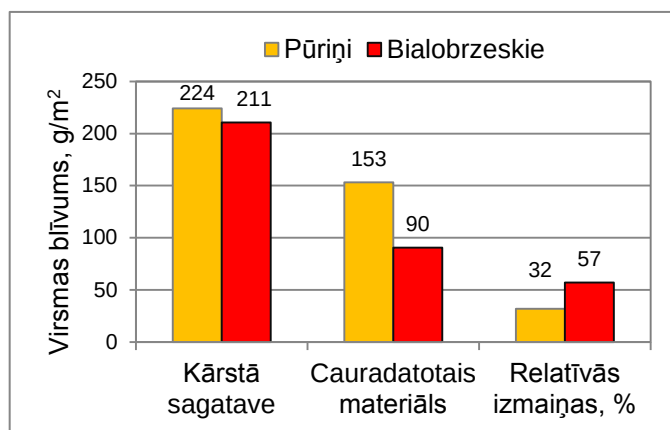
3.25.att. Maksimālā degšanas jauda (HRRmax)

Ar termoliedēšanas tehnoloģiju izstrādāto neausto materiālu paraugu fizikālās īpašības, t.sk. maza siltumvadāmība ($\lambda = 0.029 - 0.036$ W/m·K), mazs blīvums (26 – 44

kg/m³, biezumam variējot robežās no 7 līdz 50 mm un ļoti laba ūdens tvaiku caurlaidība intervālā no 21 līdz 80 % ļauj iekļaut termoliedētos neaustos kaņepju šķiedru materiālus „elpojošu” pakešu veidošanai mājssaimniecības, rūpniecības ēku sienu, grīdu un griestu konstrukcijās. Piedāvātie matemātiskie modeļi ļauj aprēķināt paredzamo materiālu lietošanas īpašības eksperimentos noteiktajās robežās.

3.2.Cauradatoto neausto materiālu īpašības

Cauršūšanas procesā, kas notiek ar paša materiāla šķiedrām, adatu iedarbības rezultātā, kārsto sagatavju virsmas blīvums ievērojami samazinās. Pie tam samazinājuma pakāpe ir atšķirīga Pūriņu (P) un Bialobrzeskie (B) kaņepju šķirņu šķiedrām (3.3. tab., 3.26.att.). Cauradatoto materiālu sablīvēšanās koeficients ir 1.46 P un 2.33 B paraugiem. Kārsto sagatavju vidējais virsmas blīvums grupas ietvaros pēc cauradatošanas sarucis par 31.7% šķirnei P un par 57.1% šķirnei B. 3.26. att. b līknes ļauj noteikt sagataves virsmas blīvumu noteikta virsmas blīvuma cauradotā kaņepju šķiedru materiāla izstrādei. Piem., lai iegūtu cauradatoto izolācijas materiālu ar virsmas blīvumu 600 kg/m² no B šķirnes šķiedrām, nepieciešama sagatave ar virsmas blīvumu 1250 kg/m², savukārt no P šķiedrām tāda pat virsmas blīvuma materiāla iegūšanai nepieciešamais sagataves virsmas blīvums ir 770 kg/m².



3.26.att. Cauradatotā materiāla virsmas blīvuma atkarība no kārstās sagataves virsmas blīvuma un to relatīvās izmaiņas

Pūriņu un Bialobrzeskie šķirnes kaņepju šķiedru cauradatoto siltumizolācijas materiālu testu rezultātā iegūtās galvenās ekspluatācijas īpašības apkopotas 3.3. tab.

3.3.tabula

Cauradatoto izolācijas materiālu fizikālās īpašības

Nr.	Testa veids	Pūriņi			Bialobrzeskie		
		PN1	PN2	PN3	BN1	BN2	BN3
1.	Biezums, mm	6.5	17.7	45.7	4.4	10.6	32.7
2.	Virsmas blīvums, g/m ²	153	468	1385	90	258	908
3.	Blīvums, kg/m ³	23.6	26.4	30.3	20.6	24.3	27.8
4.	Porainība, %	98.4	98.2	98	98.6	98.4	98.1
5.	Ūdens tvaiku caurlaidība, %	69.2	57.1	28	74.3	54.4	26.8
6.	Siltumpretestība, m ² K/W	0.24	0.44	1.23	0.16	0.32	1.15
7.	Siltumvadāmība, W/(m·K)	0.028	0.040	0.037	0.028	0.033	0.028
8.	Kārstās sagataves masa, g	59.0	173.8	512.7	39.3	126.4	363.9
9.	Kārstās sagataves virsmas blīvums, g/m ²	224	678	2018	211	613	1917
10.	Aizdegšanās laiks, s	-	3	-	-	6	-
11.	Maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanas laiks, s	-	20	-	-	26.7	-
12.	Maksimālā degšanas jauda (HRRmax), kW/m ²	-	179	-	-	225	-
13.	Kopējā siltuma izdalīšanās (THR), MJ/ m ²	-	8.9	-	-	7.3	-

3.4. tab. parādītas aprēķinātās korelācijas koeficientu vērtības. Pie nozīmības līmeņa $p=0.95$ un brīvības pakāpju skaita 4, par būtiskiem uzskatāmi korelācijas koeficienti, ja $r > 0.82$. No teiktā seko, ka uz stipru korelāciju norāda tikai tie koeficienti, kas ir ļoti tuvi vērtībai $r = 1$; 3.4. tabulā tie ir iekrāsoti.

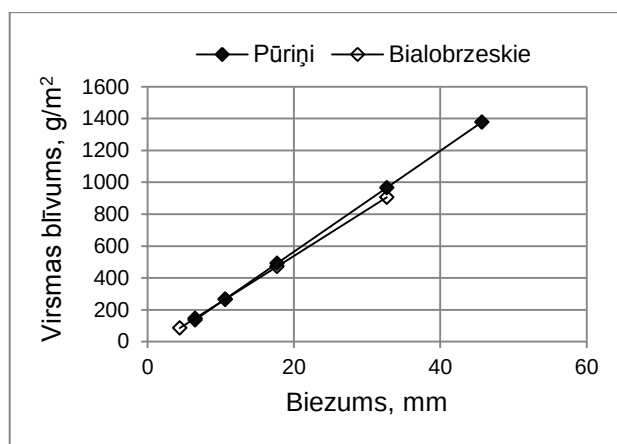
3.4. tabula

Caurdato kaņepju šķiedru izolācijas materiālu fizikālo īpašību korelācijas matrica

Caurdatotā materiāla īpašības	Biezums, mm	Virsmas blīvums, g/m ²	Blīvums, kg/m	Porainība, %	Ūdens tvaiku caurlaidība, %	Silt.pretest. m ² K W	Silt.vad., W/(m·K)
Biezums, mm	1.000						
Virsmas blīvums, g/m ²	0.999	1.000					
Blīvums, kg/m ³	0.938	0.9 9	1.000				
Porainība, %	- 0.921	- 0.911	- 0.994	1.000			
Ūdens tvaiku caurlaidība, %	- 0.959	- 0.953	- 0.944	0.907	1.000		
Siltumpretestība, m ² K/W	0.997	0.999	0.926	- 0.905	- 0.958	1.000	
Siltumvadāmība, W/(m·K)	0.59	0.63	0.777	- 0.798	- 0.684	0.05	1.000

Līdzīgi kā termoliedēto materiālu, arī cauradato materiālu siltumvadāmība praktiski nekorelē ne ar vienu no apskatītajām īpašībām, kā tas redzams no 3.4.tab. pēdējās rindiņas. Tādējādi katram modificētam vai jaunam cauradatotam materiālam jāveic visām pārējo īpašību kombinācijām atbilstoši mērījumi un analīzes.

Palielinoties cauradotā materiāla biezumam, proporcionāli palielinās materiāla virsmas blīvums, atbilstošās sakarības apraksta 3.23. un 3.24. vienādojumi. Kā redzams no 3.27. attēla grafikiem, cauradato neausto materiālu virsmas blīvuma un biezuma attiecīgie rādītāji ir nedaudz augstāki P paraugiem, kas arī bija sagaidāms ņemot verā iepriekš apskatītos atšķirīgos materiālu sablīvēšanās koeficientus (1.46 P un 2.33 B). Ja cauradato materiālu biezumi nepārsniedz 20 mm un sakrīt, P un B šķiedru virsmas blīvumi atšķiras tikai nedaudz (atšķirības nav būtiskas). Bet biezumam paaugstinoties līdz 32.7 mm, P šķiedru materiāla virsmas blīvums ir par ~ 7% augstāks (3.24.att.).



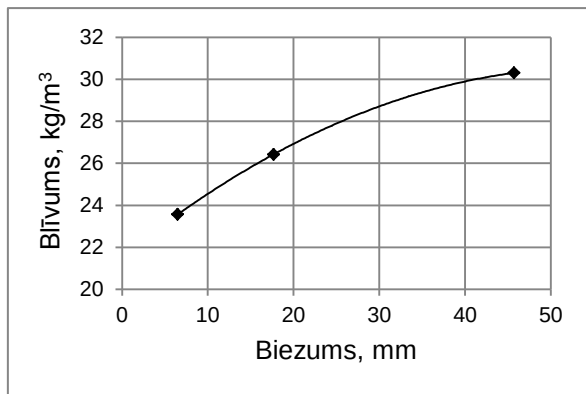
3.27.att. Virsmas blīvums kā biezuma f-ja (P un B šķiedras)

$$Y_{vbP} = - 69.438 + 31.678x_{biP} \quad (3.23)$$

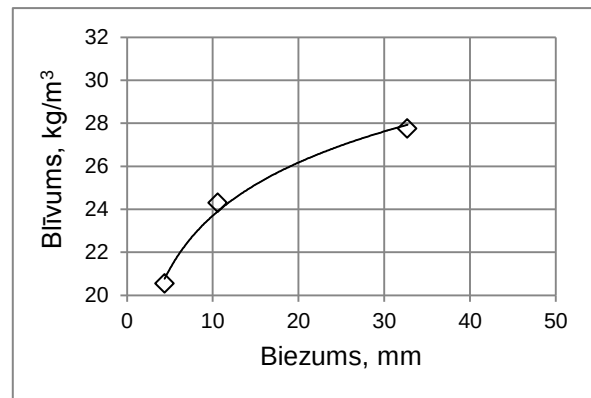
$$Y_{vbB} = - 42.82 + 29.019x_{biB}, \quad (3.24)$$

kur: Y_{vbP} ; Y_{vbB} – cauradato materiālu blīvums (g/m^2),
 x_{biP} ; x_{biB} – cauradato materiālu biezums (mm).

No 3.28. un 3.29.att. attēlu grafikiem redzams, ka cauradotā materiāla blīvums ir nelineāri atkarīgs no biezuma. Nelineārās sakarības apraksta parabolas vienādojumi 3.25 un 3.26. Materiāla biezumiem robežās no 6.5 līdz 32.7 mm atbilst vidēji par 4.5 % mazāks B šķiedru cauradato materiālu blīvums. Tā kā B šķiedras ir rupjākas un ciešāk grupējas viena pie otras, materiālā ir mazāk vietas gaisa porām.



3.28.att. Blīvums kā biezuma f-ja (P)



3.29.att. Blīvums kā biezuma f-ja (B)

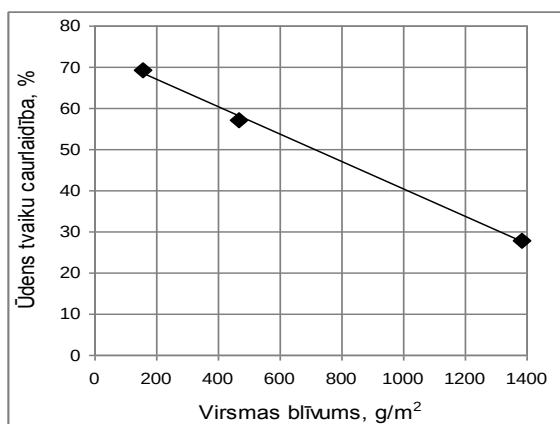
$$Y_{bP} = 21.56 + 0.328x_{biP} - 0.003x^2 \quad (3.25)$$

$$Y_{bB} = 15.497 + 3.565 \ln(x_{biB}), \quad (3.26)$$

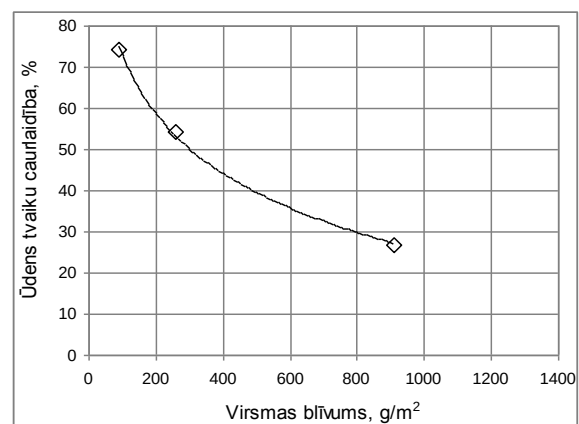
kur: Y_{bP} ; Y_{bB} – caurdatoto materiālu blīvums (kg/m^3),

x_{biP} ; x_{biB} – caurdatoto materiālu biezums (mm).

P un B šķiedru caurdatoto materiālu virsmas blīvumam palielinoties, ūdens tvaiku caurlaidība strauji samazinās (3.30. un 3.31.att.). P šķiedru grupas paraugu ūdens tvaiku caurlaidība, palielinoties materiāla virsmas blīvumam, samazinās apgriezti proporcionāli un ir aprakstāma ar taisnes vienādojumu 3.27, bet tā kā B šķiedru paraugu ūdens tvaiku caurlaidība samazinās nelineāri (3.31.att.), to apraksta logaritmiskā funkcija (3.28. vienādojums). Ja virsmas blīvums ir mazs $< 200 \text{ g/m}^2$, atšķirības ūdens tvaiku caurlaidībā starp P un B šķiedru materiālu tvaiku caurlaidību nav lielas, Y_{uP} caurlaidība par $\sim 7 \%$ pārsniedz attiecīgo Y_{uB} radītāju. Virsmas blīvumam palielinoties līdz 908 g/m^2 , P šķiedru caurdatoto materiālu tvaika caurlaidība pārsniedz B šķiedru materiālu tvaika caurlaidību pat par 59% .



3.30.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (P)



3.31.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (B)

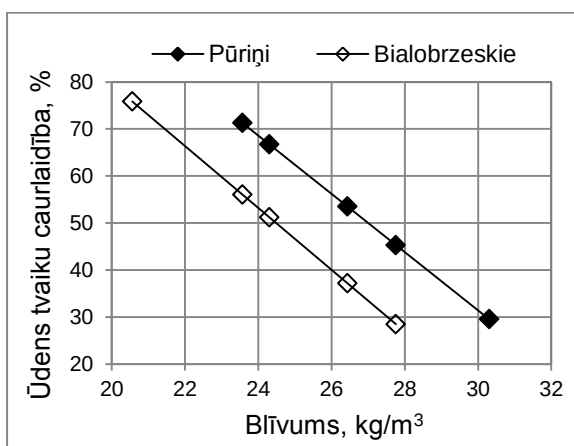
$$Y_{\bar{u}P} = 73.541 - 0.0331x_{vbP} \quad (3.27)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 167.9 - 20.64 \ln(x_{vbB}), \quad (3.28)$$

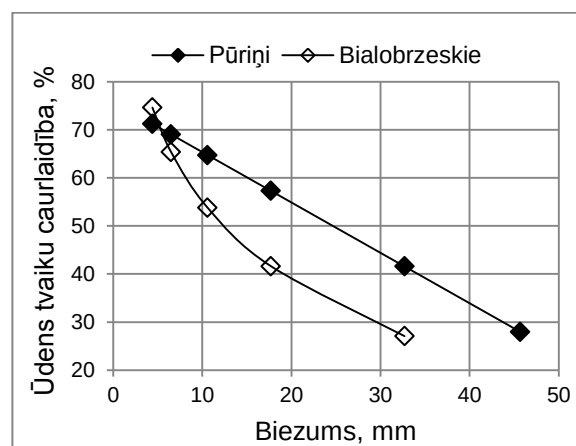
kur: $Y_{\bar{u}P}$, $Y_{\bar{u}B}$ – caurdatoto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība (%),

x_{vbP} , x_{vbB} – caurdatoto materiālu virsmas blīvums (g/m^2).

Palielinoties materiāla blīvumam gan P, gan B caurdatoto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība samazinās (3.32.att.); sakarība aprakstāma ar lineāriem vienādojumiem (3.29) un (3.30). B šķiedru materiāla blīvumam mainoties 35% robežās, ūdens tvaiku caurlaidība samazinās par 177%. Savukārt P šķiedru materiāla blīvuma pieaugumam par 29%, atbilst ūdens tvaika caurlaidības samazinājums par 147%. Tā kā abas taisnes 3.32.att. grafikā ir praktiski paralēlas visā apskatīto blīvumu intervālā, B šķiedru caurdatoto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība ir par 30% zemāka, nekā P šķiedru materiālu ūdens tvaiku caurlaidība.



3.32.att. Ūdens tvaiku caurlaidība, mainoties materiāla blīvumam



3.33.att. Ūdens tvaiku caurlaidība, mainoties materiāla biezumam

$$Y_{\bar{u}P} = 217.3 - 6.1963x_{bP} \quad (3.29)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 211.13 - 6.5804x_{bB}, \quad (3.30)$$

kur: $Y_{\bar{u}P}$, $Y_{\bar{u}B}$ – caurdatoto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība (%),

x_{bP} , x_{bB} – caurdatoto materiālu blīvums (kg/m^3).

Tekstilmateriāla ūdens tvaiku caurlaidība ir atkarīga no vairākiem faktoriem, t.sk., šķiedru veida un materiāla biezuma. [34; 36] 3.33.att. grafikos parādītas eksperimentālo caurdatoto šķiedru materiālu ūdens tvaiku caurlaidības izmaiņas, mainoties materiāla biezumam. Redzams, ka P šķiedru materiālu caurlaidība proporcionāli samazinās, palielinoties materiāla biezumam un sakarība aprakstāma ar lineāru funkciju (3.31). B šķiedru

materiālu caurlaidība samazinās nelineāri un aprakstāma ar logaritmisku funkciju (3.32); pie tam B šķiedru caurdatoto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība samazinās ievērojami straujāk, palielinoties biezumam, nekā attiecīgais P šķiedru materiāla radītājs (3.33.att.). Ja biezumi ir nelieli ($B < 6.5$ mm), šķiedru īpašību radītas atšķirības ūdens tvaiku caurlaidībā ir nelielas; savukārt biezumam palielinoties līdz 33 mm, strauji pieaug šķiedru īpašību ietekme.

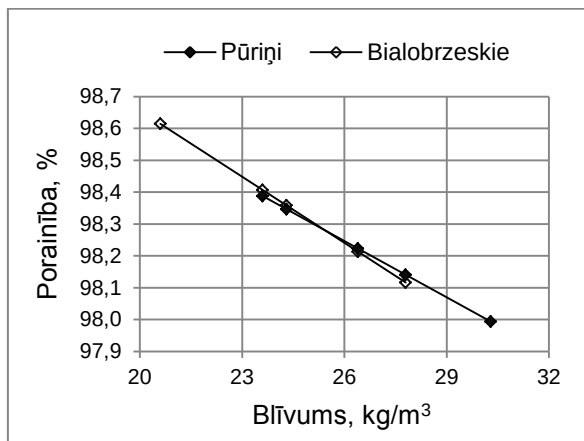
$$Y_{\bar{u}P} = 75.87 - 1.0488x_{biP} \quad (3.31)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 109.79 - 23.72 \ln(x_{biB}), \quad (3.32)$$

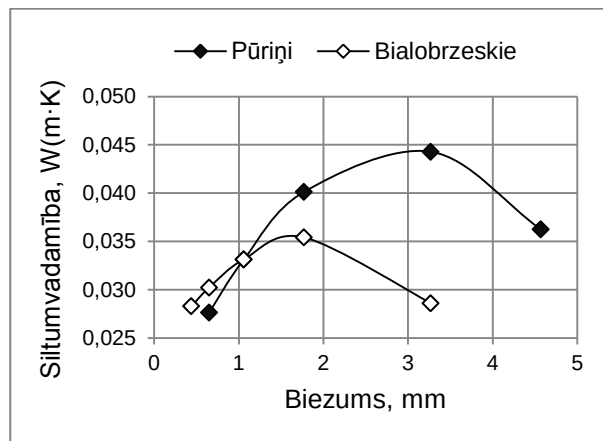
kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – caurdatoto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība (%),

x_{biP} ; x_{biB} – caurdatoto materiālu biezums (mm).

Attiecības starp porainību un blīvumu ir lineāras, aprakstītas ar taisnes vienādojumiem (3.33) un (3.34). Kā redzams 3.34.att., materiāla porainība abu šķirņu šķiedru materiāliem samazinās, palielinoties blīvumam. Samazinājums nav liels – P šķiedru materiāliem izmaiņas poru apjomā ir tikai par 0.2%, blīvumam pieaugot no 23.6 uz 30.3 kg/m^3 . B šķiedru caurdatoto materiālu porainība mainās nedaudz plašākā diapazonā, t.i., $\sim 0.5\%$ robežās, blīvumam pieaugot no 20.6 kg/m^3 uz 27.8 kg/m^3 . Blīvumiem mainoties robežās no 23.6 – 27.8 kg/m^3 , atšķirības starp P un B šķiedru materiālu porainībām ir praktiski nenoīmīgas.



3.34.att. Porainība kā blīvuma f-j (P)



3.35.att. Siltumvadāmības izmaiņas atkarībā no materiāla biezuma

$$Y_{pP} = 99.778 - 0.0589x_{bP} \quad (3.33)$$

$$Y_{pB} = 100.04 - 0.0692x_{bB}, \quad (3.34)$$

kur: Y_{pP} ; Y_{pB} – caurdatoto materiālu porainība (%),

x_{bP} ; x_{bB} caurdatoto materiālu blīvums(kg/m^3).

Iepriekšējie pētījumi rāda, ka materiālu siltumvadāmība vispārējā gadījumā atkarīga no materiāla blīvuma, temperatūras, mitruma satura, sastāva un porainības. [19] Sakarībai

starp siltumvadāmību un optimālo biezumu ir nelineārs raksturs; tas nozīmē, ka pagaidām vēl nevar vienkārši novērtēt izolācijas materiālu optimālo biezumu bez ilgtermiņa analīzes, zinot tikai tā siltumvadāmību. [145] Darbā iegūto caurdatoto P šķiedru materiālu siltumvadāmība variē robežās no 0.028 – 0.040 W/(m·K), savukārt B paraugiem - šaurākā intervālā: 0.028 – 0.033 W/(m·K). Siltumvadāmības atkarībai no materiāla biezuma ir nelineārs raksturs (3.35. att.), analītiski sakarības aprakstītas ar otrās pakāpes polinomu (vienādojumi 3.35 un 3.36).

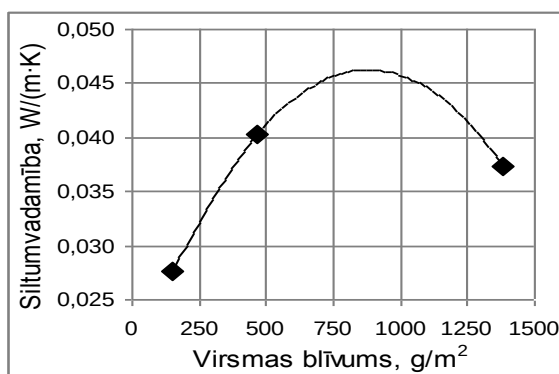
$$Y_{svP} = 0.0167 + 0.0189x_{biP} - 0.0032x_{biP}^2 \quad (3.35)$$

$$Y_{svB} = 0.0232 + 0.0131x_{biB} - 0.0035x_{biB}^2, \quad (3.36)$$

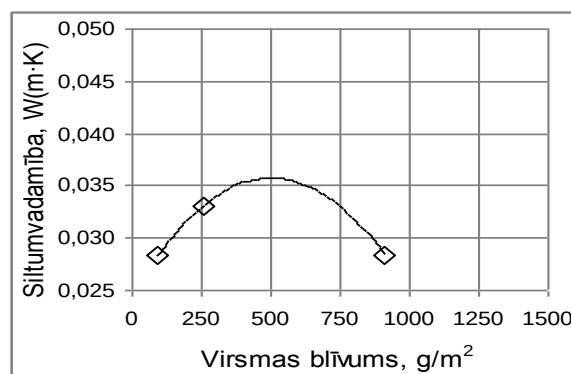
kur: Y_{svP} ; Y_{svB} – caurdatoto materiālu siltumvadāmība (W/(m·K)),

x_{biP} ; x_{biB} – caurdatoto materiālu biezums (cm).

No 3.36.att. un 3.37.att. grafikiem redzams, ka siltumvadāmība, mainoties caurdatoto materiālu virsmas blīvumam, mainās nelineāri; atbilstošās sakarības aprakstītas ar otrās pakāpes adekvātiem polinomiem (3.37. un 3.38.vienādojumi). Iegūtie matemātiskie modeļi šajā gadījumā uzskatāmi tikai par sākotnēju aproksimāciju. Lai tos precizētu nepieciešama jauna eksperimentu sērija izmaiņu izsekošanai virsmas blīvumu diapazonā no 500 līdz 1250 g/m² Pūriņu šķiedru materiāliem un no 250 līdz 750 g/m², kā arī no 100 līdz 1250 g/m² B šķiedru caurdatotiem materiāliem. Darbā veiktajā eksperimentā iegūto izolācijas materiālu siltumvadāmības rādītāji ir praktiski vienādi virsmas blīvumam pieaugot līdz 250 g/m² (0.028 – 0.033 W/(m·K). Virsmas blīvumam palielinoties līdz 468 g/m², P šķirnes paraugu siltumvadāmība palielinās līdz 0.04 W/(m·K), tai pat diapazonā B šķiedru materiālu siltumvadāmība nepārsniedz 0.036 W/(m·K). Virsmas blīvumam pieaugot līdz maksimālajiem rādītājiem, abu šķirņu šķiedru materiālu siltumvadāmība samazinās, palielinoties virsmas blīvumam virs 1000 g/m² (3.36.att. un 3.37.att.).



3.36.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma f-ja (P)



3.37.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma f-ja (B)

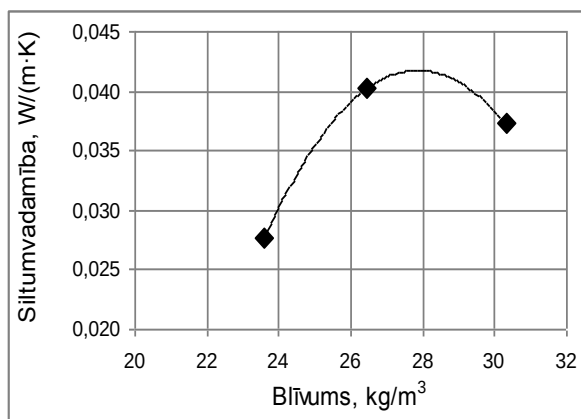
$$Y_{svP} = 0.0191 + 0.0616x_{vbP} - 0.035x_{vbP}^2 \quad (3.37)$$

$$Y_{svB} = 0.0245 + 0.0444x_{vbB} - 0.0441x_{vbB}^2, \quad (3.38)$$

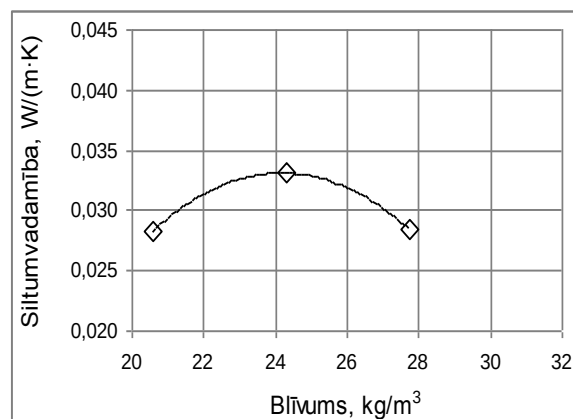
kur: Y_{svP} ; Y_{svB} – cauradato materiālu siltumvadāmība ($W/(m \cdot K)$),

x_{vbP} ; x_{vbB} – cauradato materiālu virsmas blīvums (kg/m^2).

Līdzīgi kā pētījumos [26; 146] attiecības starp blīvumu un siltumtehnikajām īpašībām ir nelineāras un samērā labi aprakstāmas ar otrās pakāpes polinomiem (vienādojumi 3.39 un 3.40). Darbā veikto eksperimentu rezultātā iegūto cauradato izolācijas materiālu siltumvadāmības skaitliskās vērtības oscilē diapazonā no 0.028 līdz 0.040 $W/(m \cdot K)$ P šķiedru paraugiem, blīvumam mainoties 23.6 - 30.3 kg/m^3 (29%) robežās, un 0.028 - 0.033 $W/(m \cdot K)$ B šķiedru paraugiem, blīvumam mainoties no 20.6 kg/m^3 līdz 27.8 kg/m^3 (35%). Siltumvadāmības izmaiņas uzskatāmas par diezgan atšķirīgām, ņemot verā salīdzinoši līdzīgus materiālu blīvuma izmaiņu diapazonus. Bet tā kā siltumvadāmība ir atkarīga ne tikai no blīvuma, bet arī porainības un komponentēm, tad tā var variēt samērā būtiskās robežās. [19]



3.38.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (P)



3.39.att. Siltumvadāmība kā blīvuma f-ja (B)

$$Y_{svP} = -0.5509 + 0.0425x_{bP} - 0.0008x_{bP}^2 \quad (3.39)$$

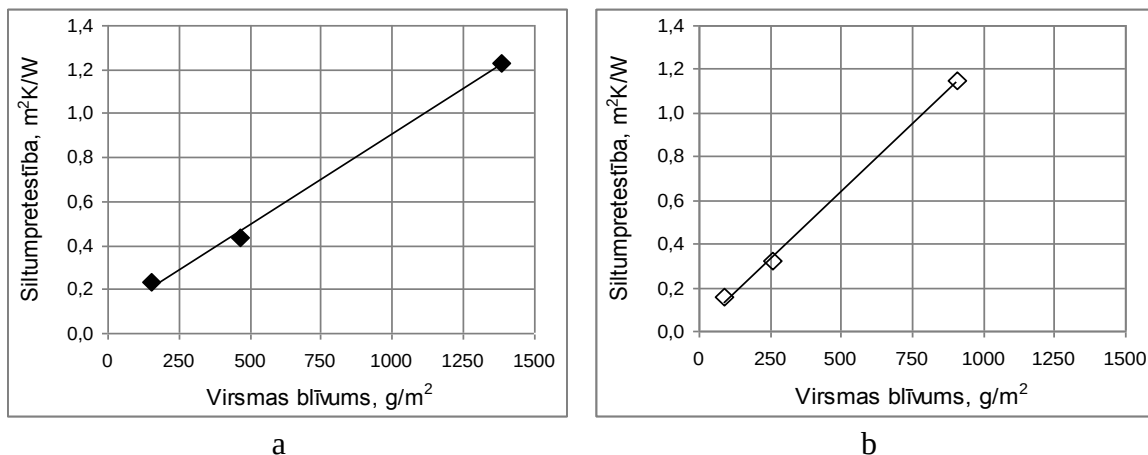
$$Y_{svB} = -0.1824 + 0.0178x_{bB} - 0.0004x_{bB}^2, \quad (3.40)$$

kur: Y_{svP} ; Y_{svB} – cauradato materiālu siltumvadāmība ($W/(m \cdot K)$),

x_{bP} ; x_{bB} – cauradato materiālu blīvums (kg/m^3).

No 3.4. tab. redzama cieša cauradato materiālu siltumpretestības korelācija ar materiāla biezumu ($r = 0.997$) un virsmas blīvumu ($r = 0.999$). Abu salīdzināmo šķiedru cauradato materiālu virsmas blīvumam pieaugot, siltumpretestība palielinās lineāri

(3.40.att.). Siltumpretestība kā virsmas blīvuma funkcija abu šķirņu izolācijas materiāliem aprakstīta ar lineāriem vienādojumiem (3.41) un (3.42). Pie virsmas blīvuma 153 g/m^2 P un B šķiedru cauradototo materiālu siltumpretestības rādītāji ir $0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$, sasniedzot virsmas blīvumu 908 g/m^2 , B paraugu siltumpretestība par 27% pārsniedz P šķiedru materiālu siltumpretestības rādītājus (3.40.att.).



3.40.att. Cauradatotā kaņepju šķiedru izolācijas materiāla virsmas blīvuma un siltumpretestības mijiedarbība. a - P šķiedru materiāls; b - B šķiedru materiāls

$$Y_{spP} = 0.0873 + 0.0008x_{vbP} \quad (3.41)$$

$$Y_{spB} = 0.0255 + 0.0012x_{vbB}, \quad (3.42)$$

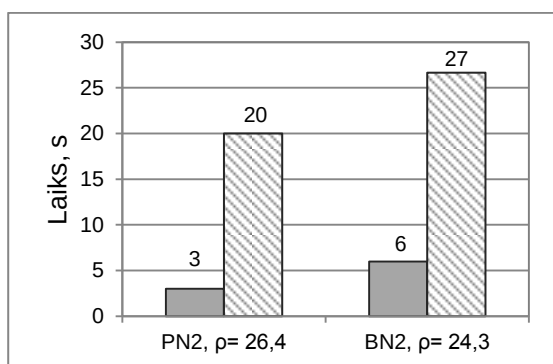
kur: Y_{spP} ; Y_{spB} – cauradototo materiālu siltumpretestība ($\text{m}^2\text{K/W}$),
 x_{vbP} ; x_{vbB} – cauradototo materiālu virsmas blīvums (kg/m^3).

Cauradototo materiālu degšanas procesa un ugunsreakcijas specifika

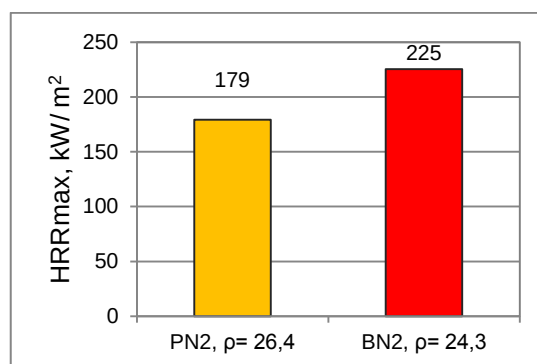
Degšanas process ir komplicēts ķīmisks oksidēšanās process, kas ir grūti prognozējams reāla ugunsgrēka apstākļos. Degšanas dinamiku raksturo parauga aizdegšanās laiks un momentānā siltuma jauda (HRR); bez tam jāņem vērā, ka elementi ar mazu šķērsriezumu aktīvi piedalās degšanā un izdala lielu siltuma jaudu.

Pūriņu un Bialobrzeskie šķiedru cauradototo paraugu aizdegšanās laiks, kas noteikts koniskā kalorimetra testu rezultātā $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ siltuma starojumā, un maksimālās degšanas jaudas laiks attēlots 3.41.att. Neskatoties uz līdzīgiem cauradototo materiālu blīvumiem, PN2 grupas paraugu aizdegšanās laiks ir par 50 % īsāks kā BN2 paraugu attiecīgais rādītājs un to degšanas jaudas laika pieaugums ir straujāks - maksimālā degšanas jauda tiek sasniegta par 25% ātrāk. Tam var būt vairāki skaidrojumi: 1) P (2.3 Tex) šķirnes šķiedras ir smalkākas nekā B (3.6 Tex), [127] kas izraisa straujāku uzliesmošanu; 2) B šķirnes šķiedrām ir zemāks lignīna saturs (5.7 %) salīdzinājumā ar lignīna saturu P šķiedrās (8 %). Tā kā zemāks lignīna saturs

uzlabo termisko stabilitāti, [47] zems lignīna saturs uzskatāms par vēlamu lignocelulozes šķiedras saturošu kompozītmateriālu ugunsizturības uzlabošanai. Eksperimenti rāda, ka ar linu šķiedrām, kas satur 2 % lignīnu, armētu akrila kompozītmateriālu aizdegšanās laiks divas reizes pārsniedz ar sizala šķiedrām, kas satur 10 % lignīnu, armēto akrila kompozīta attiecīgo parametru. [141] Bez tam arī lielāks hemicelulozes saturs paātrina aizdegšanos, ņemot vērā tās zemāku aizdegšanās temperatūru (diapazonā 150 - 280° C), [39- 41] salīdzinājumā ar celulozi, kas uzliesmo temperatūru diapazonā 200°- 420° C [40; 42; 43] un lignīnu (aizdegšanās temperatūra 200- 600°C). [44; 45] Hemicelulozes saturs P šķiedrās 23.8 % ir ievērojami augstāks (22 %), salīdzinot ar 19.5 % B šķiedrās.

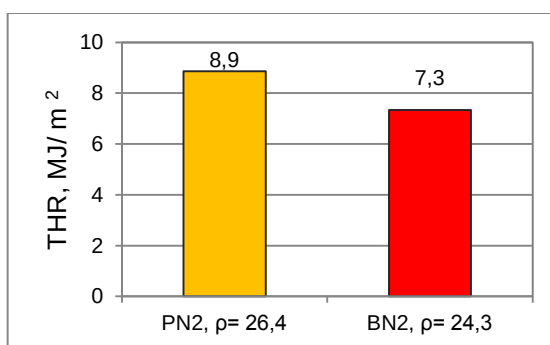


3.41.att. Caurdatoto materiālu aizdegšanās laiks un laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai



3.42.att. Caurdatoto materiālu maksimālā degšanas jauda (HRRmax). ρ – materiāla blīvums, g/cm³

Materiālus pēc liesmu izplatīšanās spējas uz citiem objektiem raksturo maksimālās degšanas jauda HHRmax. Eksperimentā fiksētās HHRmax vērtības (3.42. att) rāda, ka PN2 maksimālā degšanas jauda ir par 20% mazāka nekā BN2 paraugiem. Tas nozīmē, ka BN2 caurdatotās ēku siltumizolācijas veicinās straujāku liesmu izplatīšanos uz citiem apkārt esošiem objektiem. Lai gan BN2 paraugu degšanas jauda ir lielāka, izdalītais siltuma daudzums ir mazāks - BN2 degšanas laikā izdalās par 17% mazāk siltuma nekā degot PN2 paraugiem (3.43.att.).

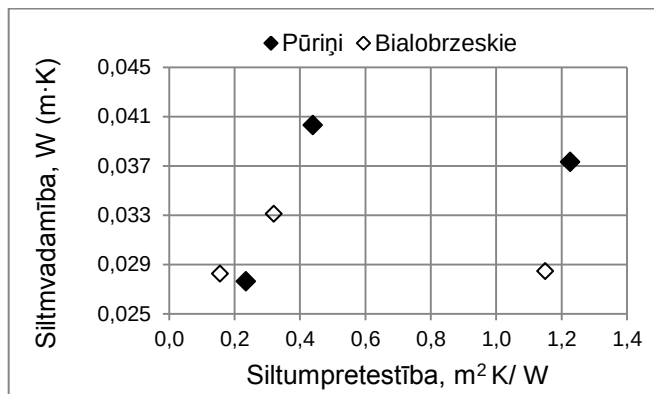


3.43.att. Kopējais izdalītais siltums (THR)

P šķiedru materiālu virsmas blīvums pēc cauradatošanas par 31.7% samazinās pēc kāršanas, savukārt B šķiedru cauradato materiālu virsmas blīvums samazinās par 57.1%. Šķirnei P blīvuma atšķirības ir 29% un ūdens tvaika caurlaidībai 147%. Šķirnei B, materiāla blīvumam mainoties 35% robežās, ūdens tvaiku caurlaidība mainās 177% ietvaros. Salīdzinot abas šķirnes, P ir 6% augstāks vidējais blīvums un 30% augstāka ūdens tvaiku caurlaidība nekā šķirnei B. Šķirnei P, kur zemākais blīvums ir 23.6 kg/m^3 un augstākais 30.3 kg/m^3 , izmaiņas poru daudzumā ir tikai 0.2%. Šķirnei B, kur blīvums, kopumā ir zemāks nekā šķirnei P, proti, no 20.6 kg/m^3 līdz 27.8 kg/m^3 , porainība ir nedaudz augstāka - tā svārstās 0.5% robežās. Fakts, ka B porainība ir augstāka nekā P paraugiem, izskaidrojams ar B paraugu zemāku blīvumu, kā rezultātā starp šķiedrām ir vairāk vietas gaisa spraugām jeb porām. Siltumvadāmība šķirnei P ir robežās no $0.028 - 0.040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ un $0.028 - 0.033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ šķirnei B. Siltumvadāmības starpība P grupā ir ap 35%, neraugoties uz lielo materiāla biezuma starpību, kas ir virs 39 mm un, ja blīvums mainās no $23.6 - 30.3 \text{ kg/m}^3$; B paraugu grupā - 17%, ja izmaiņas materiāla biezumā ir virs 28 mm un blīvums mainās no 20.6 kg/m^3 līdz 27.8 kg/m^3 .

No 3.44.att. redzams, lai gan cauradatotā materiāla siltumvadāmība ir noteikta kā siltumpretestības funkcija, siltumvadāmības izmaiņas ir nekonsekventas, jo siltumpretestību tieši ietekmē ne tikai izejvielas siltumvadāmība, bet arī materiāla biezums, blīvums un virsmas blīvums, porainība un vēl citi faktori. Tai pat laikā piedāvāto cauradato izolācijas materiālu siltumpretestība mainās robežās no $0.24 - 1.23 \text{ m}^2\text{K/W}$ šķiedru materiāliem P, biezumam esot robežās no $6.5 - 45.7 \text{ mm}$ un siltumpretestība no 0.16 līdz $1.15 \text{ m}^2\text{K/W}$ pie biezuma $4.4 - 32.7 \text{ mm}$ šķiedru materiāliem B, kas nodrošina izvēles iespējas atbilstoši paredzamajam lietojumam un klimatiskajai zonai (3.5.tab.). Tabulā norādīti ieteicamie siltumizolācijas materiāla biezumi, kas būtu atbilstoši pie norādītajām siltumpretestības vērtībām. Pētījumā izstrādāto cauradato paraugu siltumpretestības rādītāji lielākoties atbilst uzrādītajiem lietojumiem attiecīgajās klimata zonās. Nepietiekošas siltumpretestības vērtības uzrāda vien plānākie BN1 paraugi. Savukārt plānākos PN1 paraugus varētu izmantot jumtu siltināšanai Dānijā, Somijā, Norvēģijā un Spānijā, kā arī grīdu siltumizolēšanai Somijā. Norādīts, ka pie PN un BN grupu siltumpretestības datiem, biezums, kas siltumizolācijas materiālam būtu jāsasniedz, ir robežās no $\sim 40 - 200 \text{ mm}$. Paraugš PN3 ar biezumu 45.7 mm (3.3.tab.) gan pēc siltumpretestības, gan biezuma kritērijiem atbilst Īrijas klimatisko apstākļu sienu siltināšanas lietojumiem. Savukārt grīdu siltināšanai atbilst paraugu PN3 siltumpretestības un biezuma parametri lietošanai Francijā un Holandē (3.5.tab.), kā arī PN3

un BN3 (3.3.tab.) lietošanai Lielbritānijā. Kopumā pētījumā izstrādāto siltumizolācijas materiālu uz kaņepju šķiedru bāzes siltumpretestības parametri uzrāda labus rādītājus pie līdz pat 3.5 reižu plānāka materiāla biezuma.



3.44.att. P un B šķiedru cauradototo izolācijas materiālu siltumtehniskie parametri

3.5.tabula

Siltumpretestības parametri atbilstoši paredzamajam lietojumam un klimatiskajai zonai

Valsts	Sienas		Jumti		Grīdas	
	Siltumpre-testība, W/m^2K	Ieteicamais siltumiz. biezums, mm	Siltumpre-testība, W/m^2K	Ieteicamais siltumiz. biezums, mm	Siltumpre-testība, W/m^2K	Ieteicamais siltumiz. biezums, mm
Beļģija	-	75-100	-	80-120	-	40
Dānija	0.35	125-150	0.20	200	0.30	150
Somija	0.28	150	0.22	200	0.22	200
Francija	0.54	70	0.35	120	1.00	40-50
Vācija	1.2-1.5	60	0.30	140	0.55	60
Īrija	0.60	40	0.40	100	0.60	-
Itālija	-	-	-	-	-	-
Holande	0.374	70	0.374	85-100	0.68	40
Norvēģija	0.30	125	0.20	200	0.30	150
Spānija	1.4-1.8	-	0.7-1.4	-	0.70-1.00	-
Zviedrija	0.30	125	0.20	200	0.30	150
Lielbritānija	0.45	50	0.25	150	0.45	25

3.3.Caurstrūkloto neausto materiālu īpašības

Ņemot vērā, ka augstspiediena caurstrūklošanas piemērošanai tekstilšķiedru sasaistei modernās tehnoloģiskās vidēs ir samērā nesena vēsture, gan šķiedru izcelsmes ietekme uz tehnoloģisko procesu, ķīmiskā sastāva, fizikālo un mehānisko īpašību pāreja no izejvielām uz gatavo materiālu, kā arī tehnoloģisko parametru un to mijiedarbību ietekmes izpēte uz materiāla īpašībām procesa izejā ir kompleksu pētījumu priekšmets. Tā kā lignocelulozes

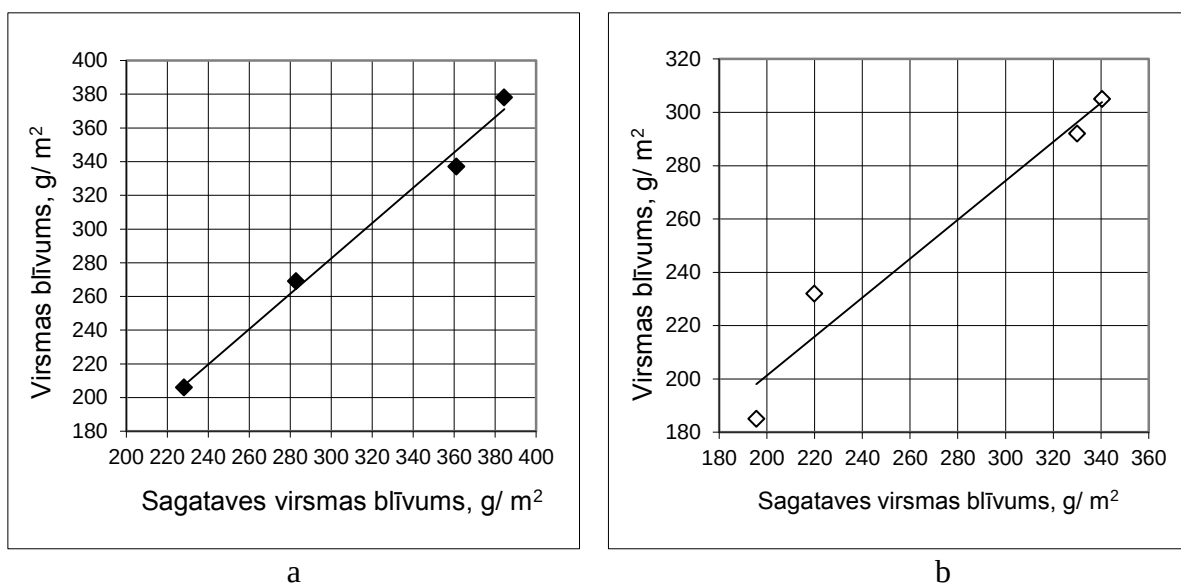
šķiedru materiālu ķīmiskā uzbūve un morfoloģiskā struktūra ir ievērojami daudzveidīgāka par līdz šim intensīvāk lietotajiem šķiedru veidiem, jāveic eksperimentālu pētījumu sērijas dažādu aspektu noskaidrošanai sākot no tā, vai ir mērķtiecīgi šāda tipa šķiedru sasaitei piemērot caurstrūklošanu gan no tehnoloģiskā procesa sekmīgas norises un produktivitātes, gan iegūtā materiāla lietošanas īpašību skatījuma, gan ekonomiska rakstura aspektiem. Caurstrūklotā materiāla struktūra un to raksturojošās fizikālās īpašības daudzos gadījumos ir noteicošās paredzamā lietojuma galveno funkciju nodrošināšanai. 3.45. att. parādītas šķiedru materiāla virsmas blīvuma izmaiņas caurstrūklošanas procesā. Caurstrūkloto kaņepju šķiedru materiālu atbilstība „zaļajiem” siltumizolācijas materiāliem nepieciešamajam fizikālo īpašību kompleksam un šķiedru izcelsmes ietekmes analīze tiek apskatīta šajā apakšnodaļā. 3.6. tab. sakopotas pētījumu procesā izveidoto caurdatoto kaņepju šķiedru materiālu fizikālās īpašības, savukārt 3.7. tab. korelācijas matricā redzami pāru korelācijas koeficienti, saistības pakāpes novērtēšanai starp materiālu īpašībām.

3.6.tabula

Kaņepju šķiedru caurstrūkloto materiālu testēšanas rezultāti šķirnēm P un B

Nr.	Īpašība	Pūriņi				Bialobrzeskie			
		PH1	PH2	PH3	PH4	BH1	BH2	BH3	BH4
1.	Biezums, mm	2.1	2.7	2.9	3.3	2.7	2.7	3.6	3.7
2.	Virsmas blīvums, g/m ²	206	269	337	378	185	232	292	305
3.	Blīvums, kg/m ³	98.1	99.6	116.2	114.5	68.5	85.9	81.1	82.4
4.	Vidējie poru izmēri, μm	-	26.04	-	21.41	-	31.79	-	28.82
5.	Porainība, %	93.4	93.3	92.1	92.3	95.4	94.2	94.5	94.4
6.	Gaisa caurlaidība, mm/s	205	154	140	109	446	433	314	264
7.	Ūdens tvaiku caurlaidība, %	97	98.8	95.1	92.6	97.3	97.3	84.6	85.2
8.	Siltumvadāmība, W/(m·K)	0.031	0.037	0.038	0.039	0.038	0.038	0.039	0.039
9.	Siltumpretestība, m ² K/W	0.067	0.073	0.076	0.084	0.071	0.071	0.093	0.094
10.	Kārstās sagataves masa, g	56.5	70	89	98.6	41.7	50.8	68.3	82.4
11.	Kārstās sagataves virsmas blīvums, g/m ²	228	283	361	384	196	244	330	340
12.	Aizdegšanās laiks, s	-	-	-	7.3	-	-	-	5.0
13.	Maksimālās degšanas jaudas sasniegšanas laiks, s	-	-	-	32	-	-	-	25
14.	Maksimālā degšanas jauda (HRRmax), kW/ m ²	-	-	-	302	-	-	-	336
15.	Kopējā siltuma izdalīšanās, MJ/ m ²	-	-	-	5.7	-	-	-	5.2

Tā kā brīvības pakāpes $f = 6$, $t_{0.95}(6) = 2.447$, korelācija pastāv, ja $r > 0.707$. No 3.7. tab. redzams, ka kārstās sagataves virsmas blīvumam palielinoties, proporcionāli palielinās caurstrūklotā materiāla blīvums ($r = 0.97$) un apgriezti proporcionāli samazinās tā porainība ($r = -0.96$), kas savukārt pilnībā atkarīga no caurstrūklotā materiāla blīvuma. Caurstrūklotā materiāla biezums nosaka tā siltumpretestību, kas savukārt lineāri samazinās pieaugot caurstrūklotā materiāla ūdens tvaiku caurlaidībai. Vidēji cieša korelācija ($r = -0.91$) caurstrūklotajiem kaņepju šķiedru materiāliem pastāv starp blīvumu un gaisa caurlaidību: palielinoties materiāla blīvumam samazinās porainība, apgriezti proporcionāli samazinās gaisa caurlaidība.



3.45.att. Sagataves virsmas blīvuma transformācija caurstrūklotā šķiedru materiāla virsmas blīvumā. a - P šķiedru materiāli; b - B šķiedru materiāli

$$R_p^2 = 0.99; \quad Y_{vbP} = -32.08 + 1.05 X_{svBP} \quad (3.43)$$

$$R_B^2 = 0.95; \quad Y_{vbB} = 55.44 + 0.73 X_{svBB} \quad (3.44)$$

kur: Y_{vbP} ; Y_{vbB} – caurstrūklotā materiāla virsmas blīvums (g/m^2),

$X_{P\text{sag}}$; $X_{B\text{sag}}$ – sagataves virsmas blīvums (g/m^2).

Kā redzams 3.45.att., P caurstrūklotā materiāla virsmas blīvums Y_{vbP} , ir lineāri atkarīgs no kārstās sagataves virsmas blīvuma (vienādojums 3.43); B virsmas blīvums Y_{vbB} arī veido lineāru sakarību (vienād. 3.44).

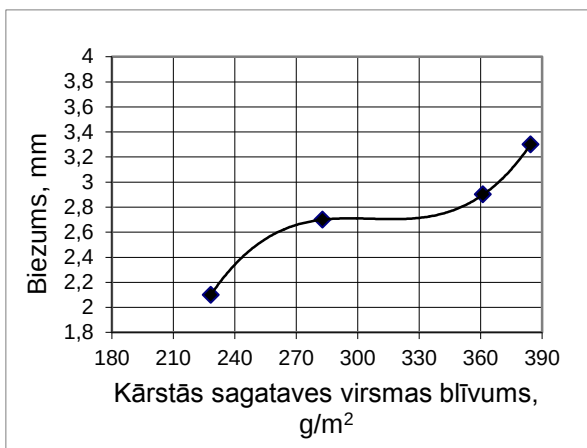
P paraugu virsmas blīvums pieauga par 83%, kur sagataves virsmas blīvums pēc kāršanas palielinājās par 68% (vien. 3.43). Savukārt B paraugu virsmas blīvums pieauga par 65%, ja sagataves virsmas blīvums pēc kāršanas palielinājās par 74.1% un tiek aprakstīts ar vienādojumu 3.44.

Caurstrūkloto kaņepju šķiedru izolācijas materiālu fizikālo īpašību korelācijas matrica

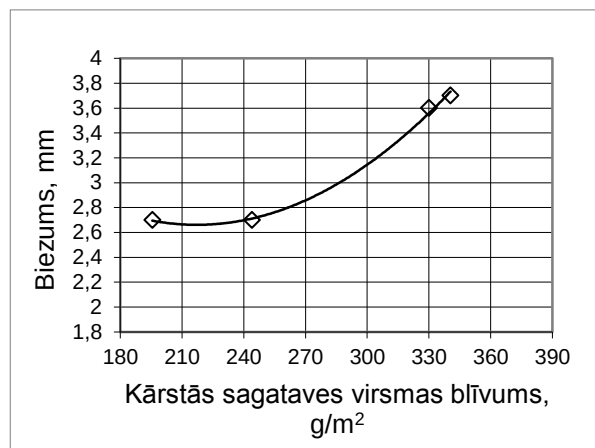
Caurdatotā materiāla īpašības	Biezums, mm	Virsmas blīvums, g/m ²	Blīvums kg/m ³	Porainība, %	Gaisa caurlaidība, mm/s	Ūdens tvaiku caurlaidība, %	Siltumpretes -tība, m ² K/W	Siltumvadītābība W/(mK)	Sagataves virsmas blīvums, g/m ²
Biezums, mm	1.00								
Virsmas blīvums, g/m ²	0.65	1.00							
Blīvums, kg/m ³	- 0.12	0.69	1.00						
Porainība, %	0.12	- 0.68	- 1.00	1.00					
Gaisa caurlaidība, mm/s	- 0.05	- 0.72	- 0.91	0.88	1.00				
Ūdens tvaiku caurlaidība, %	- 0.88	- 0.46	0.19	- 0.22	0.01	1.00			
Siltumprete stība, m ² K/W	0.97	0.62	- 0.08	0.11	- 0.12	- 0.96	1.00		
Siltumvadītābība, λ W/(mK)	0.80	0.53	- 0.11	0.11	0.13	- 0.46	0.63	1.00	
Kārstās sagataves virsmas blīvums, g/m ²	- 0.16	0.64	0.97	- 0.96	- 0.92	0.28	- 0.15	- 0.12	1.00

Ar pelēku krāsu iezīmēta stipra korelācija un ar rozā krāsu – vidēji stipra korelācija.

Tā kā korelācija starp kārstās sagataves virsmas blīvumu un biezumu neatšķiras no nulles (3.7. tab.), sakarības raksturs atšķiras no lineārā, par ko liecina arī 3.46.att. un 3.47 att. grafiki. Attiecības starp kārstās sagataves virsmas blīvumu un biezumu ir nelineāras (vienādojumi 3.45 un 3.46). Biezumam palielinoties par 57%, virsmas blīvums palielinās par 68% šķirnes P paraugiem un šķirnes B paraugiem attiecīgi par 37% un 74.1%.



3.46.att. Biezums kā kārstās sagataves virsmas blīvuma f-ja (P)



3.47.att. Biezums kā kārstās sagataves virsmas blīvuma f-ja (B)

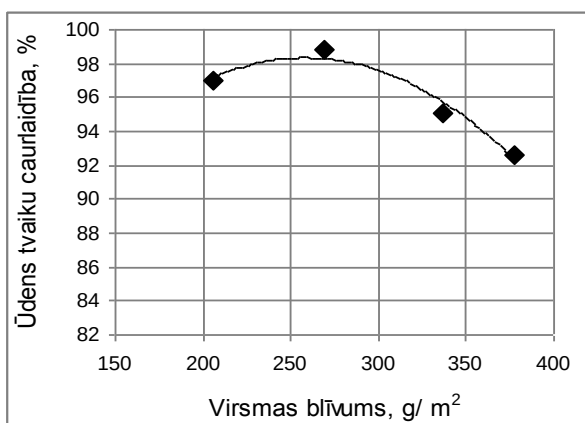
$$Y_{biP} = -35.6 + 0.376x_{svbP} - 0.0012x_{svbP}^2 + 1E-06x_{svbP}^3 \quad (3.45)$$

$$Y_{biB} = 5.99 - 0.0306x_{svbB} + 7E-05x_{svbB}^2 \quad (3.46)$$

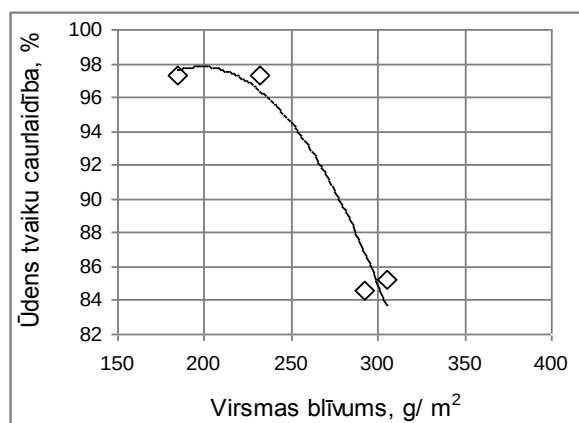
kur: Y_{biP} ; Y_{biB} – caurstrūklotā materiāla biezums (mm),

X_{svbP} ; X_{svbB} – caurstrūklotā materiāla virsmas blīvums (g/m²).

Kā redzams attēlu 3.48. un 3.49., ūdens tvaiku caurlaidība $Y_{ūP,ūB}$ neaustajiem materiāliem, kas iegūti no P šķiedrām, ir līdz pat 8% augstāka nekā no B šķiedrām iegūtajiem materiāliem, ja virsmas blīvums x_{vbP} ir robežās no 206 - 378 g/m² un x_{vbB} 185 - 305 g/m². Atšķirības testa rezultātos var būt izskaidrojamas ar atšķirībām tādās elementāršķiedru/ mazu šķiedru saišķu īpašībās kā lineārais blīvums, kur genotipam P tas ir 2.3 Tex, šķirnei B 3.6 Tex. [127]



3.48.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (P)



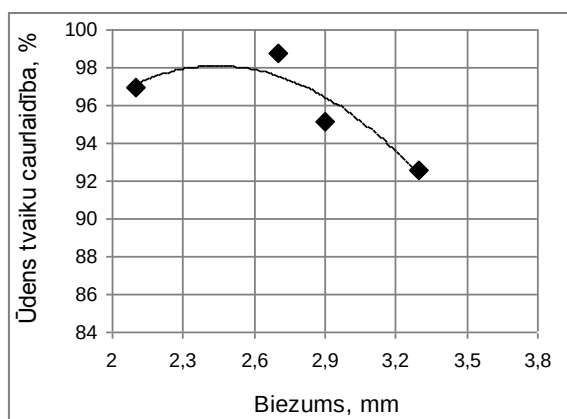
3.49.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā virsmas blīvuma f-ja (B)

$$Y_{ūP} = 69.9 + 0.22x_{vb} - 0.0004x_{vb}^2, \quad (3.47)$$

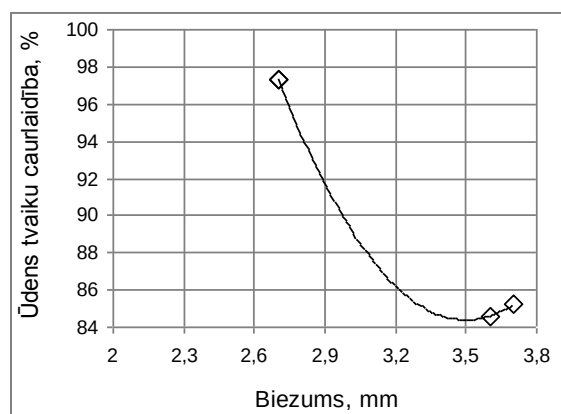
$$Y_{ūB} = 48.73 + 0.49x_{vb} - 0.0012x_{vb}^2, \quad (3.48)$$

kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – caurstrūklotā materiāla ūdens tvaiku caurlaidība (%),
 X_{vbP} ; X_{vbB} – caurstrūklotā materiāla virsmas blīvums (g/m^2).

Ūdens tvaiku caurlaidība ($Y_{\bar{u}}$) kā biezuma funkcija abām šķirnēm ir izteikta kā nelineāra sakarība (vien. 3.49 un 3.50). Palielinoties biezumam, ūdens tvaiku caurlaidība samazinās. B paraugu grupai ir novērojama mazāka ūdens tvaiku caurlaidība nekā P grupai (3.50. un 3.51.att.). Tas pamatojams ar to, ka B šķirnes paraugi ir biezāki – vidējais biezums ir 3.2 mm, bet P genotipa paraugiem tas ir 2.8 mm. Tomēr pie vienāda biezuma, t.i., P un B esot 2.7 mm biezam, rezultāti ir ļoti līdzīgi, P ir par 0.3 % augstāka $Y_{\bar{u}}$, nekā B. Kopīgajā biezuma diapozonā, no 2.7 – 3.3 mm, P paraugiem ir no 0.3 - 8.3 % lielāka $Y_{\bar{u}}$. Arī citi pētījumi apstiprina, ka materiāla ūdens tvaiku caurlaidība ir stipri atkarīga gan no šķiedru veida, gan materiāla biezuma. [34; 36] To var skaidrot ar to, ka dažādo šķiedru lineāro blīvumu dēļ (P- 2.3 Tex, B- 3.6 Tex), B paraugu vidējie poru izmēri ir augstāki nekā P paraugiem (Tab.3.6. un 3.52.att.).



3.50.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (P)



3.51.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (B)

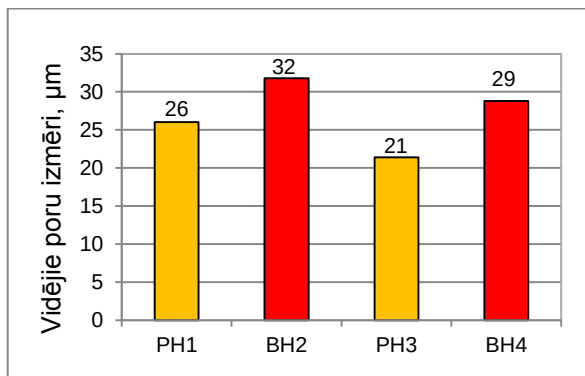
$$Y_{\bar{u}P} = 50.495 + 38.93X_{biP} - 7.9583X_{biP}^2 \quad (3.49)$$

$$Y_{\bar{u}B} = 330.88 - 140.81X_{biB} + 20.111X_{biB}^2, \quad (3.50)$$

kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – caurstrūklotā materiāla ūdens tvaiku caurlaidība (%),
 X_{biP} ; X_{biB} – caurstrūklotā materiāla biezums (mm).

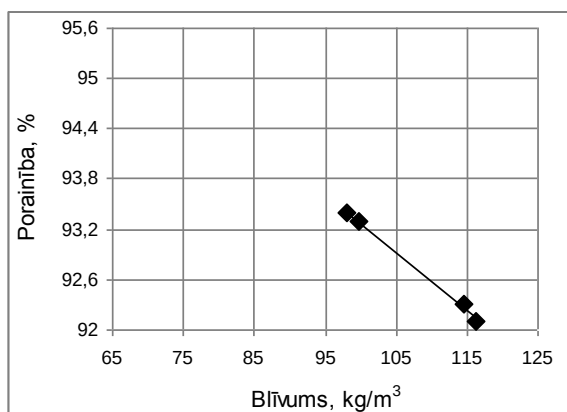
Tabulā 3.6. un 3.52.att. parādīti abu šķirņu paraugu H1 un H4 vidējie poru izmēri. Eksperimenta ietvaros, salīdzinot starp P un B šķirnēm, tie ir par 1.3 reizēm jeb 11% lielāki šķirnes B materiāliem. Iemeslu atšķirībām starp šķirnēm var skaidrot ar dažādiem šķiedru lineāriem blīvumiem, kas genotipam P ir 2.3 Tex, bet šķirnei B ir daudz augstāks – 3.6 Tex,

[127] kur mazākas poras veidojas starp neliela diametra šķiedrām, vai ar to, ka šķirnes B gadījumā par 23% lielāks daudzums šķiedru nonāca atkritumos kāršanas procesa vidū, tādējādi starp mazāk šķiedrām radās lielākas poras.

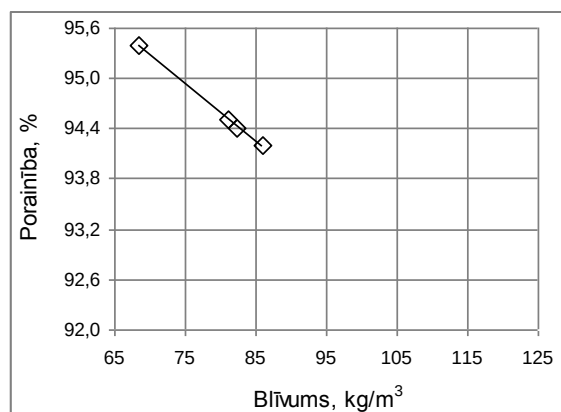


3.52.att. Caurstrūkloto paraugu maksimālais poru izmērs P un B šķirņu šķiedru paraugos

Porainības attiecības ar blīvumu abu šķirņu gadījumā ir lineāras (vien. 3.51 un 3.52). P grupas vidējie porainības rādītāji kopumā ir par 1.9% zemāki, nekā B grupas paraugiem. Palielinoties blīvumam, porainība samazinās, ko uzskatāmi var redzēt 3.53.att. un 3.54.att. Eksperimentā neviens P un B blīvuma rādītājs nav kopējs, taču to dati atrodas praktiski uz vienas taisnes un, ja blīvums pieaugtu vai samazinātos, abu šķirņu porainības saplūstu vienā taisnē. Tas nozīmē, ka abu šķirņu starpā, varētu novērot ļoti līdzīgus porainības rezultātus, kur B paraugiem būtu nedaudz mazāka porainība.



3.53.att. Porainība kā blīvuma f-ja (P)



3.54.att. Porainība kā blīvuma f-ja (B)

$$Y_{pP} = 100.26 - 0.0699x_{bP} \quad (3.51)$$

$$Y_{pB} = 100.18 - 0.0699x_{bB}, \quad (3.52)$$

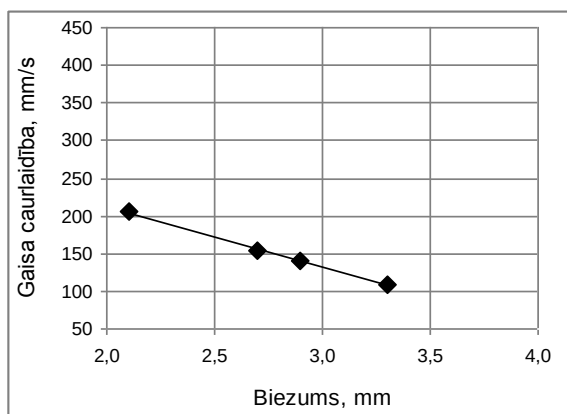
kur: Y_{pP} ; Y_{pB} – caurstrūklotā materiāla porainība (%),

x_{bP} ; x_{bB} – caurstrūklotā materiāla blīvums (g/m³).

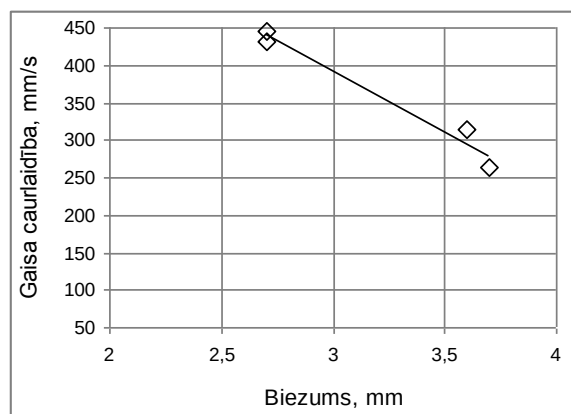
O.B.Berkalps aprakstījis citos pētījumos pierādīto, ka lielākoties neausto materiālu gaisa caurlaidība samazinās, palielinoties biezumam, virsmas blīvumam vai blīvumam. Jāņem vērā, dažos pētījumos ir konstatēts, ka starp īpašībām pastāv nelineāra sakarība, bet citos, lineāra. [114] Gaisa caurlaidība ietekmē skaņas absorbcijas un siltumtehnikās īpašības. [25]

Attiecība starp gaisa caurlaidību un caurdatotā materiāla biezumu ir lineāra abu šķirņu gadījumā (vien. 3.53 un 3.54). Palielinot biezumu, gaisa caurlaidība strauji samazinās (3.55. un 3.56.att.). Šķirnes P paraugu grupas ietvaros gaisa caurlaidības atšķirības ir 89%, pie biezuma diapozona 2.1 - 3.3mm. B paraugu grupas gaisa caurlaidības atšķirības ir 69%, ja biezums ir no 2.7 - 3.7mm. Gaisa caurlaidība neaustajiem materiāliem, kas iegūti no P šķiedrām, ir līdz pat 20% zemāka, nekā no B šķiedrām iegūtajiem materiāliem. Posmā no 2.7 - 3.3 mm, kur biezums abām šķirnēm sakrīt, gaisa caurlaidība P paraugiem ir 2.8 - 3.2 reizes mazāka, salīdzinot ar B paraugiem šajā pašā biezuma diapozonā. Atšķirības skaidrojams ar faktu, ka šķirnes B paraugiem ir mazāks blīvums, lielāki vidējie poru izmēri un porainība, nekā P grupas paraugiem (3.6.tabula), kā rezultātā gaisa caurlaidība paaugstinās. Zemāka gaisa caurlaidība norāda uz izmaiņām poru izmēru sadalījumā. [28]

Kā ļoti svarīgs porainu materiālu gaisa caurlaidības faktors ir to poru forma un izmēri pa kuriem gaisa plūsma pārvietojas. Starp gaisa caurlaidību un porainību nav viennozīmīga sakarība, jo plūsmas ātrumam ir liela ietekme uz kanālu platumu un formu pa kuriem plūsma tiek vadīta. [25]



3.55.att. Gaisa caurlaidība kā biezuma f-ja (P)



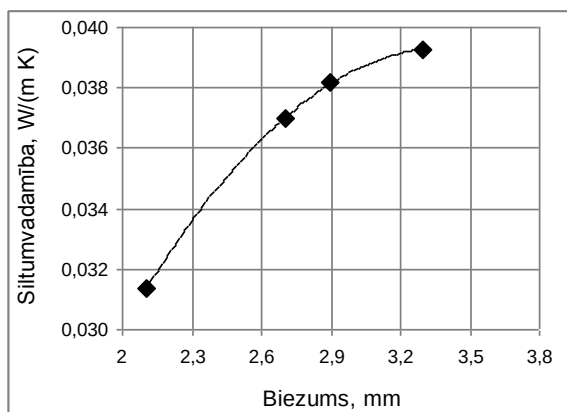
3.56.att. Gaisa caurlaidība kā biezuma f-ja (B)

$$Y_{gP} = 373.63 - 80.605x_{biP} \quad (3.53)$$

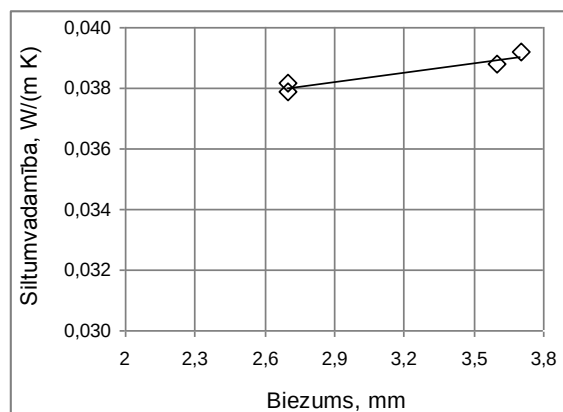
$$Y_{gB} = 872.37 - 160.1x_{biB} \quad (3.54)$$

kur: Y_{gP} ; Y_{gB} – caurstrūklotā materiāla gaisa caurlaidība (m/s),
 x_{biP} ; x_{biB} – caurstrūklotā materiāla biezums (mm).

Caurstrūkloto paraugu, kas satur P šķiedras, siltumvadāmība palielinājās līdz ar materiāla biezuma palielināšanu (3.57.att.), turpretī B paraugiem šāda tendence netika novērota (3.58.att.). P grupas siltumvadāmība kopumā palielinājās par 25%, palielinot materiāla biezumu no 2.1 - 3.3 mm un blīvumu no 98.1 - 116.2 kg/m³. Bet B grupas ietvaros siltumvadāmības izmaiņas ir tikai 3.5 %, biezumam esot robežās no 2.7 – 3.7 mm un blīvumam no 68.5 – 85.9 kg/m³. Pie biezuma 2.9 mm, P un B siltumvadāmības rādītāji ir 0.038 W/(m·K). Kopīgā biezuma posmā kas ir no 2.7 - 2.9 mm, Y_{svP} ir par 2.8 % mazāka nekā Y_{svB} . Savukārt posmā no 2.9 – 3.3 mm, Y_{svP} ir par 2 % lielāks nekā Y_{svB} .



3.57.att. Siltumvadāmība kā biezuma f-ja (P)



3.58.att. Siltumvadāmība kā biezuma f-ja (B)

$$Y_{svP} = -0.015 + 0.0319x_{biP} - 0.0047x_{biP}^2 \quad (3.55)$$

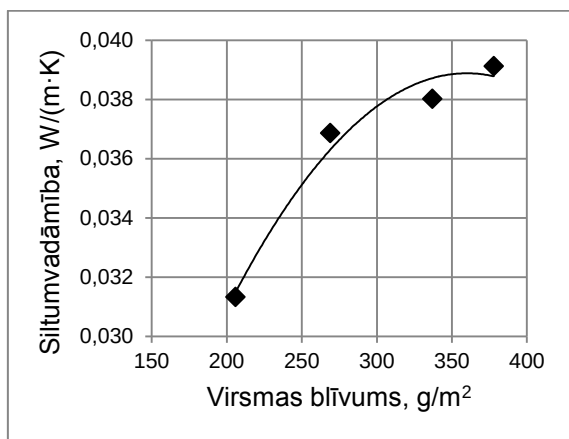
$$Y_{svB} = 0.0352 + 0.001x_{biP}, \quad (3.56)$$

kur: Y_{svP} ; Y_{svB} – caurstrūklotā materiāla siltumvadāmība (W/(m·K)),

x_{biP} ; x_{biB} – caurstrūklotā materiāla biezums (mm).

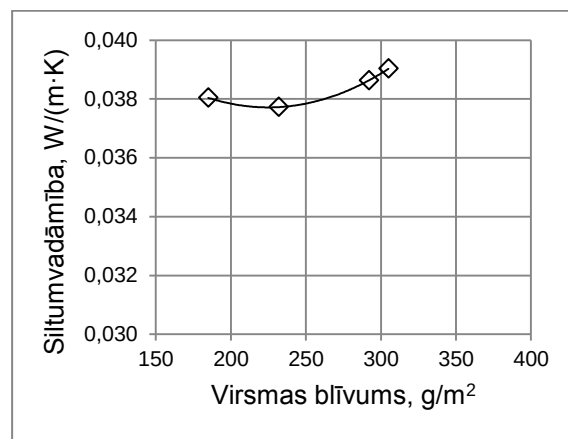
Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma funkcija abām šķirnēm tiek aprakstīta ar otrās pakāpes polinomu (vienādojumi 3.57 un 3.68). Virsmas blīvumam palielinoties, siltumvadāmība (Y_{sv}) palielinās nelineāri (3.59 un 3.60.att.). Pie virsmas blīvuma 206 g/m², kas ir kopējs punkts abām šķirnēm, par 19% augstāki rādītāji ir Y_{svB} . Virsmas blīvumam pieaugot līdz 305 g/m², Y_{svB} ir tikai par 2 % augstāka, salīdzinot ar Y_{svP} . Kopumā P paraugu grupa uzrāda zemākus siltumvadāmības rādītājus, nekā B. Atšķirības skaidrojamas ar dažādiem materiāla biezumiem un blīvumiem. Ja B paraugi ir biežāki, bet mazāk blīvi: biezums ir robežās no 2.7 – 3.7 mm un blīvums 68.5 – 85.9 kg/m³, tad P ir plānāki, bet vairāk sablīvējušies: attiecīgi no 2.1 – 3.3 mm un 98.1 – 116.2 kg/m³. Šeit redzams, ka ne vienmēr mazāk blīviem materiāliem ir labāki siltumvadāmības rādītāji. Jo materiāli ar nelielām porām, kas piepildītas ar gaisu (zems blīvums), tiek uzskatīti kā labākie siltumizolatori. Bet ar

nosacījumu, ja gaiss nav kustībā. Jo pretējā gadījumā, siltumvadāmība palielinās, pieaugot gaisa plūsmas ātrumam. No tā izriet, ka ne vienmēr pie zemāka materiāla blīvuma, ir zemāka siltumvadāmība. Materiāliem ar zemu blīvumu var būt lielākas poras, kurās gaiss var pārvietoties ātrāk. [14]



3.59.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma

f-ja (P)



3.60.att. Siltumvadāmība kā virsmas blīvuma

f-ja (B)

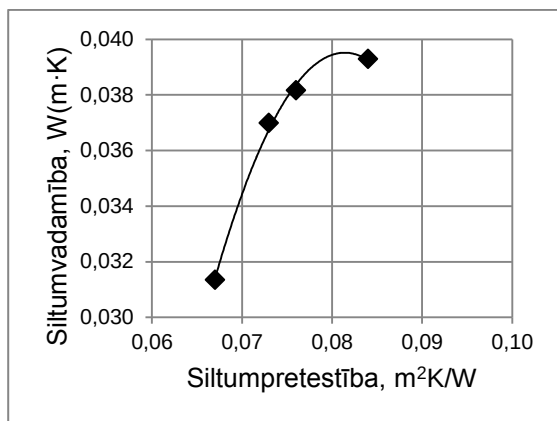
$$Y_{svP} = -0.002 + 0.228x_{vbP} - 0.317x_{vbP}^2 \quad (3.57)$$

$$Y_{svB} = 0.048 - 0.094x_{vbB} + 0.209x_{vbB}^2, \quad (3.58)$$

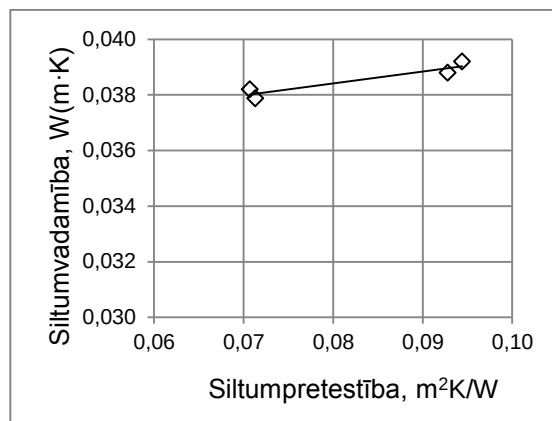
kur: Y_{svP} ; Y_{svB} – caurstrūklotā materiāla siltumvadāmība (W/(m·K)),

x_{vbP} ; x_{vbB} – caurstrūklotā materiāla virsmas blīvums (kg/m²).

Neausto materiālu siltumpretestība visvairāk ir atkarīga no to siltumvadāmības un blīvuma rādītājiem. [147] Attēlā 3.61. ir redzams, ka siltumvadāmība P šķirnes paraugiem ir nelineāra funkcija no neaustā materiāla siltumpretestības un var tikt raksturota ar otrās pakāpes polinomu (vien. 3.59). Savukārt 3.62.att. redzams, ka B paraugu attiecības starp siltumvadāmību un siltumpretestību ir lineāras (vien. 3.60). Pie siltumpretestības 0.073 m²K/W, abu šķirņu siltumvadāmības rādītāji ir vienādi – 0.038 W/(m·K). Posmā no 0.073 – 0.084 m²K/W, kur siltumpretestības rādītāji abām šķirnēm sakrīt, siltumvadāmības atšķirības starp P un B paraugiem ir nelielas, t.i., P ir līdz 4% augstāki rādītāji. Savukārt, kur siltumpretestība ir diapozonā no 0.071 – 0.073 m²K/W, līdz 6 % augstāki siltumvadāmības rādītāji ir B paraugiem.



3.61.att. Siltumvadāmība kā siltumpretestības f-ja (P)



3.62.att. Siltumvadāmība kā siltumpretestības f-ja (B)

$$Y_{svP} = -0.219 - 6.37x_{svP} - 39.14x_{spP}^2 \quad (3.59)$$

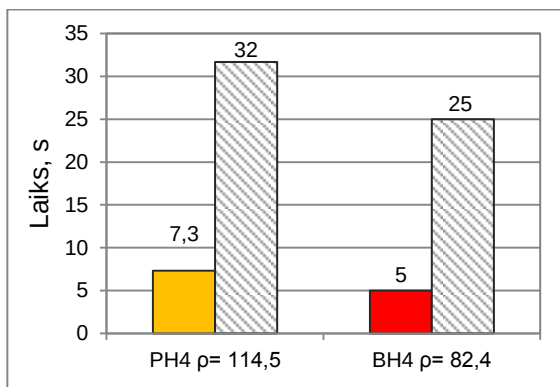
$$Y_{svB} = 0.035 + 0.043x_{spB}, \quad (3.60)$$

kur: Y_{svP} ; Y_{spB} – caurstrūklotā materiāla siltumvadāmība (W/(m·K)),

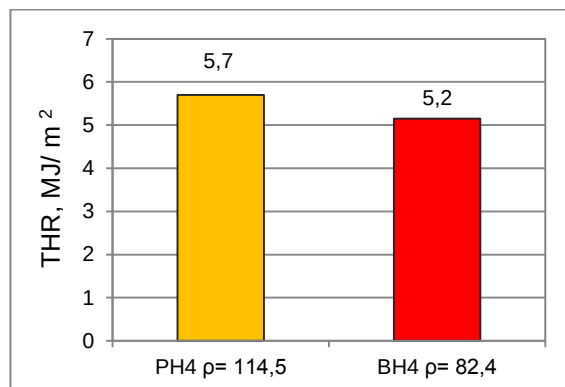
x_{spP} ; x_{svB} – caurstrūklotā materiāla siltumpretestība (m²K/W).

Caurstrūkloto materiālu degšanas procesa un ugunsreakcijas specifika

Bialobrzieskie šķiedru BH4 grupas caurstrūkloto paraugu aizdegšanās laiks (3.63.att.) ir par 32% zemāks par PH4 grupas parauglaiku un uzrāda par 21% ātrāku maksimālās degšanas jaudas sasniegšanu. To var skaidrot ar paraugu grupu atšķirīgiem blīvumiem (3.63.att.) - jo lielāks blīvums, jo lielāku materiāla tilpuma daļu aizņem šķiedras un mazāka ir tajā iekļautā skābekļa daļa, rezultātā palielinās aizdegšanās laiks. [141; 143]

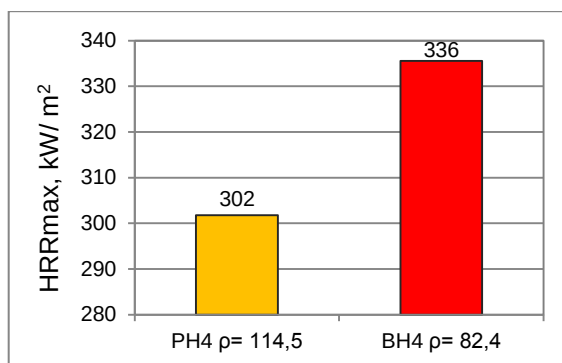


3.63.att. Caurdatoto materiālu aizdegšanās laiks un laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai



3.64.att. Caurstrūkloto materiālu kopējais izdalītais siltums (THR).
 ρ – materiāla blīvums, g/cm³

Neausto materiālu grupas BH4 paraugiem degot izdalās par 10% mazāks siltuma daudzums nekā PH4 paraugiem (3.64.att.). Fiksētās B šķiedru paraugu grupas BH4 maksimālā degšanas jauda (3.65. att.) par 11% pārsniedz PH4 šķiedru caurstrūkloto paraugu maksimālo degšanas jaudu; tā kā PH4 blīvums (114.5 kg/m^3) ir lielāks, HHRmax attiecīgi mazāks. [142; 143] Līdz ar to var prognozēt, ka BH4 caurstrūklotie neaustie izolācijas materiāli veicinās straujāku liesmu izplatīšanos uz apkārt esošiem objektiem. [144]

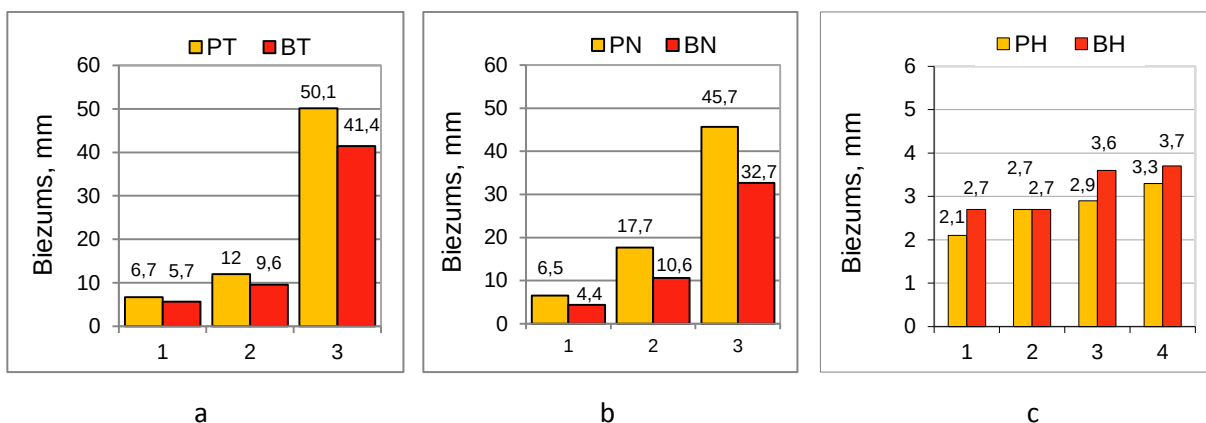


3.65.att. Caurstrūkloto materiālu maksimālā degšanas jauda

Sakopojot rezultātus konstatēts, ka no P šķiedrām iegūto sagatavju virsmas blīvums pēc kāršanas pieaug par 68%, savukārt caurstrūkloto materiālu virsmas blīvums visu eksperimenta variantu ietvaros palielinās lineāri par 83%. No B šķiedrām iegūto sagatavju virsmas blīvums pēc kāršanas pieaug par 74.1%, attiecīgi caurstrūkloto materiālu virsmas blīvums - par 65%. P šķiedru materiālu ūdens tvaiku caurlaidība ir par 8% augstāka un vidējie poru izmēri par 11% zemāki nekā B šķiedru paraugiem. Atšķirības varētu rasties atšķirīgu šķiedru kūlīšu lineāro blīvumu dēļ (P: 2.3 Tex, bet B: 3.6 Tex) vai arī tapēc, ka kāršanas mašīnas procesa ieejā tika padots vienāds šķiedru apjoms, bet P šķiedru sagatavju svars pēc kāršanas izradījās lielāks, tā kā par 23% vairāk B šķiedru nonāca atsūkās. Caurstrūkloto P šķiedru paraugu siltumvadāmības vidējās vērtības diapazonā no 0.031 līdz $0.039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ atšķiras no B šķiedru intervāla ($0.038 - 0.039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) tikai pie maziem biezumiem un ir salīdzināmas ar minerālvates $0.030 - 0.045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ u.c. celtniecībā plaši izmantotiem siltumizolācijas materiāliem. (3.9. tab.). Smalko P šķiedru caurstrūklotie neausti materiāli (vidējais biezums 2.1 mm) ar labu ūdens tvaiku caurlaidību un zemu siltumvadāmību varētu izraisīt lielu interesi kā siltumizolācijas materiāli iestrādāšanai zem grīdām, sienās, griestu pārsegumos, durvīs, transportlīdzekļos, kā arī kā siltumizolējošas starplikas apģērbu industrijā.

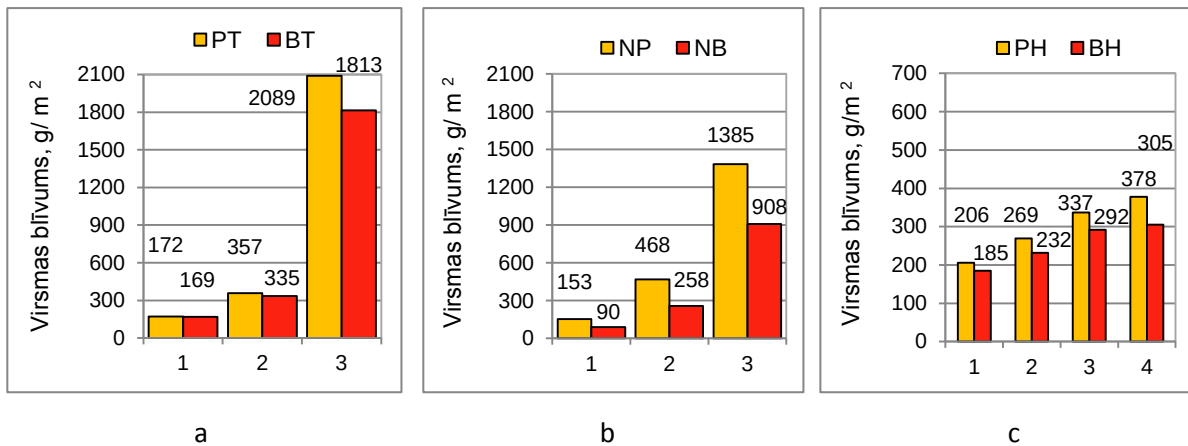
3.4. Termoliedēto, cauradatoto un caurstrūklotu neausto materiālu īpašību salīdzinājums

Salīdzinot 3.66. attēla grafikos sakopotos eksperimentālo variantu izolācijas materiālu biezumus redzams, ka P un B šķiedru termoliedēto un cauradatoto paraugu biezumi ievērojami pārsniedz ar caurstrūklošanas tehnoloģiju izgatavoto paraugu biezumus. Atšķirības izskaidrojams ņemot vērā, ka caurstrūklošanas tehnoloģiskajā procesā kārstās šķiedru sagataves tiek pakļautas priekšslapināšanai ar zema spiediena ūdens strūklām, izspiežot gaisu no porām. Rezultātā materiāla biezums strauji samazinās. [107] Sekojošā caurstrūklošana ar augsta spiediena ūdens strūklām turpina samazināt biezumu, gala rezultātā P grupas paraugu biezumi variē robežās no 2.1 līdz 3.3 mm, B grupas – robežās no 2.7 līdz 3.7 mm. Salīdzinājumam, līdzīgāko virsmas blīvuma termoliedēto paraugu biezumi (PT1 – 6.7 mm un BT1– 5.7 mm) un cauradatoto (PN1- 6.5 mm un BN1– 4.4 mm) biezumi ir vidēji divas reizes lielāki. Savstarpēji salīdzinot termoliedēto un cauradatoto paraugu variantu biezumus redzams, ka B šķiedru termoliedētie paraugi ir nedaudz plānāki nekā P šķiedru paraugi. Tai pat laikā caurstrūklotie B šķiedru paraugi ir biežāki nekā P šķiedru paraugu varuanti.



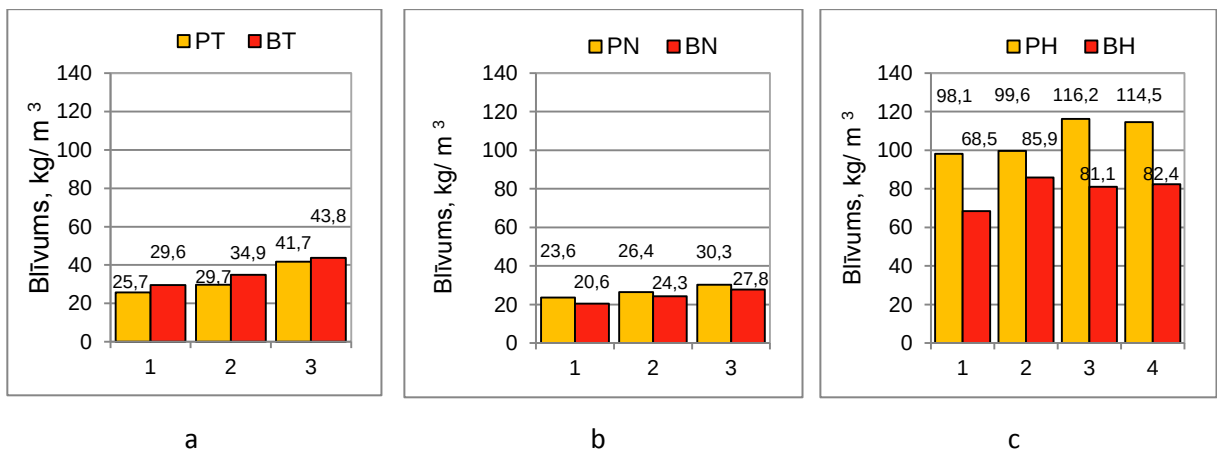
3.66.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūklotu (c) materiālu biezums
1 – attiecīgi PT1vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

Salīdzinot virsmas blīvumus (3.67.att.) redzams, ka ar visām trim tehnoloģijām iegūto P šķiedru grupas paraugu virsmas blīvumi nedaudz pārsniedz B šķiedru materiālu blīvumus. Visa eksperimenta ietvaros zemākie virsmas blīvumi ir abu šķirņu T1 paraugiem, palielinoties kārstās sagataves biezumam, termoliedēto paraugu virsmas blīvums ievērojami pārsniedz cauradatoto paraugu virsmas blīvumu gan P, gan B šķiedru materiālos (PT3 un BT3 varianti).



3.67.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu virsmas blīvums
1 – attiecīgi PT1vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

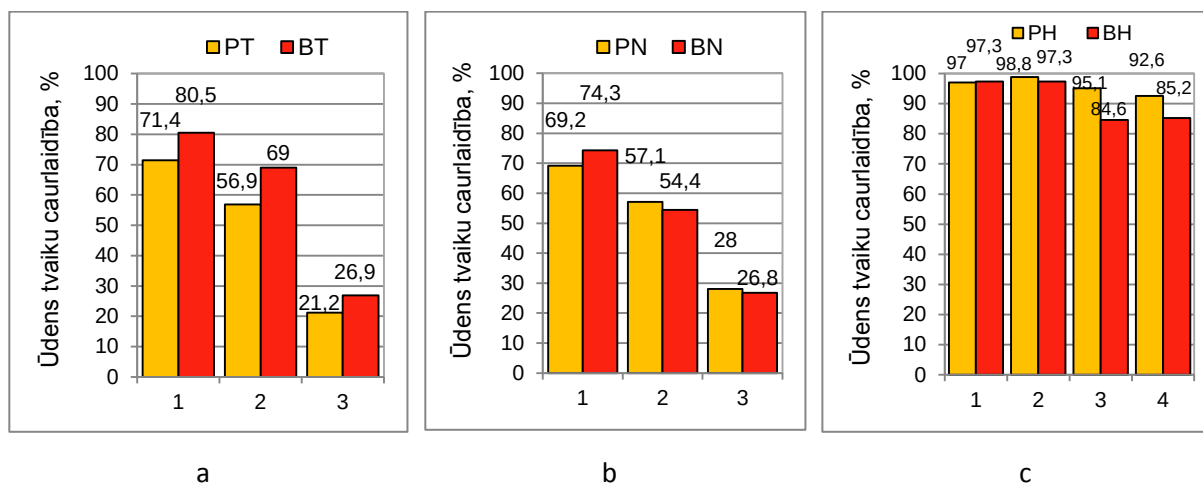
Kā redzams no 3.68. attēla grafikiem, ar caurstrūklošanas tehnoloģiju izgatavotajiem neausto materiālu paraugiem ir vislielākais blīvums, ko nosaka sastiprināšanas tehnoloģija ar augstspiediena ūdens strūklām; bez tam P šķiedru paraugu blīvums ievērojami pārsniedz B šķiedru paraugu blīvumu. Acīmredzot rupjāko B šķiedru pretestība caurstrūklošanai ir lielāka, kas rezultējas mazāk kompaktā materiāla struktūrā. Abu šķirņu šķiedru cauradatoto paraugu blīvumi savukārt ir viszemākie visā biezumu diapazonā. Termoliedēšanas un cauradatošanas tehnolotehnoloģijās šķiedru īpašību atšķirībai ir maza ietekme uz izgatavoto materiālu blīvumu par ko liecina eksperimentālo variantu blīvumu nenožīmīgas atšķirības (3.68., a un b).



3.68.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu blīvums
1 – attiecīgi PT1vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

Caurstrūkloto neausto materiālu ūdens tvaiku caurlaidība visa eksperimenta ietvaros ir ievērojami augstāka, salīdzinot ar cauradatoto un termoliedēto paraugu variantiem (3.69.att.); par atšķirību iemeslu vispirms uzskatāmi caurstrūkloto materiālu variantu nelielie biezumi

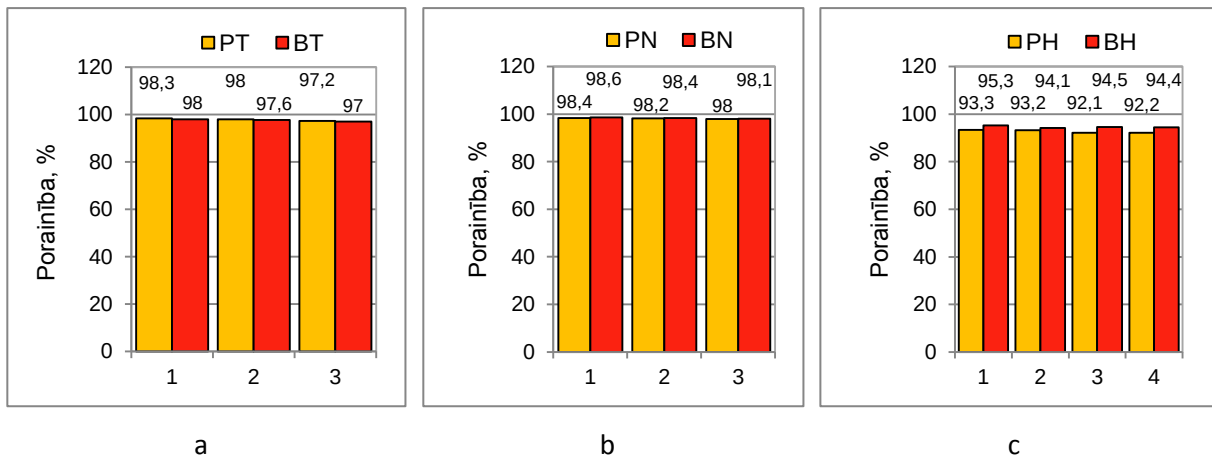
salīdzinājumā ar termoliedēto un cauradototo materiālu attiecīgajiem rādītājiem (3.66. att.). Salīdzinot ar termoliedēšanas un cauradatošanas tehnoloģijām izgatavoto paraugu ūdens tvaika caurlaidības, vienlīdz straujš caurlaidības kritums palielinoties biezumam vērojams gan P šķiedru termoliedētajiem paraugiem (PT), gan šķirnes B cauradatotajiem (BN) paraugiem (3.69.att.); tai pat laikā B šķiedru termoliedēto paraugu ūdens tvaika caurlaidība visos trijos variantos par 11-22% pārsniedz P šķiedru paraugu caurlaidību. Mazāka šķiedru izcelsmes, līdz ar to īpašību ietekme uz ūdens tvaika caurlaidību ir cauradatošanas tehnoloģijai (3.69.att., b).



3.69.att. Termoliedēto (a), cauradototo (b) un caurstrūkloto (c) materiālu ūdens tvaiku caurlaidība.

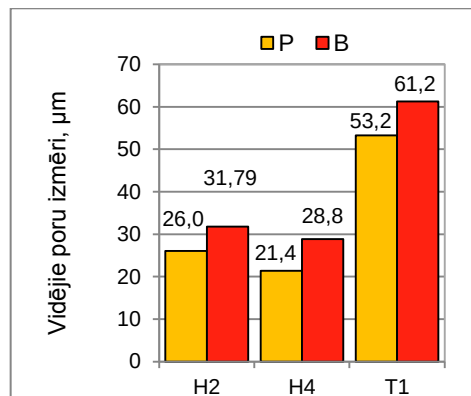
1 – attiecīgi PT1vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

Cauradototo un termoliedēto paraugu porainības ir ļoti līdzīgas (3.70.att., a un b), neskatoties uz atšķirīgiem materiālu biezumiem un atšķirīgām izgatavošanas tehnoloģijām. Savukārt caurstrūkloto materiālu porainības rādītāji ir mazāki (3.70.att., c). Tas skaidrojams ar to, ka caurstrūklotie neaustie materiāli ir daudz plānāki un blīvāki salīdzinājumā ar N un T tehnoloģiju materiāliem (3.66. un 3.68.att.): paraugu grupām PT, BT, PN un BN vidējā porainība ir 98 %, savukārt PH tā ir 93 % un BH – 95 %.



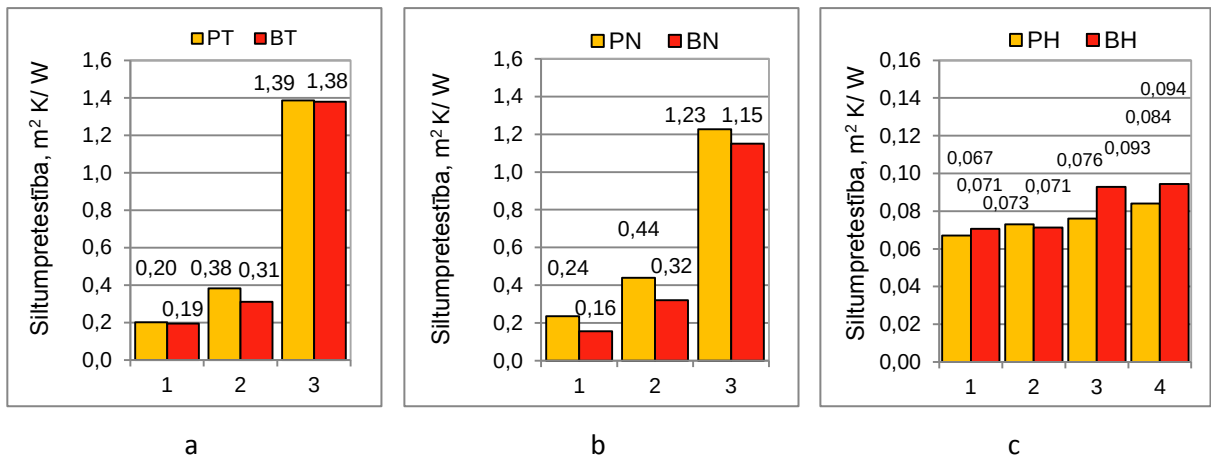
3.70.att. Termoliedēto (a), cauradato (b) un caurstrūkloto (c) materiālu porainība
1 – attiecīgi PT1vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

Salīdzinot ar H un T tehnoloģijām iegūtu neausto materiālu poru izmērus redzams, ka vislielākie vidējie poru izmēri ir termoliedētajiem T1 paraugiem (3.71.att.), jo to blīvums ir mazāks un satur vairāk gaisa poru. Savukārt plānākajiem un mazāk blīvajiem H2 paraugiem vidējie poru izmēri ir lielāki salīdzinājumā ar H4 paraugiem.



3.71.att. caurstrūkloto - H2; H4 un termoliedēto - T1 materiālu vidējie poru izmēri

Siltumpretestība materiāliem, kas iegūti ar termoliedēšanas un cauradatošanas tehnoloģijām, ir daudz lielāka nekā caurstrūklošanas tehnoloģijas paraugiem (3.72.att.). Tas skaidrojams ar izteikti mazāku caurstrūkloto paraugu biezumu, tā kā samazinot izolācijas slāņa biezumu, samazinās tā siltumpretestība. [19] Biezākajām eksperimentālo paraugu grupām (N3 un T3) siltumpretestības rādītāji ir visaugstākie, pie tam abu šķirņu šķiedru termoliedēto T3 paraugu siltumpretestība ir lielāka nekā cauradato N3 paraugu siltumpretestība. Kopumā gan cauradato, gan termoliedēto P šķiedru materiālu siltumpretestība visos gadījumos ir lielāka nekā B šķirnes paraugiem.



3.72.att. Termoliedēto (a), cauradototo (b) un caurstrūklo (c) materiālu siltumpretestība
1 – attiecīgi PT1vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

Ar termoliedēšanas un cauradatošanas tehnoloģiju izgatavoto paraugu siltumpretestība eksperimenta ietvaros, biezumam mainoties robežās no 5.7 - 50.1 mm un 4.4 - 45.7 mm, variē robežās no 0.19 - 1.39 m²·K/W un 0.16 - 1.23 m²·K/W. Salīdzinot eksperimentālo variantu rādītājus ar attiecīgiem 3.8. tab. datiem redzams, ka pētījuma gaitā izstrādāto neausto materiālu lietošanas īpašības ir labākas/ salīdzināmas ar citiem tirgū pieejamiem kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiāliem, kas paredzēti tādiem gala lietojumiem kā jumtu, starpsienu, ārsienu un grīdu siltumizolācija, biezumu variējot robežās no 40 – 50 mm, ar atbilstošu siltumpretestību robežās no 0.9 līdz 1.28 m²·K/W. Tā kā 3.8. tab. šķiedru bāzes siltumizolācijas materiālu apakšējā biezuma robeža 40-50 mm atbilst eksperimentālo variantu augšējai biezumu robežai, bet to siltumpretestība samērojama ar 3.8. tabulā sniegto siltumpretestību augšējo robežu, piedāvātie termoliedētie un cauradatotie kaņepju šķiedru izolācijas materiāli uzskatāmi par labākiem siltumpretestības ziņā salīdzinājumā ar tirgū piedāvātajiem šķiedru izolācijas materiāliem.

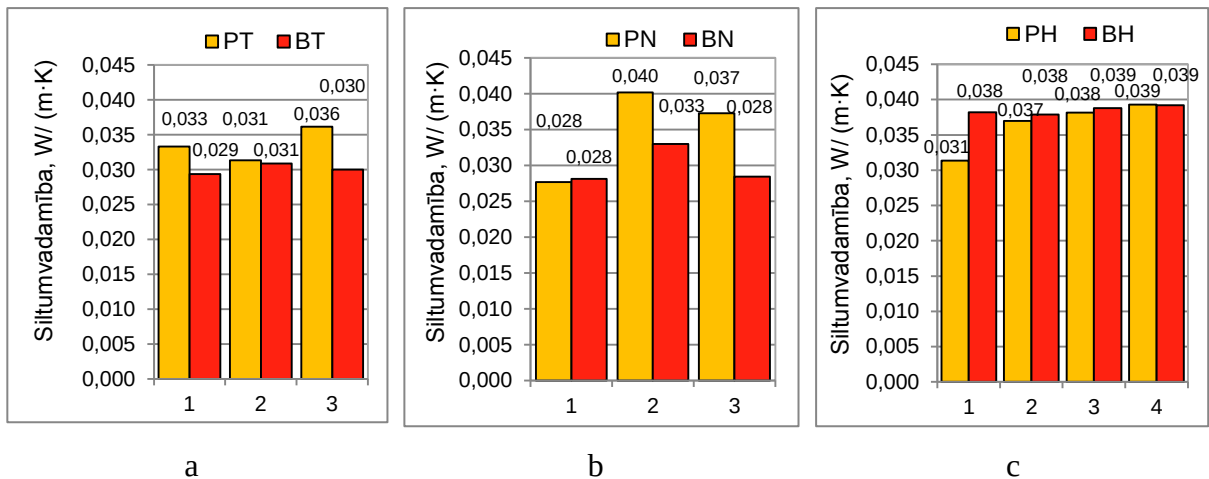
Savukārt caurstrūklošanas tehnoloģijas paraugu, kuru biezums eksperimenta ietvaros mainās no 2.1 līdz 3.7 mm, siltumpretestība variē robežās no 0.067 - 0.094 m²·K/W, kas neiekļaujas tirgū pieejamo ēku siltumizolācijas materiālu piedāvātajās siltumpretestības robežās. Šīs tehnoloģijas neausto materiālu siltumpretestības paaugstināšanai jāveido paketes no vairākām caurstrūklo materiālu kārtām.

Ražotāju piedāvāto siltumizolācijas materiālu un eksperimentālo kaņepju šķiedru materiālu siltumpretestības salīdzinājums

Kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiāli	Sastāvs	Siltumpretestība, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	Biezums, mm
<i>Pieejami tirgū</i>			
STEICO canaflex [87]	kaņepju šķiedras, amonija fosfāts, poliolefīna šķiedras	0.9 - 5.55	40 - 240
Biofib' hemp [101]	90% kaņepju šķiedras + PE saistviela	1.10 - 3.50	45 - 140
Blackmountain hemp [104]	95% kaņepju šķiedras, 5% saistviela	1.28 - 6.41	50 - 250
<i>Eksperimentālie varianti</i>			
PT	90% kaņepes, 10% divkomponentu šķiedras PP-PE	0.20 - 1.39	6.7 - 50.1
BT	90% kaņepes, 10% divkomponentu šķiedras PP-PE	0.19 - 1.38	5.7 - 41.4
PN	100% kaņepes	0.24 - 1.23	6.5 - 45.7
BN	100% kaņepes	0.16 - 1.15	4.4 - 32.7
PH	100% kaņepes	0.067-0.084	2.1 - 3.3
BH	100% kaņepes	0.071-0.094	2.7 - 3.7

Eksperimenta ietvaros iegūto paraugu siltumvadāmība variē robežās no 0.028 līdz 0.040 W/(m·K), kopumā atšķirības nepārsniedz 44 %. Tā kā siltumvadāmību ietekmē tādi parametri, kā siltumpretestība, blīvums, temperatūra, mitruma saturs, porainība un komponentes, [19] šķiedru materiālu siltumvadāmība var atšķirties relatīvi plašā diapazonā.

Apskatīto tehnoloģiju radītas izmaiņas uz kaņepju šķiedru neausto materiālu siltumvadāmību nav konstatējamas, tā kā variējot blīvumu un biezumu siltumvadāmības izmaiņas vairāk saistāmas ar šķiedru īpašībām (3.73.att., a un b) un/vai materiāla struktūras parametriem, īpaši blīvumiem: mazāka blīvuma materiāliem parasti novērojama mazāka siltumvadāmība.



3.73.att. Termoliedēto (a), cauradatoto (b) un caurstrūkloto (c) materiālu siltumvadāmība
1 – attiecīgi PT1 vai BT1; PN1 vai BN1; PH1 vai BH1. 2 - utt.

Testēto abu šķirņu šķiedru termoliedēto paraugu siltumvadāmība variē diapazonā no 0.029 līdz 0.031 W/m·K, mainoties blīvumam no 25.7 līdz 43.8 kg/m³, biezumam no 5.7 līdz 50.1 mm; cauradatoto paraugu siltumvadāmība mainoties robežās no 0.028 līdz 0.040 W/m·K, mainoties blīvumam no 20.6 līdz 30.3 kg/m³ un biezumam no 6.5 līdz 45.7 mm, siltumvadāmība variē diapazonā no 0.031 – 0.039 W/m·K, mainoties blīvumam no 68.5 līdz 116.2 kg/m³ un biezumam no 2.1 līdz 3.7 mm, ir salīdzināmas ar korķa siltumizolāciju, kur materiāla blīvumam mainoties no 105 līdz 120 kg/m³, siltumvadāmība variē robežās no 0.038 līdz 0.070 W/m·K (3.9.tab.).

3.9. tabulā sakopotas tirgū pieejamo siltumizolācijas materiālu fizikālās īpašības - blīvums, biezums, siltumvadāmība, siltumpretestība, degšanas reakcija. Dažādu materiālu salīdzināšana ir lietderīga tad, ja viens no tiem ir aizstājams ar otru. Šajā darbā testētajiem kaņepju šķiedru izolācijas materiāliem (3.1., 3.3. un 3.6. tabulas) salīdzinājumā ar 3.9. tabulas materiāliem ir mazāka siltumvadāmība, var būt mazāks blīvums un to sastāvā nav sintētisko saistvielu (izņemot termoliedētos paraugus).

Pētījuma ietvaros testēto termoliedēto, cauradatoto un caurstrūkloto neausto materiālu siltumvadāmība, salīdzinot ar tipisku 13 - 180 kg/m³ blīvuma minerālvati (akmens, stikla), kuras siltumvadāmība ir robežās no 0.03 līdz 0.045 W/m·K un biezums no 50 līdz 200 mm, ir salīdzinoši laba; tas nozīmē, ka piedāvātie kaņepju šķiedru neaustie materiāli var kalpot kā laba alternatīva uz naftas produktiem bāzētu izolācijas materiālu aizstāšanai. Arī tādi uz fosilām izejvielām bāzēti siltumizolācijas materiāli kā, piemēram, polistirēns 0.025 - 0.041 W/m·K, ar blīvumu 18 – 80 kg/m³ un putupolistirols uzrāda vērtības robežās no 0.033- 0.043 W/m·K, ar biezumu robežās no 20 līdz 120 mm un blīvumu no 12 līdz 31 kg/m³ ir

aizvietojami ar termoliedētajiem un cauradatotajiem materiāliem.

Ekovates, kā arī kokšķiedru vates siltumvadāmība ar līdzīgu blīvumu ($27 - 54 \text{ kg/m}^3$) un biezumu ($32 - 45 \text{ kg/m}^3$) attiecīgi $0.035 - 0.040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ un $0.038 - 0.040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, salīdzinājuma ar eksperimentā testētajiem paraugiem ir tāda pat vai augstāka, kas ļauj tos iekļaut uz koksnes šķiedru bāzes ražoto izolācijas materiālu alternatīvu sarakstā.

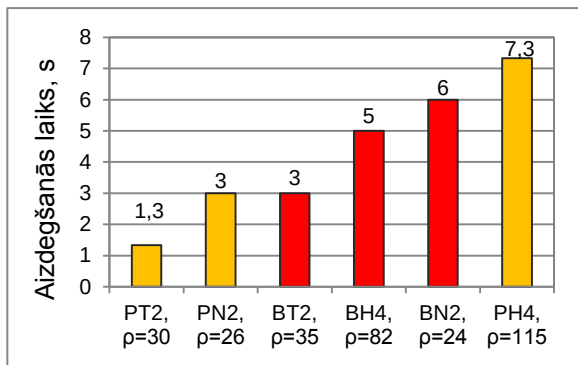
Arī dzīvnieku vilnai ir laba siltumvadāmība ($0.038 - 0.040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ aitas vilna) pie blīvuma 19 kg/m^3 un biezuma robežās no 50 līdz 250 mm, bet, atšķirībā no kaņepju šķiedru izolācijas materiāliem, tajā mīl iemānot kukaiņi un grauzēji.

Tā kā ziemas apģērbā ir jānodrošina siltumvadāmība $0.155 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, [148] caurstrūklotie neaustie kaņepju šķiedru materiāli ar daudz labākiem siltumvadāmības rādītājiem un mazu biezuma varētu tikt lietoti apģērba paketēs kā siltināšanas materiāls.

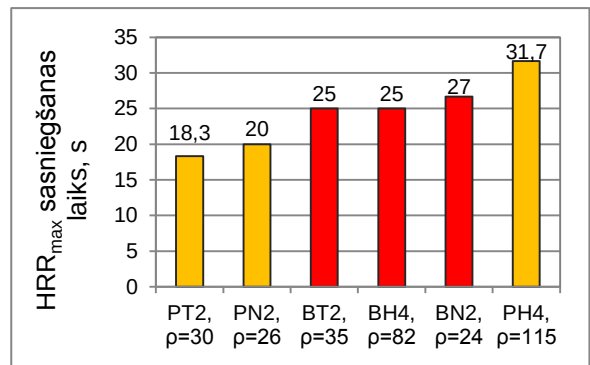
Būvniecībā biežāk izmanto izolācijas materiālu (sienu, jumtu, griestu) ekspluatācijas īpašības

Nosaukums	Akmens vate [149]	Stikla vate [150]	Uzputotais putu polistirols (EPS) [151]	Polistirēns [19; 152]	Ekovate [32]	Kokšķiedru vate [32]	Aitas vilna [32; 103]	Korķis [103]	Kaņepju šķiedras [68; 87; 101]	Kaņepju spaļu/kaļķa betons [101; 148]
Sastāvs	Vulkāniskā ieža bazalts, saistviela	Stikla šķiedra, saistviela	Uzputotas polistirola granulas	Naftas produkti	88% otrreiz pārstrādāts papīrs, 12% negaistoši antipirēni un antiseptiķi	Koksnes šķiedras, amonija fosfāts, borskābe	95% aitas vilna, 5% saistviela	Korķa koka miza	95% kaņepju šķiedras, 5% saistviela	Kaņepes / kaļķis 2:3
Siltumvadāmība W/(m·K)	0.035 - 0.041	0.030 - 0.045	0.033-0.043	0.025 - 0.041	0.035-0.040	0.038-0.040	0.038-0.040	0.038 - 0.070	0.039-0.043	0.08 - 0.09
Blīvums kg/m ³	30 - 110	13 - 180	12 - 31	18 - 80	27 - 54	32 - 45	19	105-120	30 – 40	220 - 300
Biezums, mm	50 - 200	-	20 – 120	-	200	-	50 - 250	-	40-250	-
Siltumpretestība m ² K/W	1.35- 4.05	-	-	-	-	-	1.28-6.41	-	0.90-5.55	-
Reakcija uz uguni, klase	A1	A1	-	-	-	B2	E	E	E	-

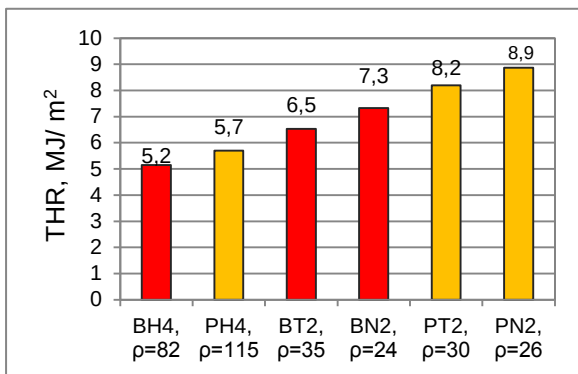
Piezīmes: „, - ” īpašība nav norādīta



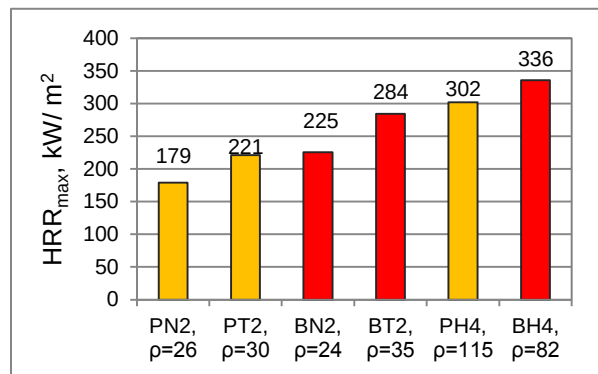
3.74.att. Aizdeģšanās laiks



3.75.att. Laiks līdz maksimālās degšanas jaudas (HRRmax) sasniegšanai



3.76.att. Kopējais izdalītais siltums (THR)



3.77.att. Maksimālā degšanas jauda (HRRmax)

Salīdzinot pētījuma ietvaros iegūtos vidējos aizdegšanās laikus (3.74. att.) redzams, ka tie mainās robežās no 1.3 līdz 7.3 sekundēm. Aizdeģšanās laiks ir atkarīgs arī no šķiedru izmēriem: ja materiāla virsmas satur smalkas šķiedras, tas viegli uzliesmo. Neausto materiālu izgatavošanas tehnoloģiju un šķirnes ietekmē paraugu grupas PT2 aizdegšanās laiks ir 5.5 reizes (par 82%) zemāks nekā materiāla PH4 lielākais aizdegšanās laiks: termoliedēšanas tehnoloģijā sagatavē pievienotas PE-PP saistošās šķiedras, kas kūst ievērojami zemākā temperatūrā (polietilēna kušanas punkts 130° C) [83] nekā kaņepju šķiedras (destruktīvie procesi sākas no 150° C) [39-41] un izraisa straujāku PT2 paraugu aizdegšanos. Caurdatotie un termoliedētie P šķiedru paraugi aizdegas ātrāk un ātrāk sasniedz maksimālo degšanas jaudu, tā kā P šķiedras ir smalkākas, satur par 22% vairāk hemicelulozi, kā arī par 40% vairāk lignīnu nekā B šķiedras, kas samazina P šķiedru saturošo paraugu (PT2, PN2) ugunsizturību. [47] Izņēmums ir ar caurstrūklošanas tehnoloģiju izgatavotie PH4 paraugi, kas visa eksperimenta ietvaros uzrāda visilgāko aizdegšanās (3.74.att.) un HRRmax sasniegšanas laiku (3.75.att.). Tas skaidrojams ar izteikti augstāku blīvumu (PH4- 115 kg/m³, BH4- 82 kg/m³), tā kā lielāks blīvums palielina

pretestību pret aizdegšanos. [140; 143] Pētījuma ietvaros maksimālās degšanas jaudas sasniegšanas laiki paraugu secības ziņā atbilst aizdegšanās laikiem (skatīt 3.74.un 3.75.att.), kur viszemākais PT2 paraugu grupas rādītājs ir par 42% mazāks, salīdzinot ar visaugstākajiem PH4 paraugu grupas rādītājiem (3.75.att.).

Salīdzinājumā ar termoliedēšanas un cauradatošanas tehnoloģiju, caurstrūkloto paraugu izdalītais kopējais siltuma daudzums (THR) ir vismazākais. B šķirnes šķiedru paraugu zemākais THR visās trijās salīdzināmajās tehnoloģijās liecina par labāku ugunsnoturību, tai pat laikā to HRRmax ir augstāka nekā P paraugiem. Zems HRRmax lignocelulozes šķiedrās norāda, ka hemicelulozes un, īpaši, lignīna pirolīzes gāzēm raksturīga zemāka sadegšanas enerģija [47; 153; 154]; turpretim augstāks celulozes saturs var palielināt šķiedru uzliesmojamību, kas B šķiedrās par 4 % pārsniedz P šķiedru celulozes saturu (P- 64.2 %; B- 66.5%). Tīras celulozes viegla uzliesmojamība ir saistīta ar levoglukožāna veidošanos, kas ļoti viegli uzliesmo. Lignīna klātbūtne lignocelulozes šķiedru sastāvā nomāc levoglukožāna veidošanos, tādējādi samazinot šķiedru degamību. [155] Arī stiprākās lignīna saites, kas degot sadalās pie augstākām temperatūrām, veido degšanu vājināšu aizsargslāni; jo vairāk lignīna, jo lielāks rodas HRRmax samazinošs slānis [47] kas rezultējas mazākās P šķiedru paraugu HRRmax jaudas vērtībās (lignīns P šķiedrās ir 8 %, B šķiedrās 5.7 %) (3.77.att.). THR atšķirības starp labāko (BH4) un sliktāko (PN2) rādītāju ir 1.7 reizes jeb 42 % (3.76.att.), atšķirības HRRmax (3.77.att.) paraugu secības ziņā ir apgrieztī proporcionālas THR un sastāda 47%.

No ekonomiskā un fizikālā viedokļa uguns aizsardzības organizācijā ir būtiski aizkavēt degšanas sākuma stadijas attīstību, [140] apstrādājot materiālus ar antipirēniem, kuru sastāvā ir gan organiski, gan neorganiski savienojumi. Izmēģinājumi ar antipirēniem, kas izveidoti polikondensējot polifosfātus un poliborātus, apstiprina to izmantošanas efektivitāti rasā mērcētu kaņepju šķiedru neausto materiālu uguns aizsardzībā: pievienojot 15% antipirēnu, aizdegšanās laiks palielinās līdz 122 s un HRR vērtība samazinās par 75%. [83]

Mainoties blīvumam mainās arī materiāla ugunsreakcijas īpašības. [142] Tādējādi gan kaņepju šķiedru izcelsme, lignīna, hemicelulozes un celulozes proporcijas šķiedru sastāvā, gan neausta materiāla blīvums ietekmē ugunsreakcijas parametrus un šīs ietekmes jāievēro siltumizolācijas materiālu projektēšanā paredzot atbilstošas papildapstrādes.

3.5. Kaņepju šķiedru īpašību salīdzinoša analīze

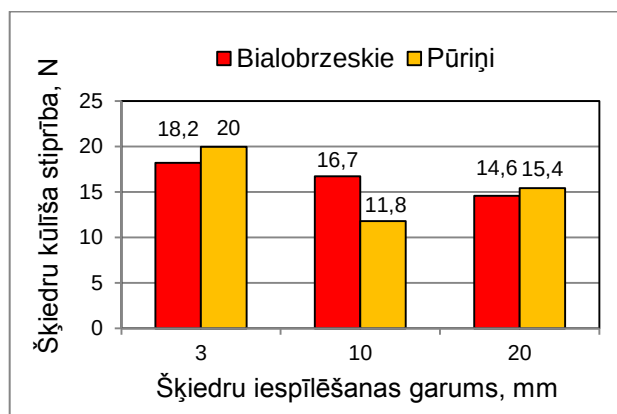
Kaņepju šķiedru kūlīšu stiprības vidējie rādītāji atkarībā no iespīlēšanas garuma un atbilstošie ticamības intervāli apkopoti tabulā 3.10.

3.10.tabula

Kaņepju šķiedru kūlīšu stiprības rādītājumi pie dažāda iespīlēšanas attāluma

Šķirne	Šķiedru kūlīša iespīlēšanas garums, mm	Šķiedru kūlīšu izturība, N		Ticamības līmenis 0.95
P	3 mm	19.9	+/-	3.61
B	3 mm	18.2	+/-	3.07
P	10 mm	11.78	+/-	1.72
B	10 mm	16.70	+/-	0.88
P	20 mm	15.43	+/-	1.65
B	20 mm	14.55	+/-	1.29

Kaņepju šķiedru kūlīšu vidējā stiprības izmaiņas atkarībā no iespīlēšanas garuma parādītas 3.78. att.

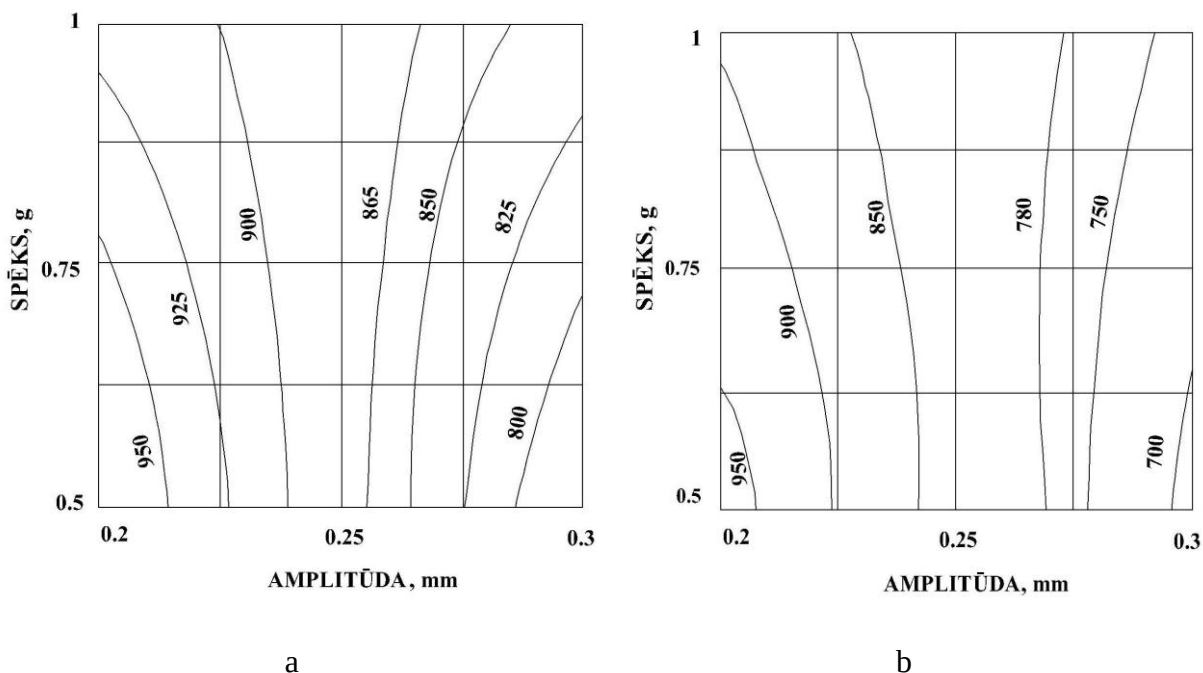


3.78.att. Pūriņu un Bialobrzescie šķiedru kūlīšu vidējā pārraušanas stiprība

B šķirnes šķiedru pārraušanas stiprība palielinot iespīlēšanas garumu samazinās; P šķiedru stiprība ir nelineāri atkarīga no iespīlēšanas garuma, ievērojami samazinoties, ja iespīlēšanas garums ir 10 mm. Gan B, gan P šķiedru stiprības augstākie rādītāji atbilst iespīlēšanas garumam 3 mm, tā kā šie mērījumi vairāk raksturo kaņepju elementāršķiedru pretestību stiepei nekā elementāršķiedru sasaistes pretestību tehniskajās šķiedrās (3.78.att.).

Mazu kaņepju šķiedru kulīšu ilgizturība (līdz 1000 cikliem) daudzkārtējā stiepē

3.79. a un b att. parādītas ilgizturības ciklu divu dimensiju šķelumu līnijas, kas rāda, ka abu šķirņu šķiedru izturības ciklu skaits galvenokārt atkarīgs no amplitūdas: palielinot amplitūdu no 0.2 līdz 0.3 mm, B šķiedru kulīšu vidējais izturības ciklu skaits samazinās par 19% un P - par 31%. Slodzei mainoties robežās no 0.5 g līdz 1 g ietekme ir mazāka par ko liecina attiecībā pret slodzes asi izstietas šķēluma līnijas (3.79. att., a un b).



3.79.att.Izturības ciklu skaita divu dimensiju šķēlumi: a) B šķiedras, b) P šķiedras

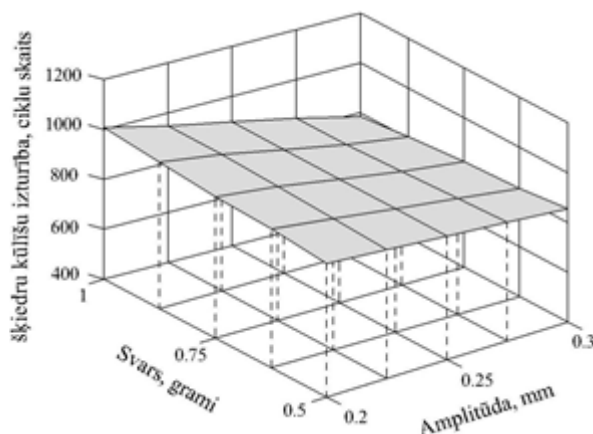
Mazu kaņepju šķiedru kulīšu ilgizturība (līdz 1000 un 2000 cikliem) daudzkārtējā stiepē

Eksperiments veikts ar diviem atkārtojumiem, reakcijas novērtēšanai izvēlētas divas atbalss funkcijas - ciklu skaits (y_1) un trūkšanas varbūtība pirmo 1000/ 2000 deformācijas ciklu laikā (y_2). Matemātiskais modelis (1) apraksta ilgmūžības ciklu skaitu kā amplitūdas (x_1) un slodzes (x_2) funkciju nepilna II pakāpes polinoma formā:

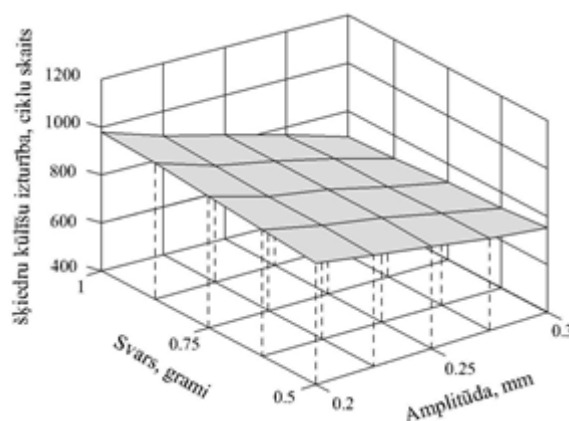
$$y_{11} = 848.5 - 92.5 x_1 + 0.13 x_2 - 31.25 x_3 + 32.88 x_1 x_2 - 18 x_1 x_3 - 4.13 x_2 x_3 \quad (1)$$

Vienādojums (2) apraksta trūkšanas varbūtību pirms 1000 ciklu sasniegšanas kā pētāmo faktoru funkciju:

$$y_{21} = 0.21 + 0.13 x_1 - 0.02 x_2 + 0.02 x_3 - 0.04 x_1 x_2 - 0.01 x_1 x_3 - 0.01 x_2 x_3 \quad (2)$$



3.80.att. Atbalss virsma B šķiedru ilgizturības ciklu izmaiņu ģeometriskai interpretācijai līdz 1000 cikliem



3.81.att. Atbalss virsma P šķiedru ilgizturības ciklu izmaiņu ģeometriskai interpretācijai līdz 1000 cikliem

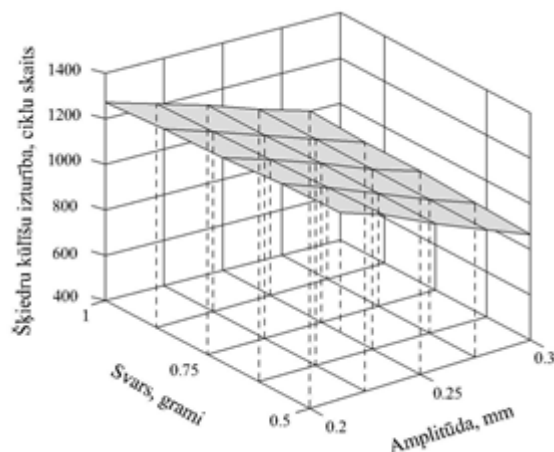
Salīdzinot šķirnēm atbilstošās atbalss virsmas (3.80. un 3.81. att.) redzams, ka abu šķirņu izturību daudzciklu stiepē galvenokārt nosaka amplitūdas vērtības - palielinot amplitūdu no 0.2 līdz 0.3 mm, P šķiedru kūlīšu vidējais ciklu skaits samazinās straujāk (par 31%) x1 ass virzienā (atbalss plaknes slīpums lielāks); tai pat laika B šķiedru kūlīšu vidējais ciklu skaits līdz satrūkšanai samazinās tikai par 19%. Stiepes spēka ietekmes efekts apskatītajā izmaiņu diapazonā ir mazāks; uz to norāda gan nelielās plakņu slīpuma izmaiņas abos grafikos, gan arī salīdzinoši nelielas lineāro koeficientu vērtības vienādojumos (1) un (2) pie x2 efekta.

Pētījumu rezultātā iegūtais matemātiskais modelis (3) apraksta ilgmūžības ciklu skaitu y_{12} , modelis (4) - varbūtību y_{22} kā amplitūdas (x_1) un slodzes (x_2) funkciju, ka šķiedru kūlītis pārtrūks nerasniedzot 2000 ciklus:

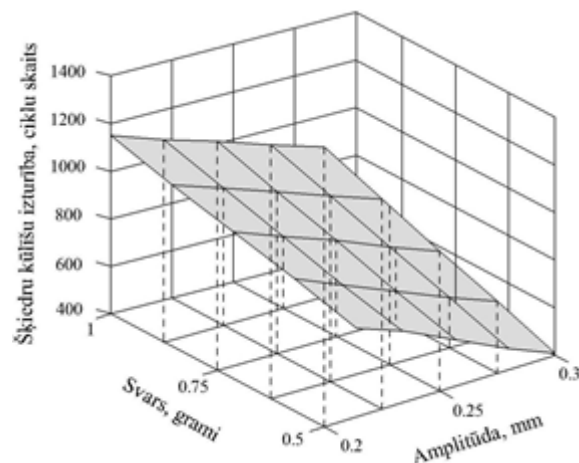
$$y_{12} = 931.28 - 470.28 x_1 + 192.48 x_2 - 143.93 x_3 - 22.58 x_1 x_2 - 78.68 x_1 x_3 - 4.93 x_2 x_3 \quad (3)$$

$$y_{22} = 0.21 + 0.13 x_1 - 0.02 x_2 + 0.02 x_3 - 0.04 x_1 x_2 - 0.01 x_1 x_3 - 0.01 x_2 x_3 \quad (4)$$

Regresijas koeficientu vērtības vienādojumos (3) un (4) norāda uz intensīvāku pētāmo faktoru ietekmi gan uz vidējo ciklu skaitu, gan īpaši uz atteikuma varbūtību. Salīdzinot atbilstošās atbalss virsmas (3.82. un 3.83. att.), vērojama intensīva amplitūdas ietekme; tāpat kā testējot ilgizturību līdz 1000 cikliem, arī testējot līdz 2000 cikliem stiepes spēka izmaiņu ietekme ir mazāka, par ko liecina plakņu novietojuma raksturs koordinātu telpā. Abi pētāmie faktori vairāk ietekmē Pūriņu šķiedru īpašību izmaiņu daudzciklu stiepē: vidējais B šķiedru ilgizturības ciklu skaits pieaugot amplitūdai samazinās par 19%, bet P šķiedru atbilstošais rādītājs par 31%.



3.82.att. B šķiedru ilgizturības ciklu atbalss virsma līdz 2000 cikliem

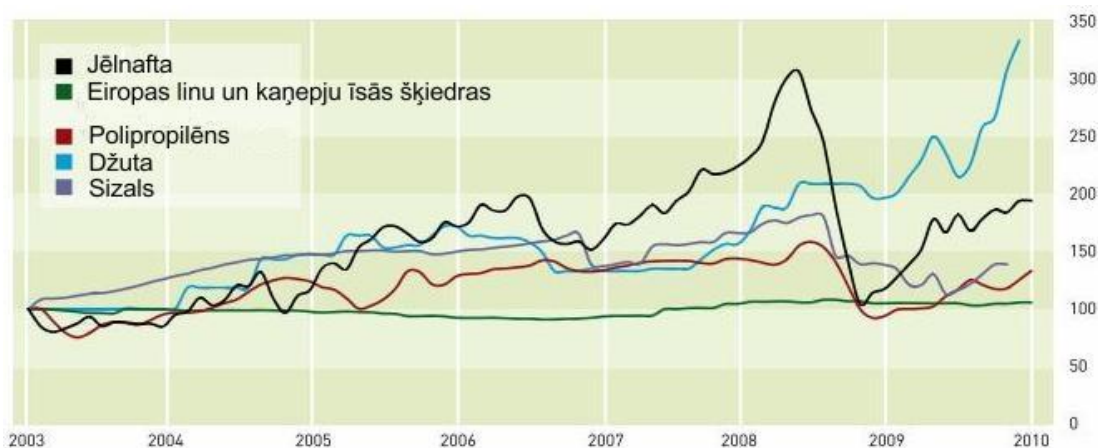


3.83.att. P šķiedru ilgizturības ciklu atbalss virsma līdz 2000 cikliem

B šķiedru kūlīšu vidējā ilgizturība samazinās gan palielinot slodzi, gan amplitūdu, ja ciklu skaits pieaug robežās no 1000 līdz 2000 (3.80. un 3.82. att.). Gan B, gan P šķiedru maksimālā ilgizturība atbilst kombinācijai „minimālā amplitūda + maksimālā slodze” (attiecīgi 1687 un 1546 cikli), nedaudz zemāka (par ~13 %) kombinācijai „minimālā amplitūda + vidējā līmeņa slodze” (attiecīgi 1467 un 1336 cikli). Ļoti straujš P šķiedru vidējās ilgizturības kritums vērojams pie maksimālās amplitūdas un maksimālās slodzes (2.8 reizes), tai pat laikā attiecīgais B šķiedru kūlīšu vidējais ilgizturības ciklu skaits samazinās tikai 1.5 reizes.

3.6. Neausto kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu izmaksas un tirgus cenu salīdzinājums ar izplatītākajiem siltumizolācijas materiāliem

Ikgadējā tendenču pārskatā konstatēts, ka neskatoties uz ekonomiskajām grūtībām, pasaulē lielākajā daļā attīstīto ekonomiku „zaļo” ēku izaugsme 2012. un 2013. gadā turpinājusies. [156; 157] Arvien lielāka patērētāju grupa ir gatava maksāt vairāk par ilgtspējīgiem produktiem. No 3.84.att. līknēm redzams, ka Eiropā linu un kaņepju īso šķiedru cenas saglabājušās ļoti stabilas atšķirībā no naftas un polipropilēna, - vairāk nekā septiņu gadu laikā (no 2003. līdz 2010.) cenu kāpums nav pārsniedzis 10% un tikai nesen, pēc ilga cenu stabilitātes perioda, konstatēts neliels cenu pieaugums. Paredzams, ka nākotnē dabas šķiedru cenas saglabāsies zem 1 eiro/ kg. [81]



3.84.att. Dabisko šķiedru, jēlnaftas un polipropilēna cenu indeksi (pamatojoties uz eiro)⁹

Uz 2012. gadu vidējā kaņepju šķiedras cena, salīdzinot ar 2011. gadu, pieaugusi par 15% un nepārsniedz 450 eiro/t. [158] Savukārt pēc Limbažu rajonā esošās kaņepju šķiedru pirmaspārstrādes rūpnīcas datiem, cena par kādu šķiedras iespējams pārdod jau sasniedz 600 eiro/ kg (2014.gada sākuma dati). Pētījumi liecina, ka palielinot izolācijas biezumu, aug izolācijas izmaksas, savukārt enerģijas izmaksas ievērojami samazinās. [145]

Sadarbībā ar nova-Institut projekta „Dabisko šķiedraugu audzēšanas un pārstrādes iespēju izpēte un klastera izveide” ietvaros veiktā Latvijas kaņepju nozares attīstības iespēju priekšizpēte ļauj prognozēt cenu, ko par kaņepju stiebriņiem varētu saņemt Latvijas audzētāji un tā ir robežās no 60 līdz 100 €/t. [64] Ņemot vērā, ka kaņepju audzēšana šķiedrai ir riskanta, pētījumā ieteikts sākotnēji likt akcentu uz kaņepju sēklu audzēšanu; savukārt šķiedras pārstrādāt kā blakus produktu būvmateriālos un siltināšanas materiālos vai eksportēt uz attiecīgiem tirgiem.

Pagaidām kaņepju šķiedras izolācijas materiāli veido nelielu daļu no visas Eiropas izolācijas materiālu tirgus, tā kā kaņepju izolācijas materiāli ir 2 līdz 4 reizes dārgāki nekā stikla vai akmens vate [82] un 3.11.tab. Industriālo kaņepju produktu potenciālās cenas ir svarīgs faktors. Ņemot vērā pašreizējās rūpnieciskās kaņepju audzēšanas un pārstrādes izmaksas, ir pamats uzskatīt, ka kaņepes var labāk konkurēt augstāku cenu "augstvērtīgu" produktu tirgos nekā plaša patēriņa preču tirgos.

⁹ Avots: nova-Institut 2010, FAO 2012

Visbiežāk izmantotie siltumizolācijas materiāli ir stikla (32%) un akmens vate (28%), seko organiskās putas (putupolistirols 26% un ekstrudētais putupolistirols 5%, poliuretāns 4%), koksnes vate (4%). Tādu materiālu kā korķi izmanto tur, kur nepieciešama augsta spiediena un mitruma izturība. Dabisko šķiedru materiālus - aitas vilnas, kokvilnas, kaņepju, linu šķiedru materiālus pagaidām ražo samērā mazos daudzumos to augsto izmaksu dēļ. [159]

Naftas bāzes materiālu - putupolistirolu, ekstrudēto putupolistirolu, poliuretānu, kā arī minerālvates ražošanai patērē daudz enerģijas, degot tie rada toksiskus dūmus, bez tam minerālvates sasaista ar sveķiem, kas liedz kompostēšanu, taču tās var izmantot kā otrreiz pārstrādātas izejvielas. Lai izvairītos no ādas un elpceļu kairinājuma, to uzstādīšanas laikā jāizmanto aizsargtērpi. Kā antipirēnus lieto borskābes sāļus, tādējādi dzīves cikla beigās produktus nevar apglabāt, nepiesārņojot vidi, tomēr tos var pārstrādāt otrreiz. Pēc antipirēnu iestrādes materiāls ir nekaitīgs, jo tie neiztvaiko. Kokskaidu plātnes ražošanas process patērē vairāk elektroenerģiju, nekā ekovates, linu, kaņepju vai vilnas vates ražošana. Tomēr koksnes šķiedras var iegūt, smalcinot koksnes atlikumus vai izmantojot otrreiz pārstrādātas koksnes šķiedras. Aitas vilnas siltumizolācijas materiālu ražošanai ir mazs enerģijas patēriņš, jo to izgatavo no citu produktu ražošanas pārpalikumiem. Izejvielu vispirms vairākas reizes mazgā, lai atdalītu lanolīnu. Atkarībā no tehnoloģijas, tās var sasaistīt ar vai bez sintētiskām saistvielām. Kā antipirēnu liesmu slāpēšanai pievieno boraku, sodu u.c.

Būvniecībā biežāk izmantoto ēku siltumizolācijas materiālu cenas

Nosaukums	Garums (mm)	Platums (mm)	Biezums (mm)	Cena, (€/m ²)	Siltumvad amība (K·m ² /W)	Blīvums, kg/m ³	Konden- sāts	Tvaikizolā cija	Izejvielu ekoloģija	Degšanas produkti
Steico Canaflex [160]	1200	575	200	33.09	0.040	40	neveidojas	nav vajadzīga	kaņepes, sintētiskas saistvielas	nav toksiski
			160	26.67						
			140	23.78						
			100	16.87						
			50	9.03						
			40	7.29						
Steico flex [87; 151; 160]	1220	575	200	17.87	0.038	50	neveidojas	nav vajadzīga	koksne, sintētiskas saistvielas	nav toksiski
			160	13.42						
			140	12.07						
			100	8.40						
			50	4.84						
			40	4						
Knauf Classic42 minerālvates ruļļi [161]	4700	1200	200	3.62	0.420		veidojas	vajadzīga	fenolsveķi	toksiski
	6200		150	2.70						
	9300		100	1.85						
	2x7500		50	0.93						
Knauf Ekoboard loksnes [161]	1250	600	50	1.14	0.039		veidojas	vajadzīga	fenolsveķi	toksiski
			100	2.28						
ISOVER KL 35 stikla vates plāksne [150]	870	565	50	2.16	0.035	20	veidojas	vajadzīga	fenolsveķi	toksiski
	870	565	100	4.34						
	870	565	150	6.50						
	1170	565	50	2.16						
	1170	565	100	4.34						
	1170	565	150	6.50						

Nosaukums	Garums (mm)	Platums (mm)	Biezums (mm)	Cena, (€/m ²)	Siltumvad amība (K·m ² /W)	Blīvums, kg/m ³	Konden- sāts	Tvaikizolā cija	Izejvielu ekoloģija	Degšanas produkti
Akmens vate Rockwool plāksnēs, Superrock [150]	1000	565	50	1.73	0.035	35	veidojas	vajadzīga	fenolsveķi formaldehīds	toksiski
	1000	565	100	3.47						
	1000	565	150	5.20						
	1000	565	200	6.95						
Akmens vate Rockwool ruļļos (Multirock Roll) [150]	9000	1000	100	2.21	0.045	20	veidojas	vajadzīga	fenolsveķi	toksiski
	6250	1000	150	3.39						
	4750	1000	200	4.51						
Putupolistirols EPS100 [162]	1000	500	50	2.88	0.036	20	veidojas	vajadzīga	putupolistirola granulas	toksiski
			100	5.75						
Ekstrudētais putupolistirols XPS [162; 163]	1180	580	50	5.33	0.030	30-35	veidojas	vajadzīga	polistirols	toksiski
Ekovate [164]	beramā	-	200	8.00	0.038	45	neveidojas	nav vajadzīga	celuloze	grūti uzliesmoj oša
Aitas vilna [165]	6000	570	100	18.33	0.042	14	neveidojas	nav vajadzīga	aitas vilna, sintētiskas saistvielas	nav toksiska
	5000	570	150	25.99+ transp orts no Īrijas						
Korķis [166]	10000	1000	2	1.69	0.038	105	neveidojas	nav vajadzīga	Korķa koka miza	nav toksiska

Piezīmes:

„ - ” īpašība nav norādīta.

Tabulā uzrādītas Latvijas tirgotāju 2014.gada pirmā pusgada cenas (sīkāk skatīt literatūras sarakstā, sekojot atsaucēm uz informācijas avotu).

Ar tekstiltehnoloģijām iegūtu kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu orientējošas izmaksas

Pētījumā izstrādāto termoliedēto un caurdatoto siltumizolācijas materiālu orientējošas izmaksas (EUR/m²) aprēķinātas 50 mm biežam materiālam (blīvums 40 kg/m³) un salīdzinātas ar tirgū pieejamu kaņepju šķiedru bāzes siltumizolācijas materiālu cenām.

Termoliedēšanas tehnoloģija

3.12. tabulā sakopoti termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu aprēķinos lietotie ieejas dati.

3.12.tabula

Ieejas parametri termoliedētu siltumizolācijas materiālu izmaksu aprēķinam

Nosaukums	Parametrs
Gatavā materiāla blīvums, kg/m ³	40
Gatavā materiāla biezums, mm	50
Gatavā materiāla virsmas blīvums, g/m ²	2000
Ražošanas līnijas izlaides ātrums, m/min	1.5
Iekārtas darba platums, m (iekārtu tirgotāja dati) [167]	3
Iekārtas ražības robežas, kg/h [167]	600
Tehnoloģiskās līnijas patērētā jauda, KW [167]	430
Tehnoloģiskās līnijas elektroenerģijas patēriņš, kW/h (50% no jaudas)	215
Iekārtu cena, EUR [167]	265 000
Iekārtu nolietojuma norakstīšanas laiks, gadi	5
Bankas % likme [168]	8
Tiešā darba stundu skaits iekārtu apkalpojošam personālam vienā maiņā, h/ gadā	1710
Šķiedru zudumi apstrādes procesā, % [136]	25
Paredzamais šķiedru iznākums no stiebra, %	25
Paredzamā sauso stiebru raža no ha, tonnas	8

Lai nodrošinātu Latvijā audzētu kaņepju šķiedru pārstrādi siltumizolācijas materiālos, jāizvēlas iekārtas, kas pie pašreizējiem kaņepju audzēšanas un šķiedru ieguves apjomiem gan cenas, gan produktivitātes ziņā nodrošina konkurētspējīgu produktu ražošanu ar iespēju ražošanas apjomus palielināt. Piem., 2012.gadā kaņepes audzētas 600 ha sējplatībā, bet 2013.gadā kaņepāju sējumi aizņēma tikai 200 ha, [169] kas galvenokārt skaidrojams ar nepietiekošu infrastruktūru iegūto kaņepju izejvielu pārstrādei.

Pētījuma ietvaros ar termoliedēšanas tehnoloģiju izstrādāto materiālu izmaksu aprēķins veikts balstoties uz cenu aptaujā izvēlētu lietotu termoliedēšanas ražošanas līniju; tajā

ietilpstošās iekārtas skatīt 3.13.tabulā. Kopējā ražošanas līnijas jauda ir 430 kW, tās novērtētais enerģijas patēriņš 215 kW/h (50% no jaudas). Iekārta ļauj iegūt izolācijas materiālu ar virsmas blīvumu robežās no 500 līdz 4500 g/ m² sasniedzot ražību 600 kg/ h.

3.13.tabula

Termoliedēšanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas

Komplektējošās iekārtas
Bonino ķīpu irdinātājs, platums: 1.5 m
Jaukšanas kamera 3 x 5 x 3 m
Bonino plucināšanas irdināšanas mašīna, platums: 1000 mm
Irdināšanas mašīna, 1000 mm
Slīpais barotājs ar mehāniskiem svāriem
Bonino kāršanas mašīna, 3500 mm ar viencilindra priekškārsēju (2 darba stacijas), diviem kāršanas veltniem - pirmais ar 4 d/s, otrais ar 3 d/s
Tomes šķiedru plīvura kārtotājs, 3500 mm
Tomes vienas kameras termoliedēšanas iekārta ar dubulttransportlentu, dzesēšanas sekciju un kalibrēšanas vienību
Ierīce ar apļveida nažiem blīvu materiālu griešanai
Griešanas un uztīšanas iekārta

Lai atbilstoši tehnoloģiskās līnijas jaudai gadā saražotu 461 700 m² termoliedētos izolācijas materiālus, darbinot iekārtas vienā maiņā, vai 923 400 m² divās maiņās, attiecīgi nepieciešamas 1062 vai 2124 tonnas kaņepju šķiedru gadā (3.14. tab.). Savukārt, lai šo šķiedru daudzumu ievāktu, ar kaņepēm sezonā jāapsēj attiecīgi 531 vai 1062 hektāri. Atbilstoši tirgus pētījumam pārstrādes tehnoloģijai atbilstošas kvalitātes kaņepju šķiedru cena ir 0.60 eiro/kg un bikomponentu PE-PP šķiedru cena 1.38 EUR/kg. Pie šī cenu līmeņa kaņepju šķiedru izmaksas sastāda 1.38 EUR/m², PE-PP izmaksas - 0.34 EUR/m². PE-PP šķiedru patēriņš ir 92 t/gadā (viena maiņa) vai 185 t/gadā (divas maiņas).

3.14.tabula

Termoliedēto siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri un resursu patēriņš

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Gatavā materiāla virsmas blīvums, g/m ²	2000	2000
Tiešā darba stundu skaits apkalpojošam personālam, h/gadā	3420	1710
Iekārtas darba platums, m	3	3
Ražība, g/m	6000	6000
Produkta izlaides ātrums, m/min	1.5	1.5
Ražība, g/min	9000	9000
Ražība, kg/h	540	540

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Ražība, t/h	0.54	0.54
Ražība, t/gadā	923	1847
Šķiedras ar atgājām (25%), t/gadā	1154	2309
PE-PP šķiedru patēriņš, t/gadā	92	185
Kaņepju šķiedru patēriņš, t/gadā	1062	2124
Nepieciešamie stiebi šķiedru iegūšanai, t/gadā	4248	8495
Nepieciešamas sējplatības, ha/gadā	531	1062
Produkta izlaides ātrums, m/h	90	90
Produkta izlaides ātrums, m/gadā	153 900	307 800
Produkta izlaides ātrums, m ² /gadā	461 700	923 400
Šķiedru izmaksas		
Kaņepju šķiedras, EUR/ gadā	637 146	1 274 292
Kaņepju šķiedras, EUR/ m ²	1.38	1.38
PE-PP šķiedras, EUR/ gadā	156 055	312 109
PE-PP šķiedras, EUR/ m ²	0.34	0.34
Kaņepju un PE-PP šķiedras kopā, EUR/gadā	793 201	1 586 401
Kaņepju un PE-PP šķiedras kopā, EUR/m ²	1.7	1.7
Elektroenerģijas izmaksas		
Enerģijas patēriņš, kWh	215	215
Enerģijas patēriņš, kWh/ gadā	367 650	735 300
Enerģijas izmaksas, EUR/ gadā	55 699	111 398
Darbspēka izmaksas		
Alga (700 EUR/mēn. + darba devēja sociālie maksājumi), EUR/gadā, 1 darbinieks	14 868	14 868
Alga (700 EUR/mēn. + darba devēja sociālie maksājumi), EUR/gadā, 4 vai 8 darbinieki	59 472	118 944
Kapitāla izmaksas		
Tehnoloģisko iekārtu iegādes izmaksas, EUR (iegādes izmaksas palielinātas par 15 %, ņemot vērā iekārtu uzstādīšanas, regulēšanas un transporta izmaksas)	304 750	304 750
Pamatsummas atmaksa (5 gados), EUR/gadā	60 950	60 950
Kredītprocenti (bankas likme 8%), EUR/ 1.gadā	24 380	24 380
Kapitāla izmaksas, EUR/ 1.gadā	85 330	85 330
Telpu noma		
Telpu noma (angārs Limbažos, 618 m ² , cena 0.97 eiro/ m ²), EUR/ gadā	7 194	7 194

Rezumējot: 50 mm bieža termoliedēšanas tehnoloģijas kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiāla pilnas izmaksas, ja tehnoloģisko līniju darbina vienā maiņā, ir 2.67 EUR/m² un, ja divās maiņās - 2.37 EUR/ m² (3.15. tab.). Aprēķins rāda, ka strādājot divās maiņās izolācijas

materiāla 1m² izmaksas iespējams samazināt par 11 %. Bez tam, abos gadījumos materiālu izmaksas iespējams samazināt daļu no pārstrādes procesu atgājām atgriežot apstrādē.

3.15.tabula

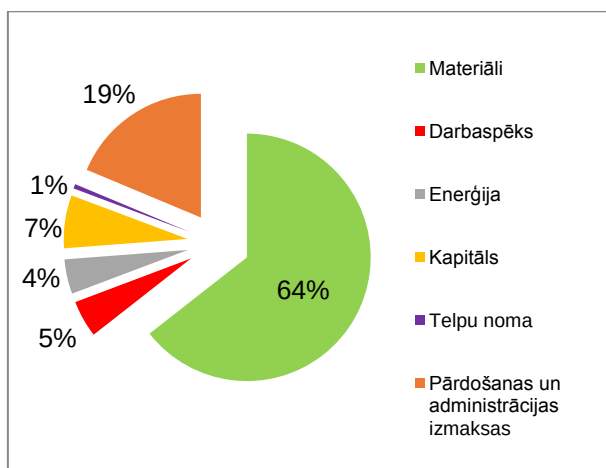
Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Materiāla izmaksas, EUR/ gadā	793201	1586401
Elektroenerģijas izmaksas, EUR/ gadā	55699	111398
Darbaspēka izmaksas, EUR/ gadā [170]	59472	118944
Kapitāla izmaksas, EUR/ gadā	85330	85330
Telpu noma (angārs Limbažos, 618 m ² , cena 0.97 eiro/ m ²), EUR/ gadā	7194	7194
Pārdošanas un administrācijas izmaksas kā % likme no kopējām ražošanas izmaksām, EUR/ gadā	230206	276247*
Pilna pašizmaksa, EUR/ gadā	1231101	2185514
Termoliedēta 50 mm bieža (blīvums 40 kg/m ³) kaņepju šķiedru izolācijas materiāla orientējošas izmaksas, EUR/ m ² **	2.67	2.37

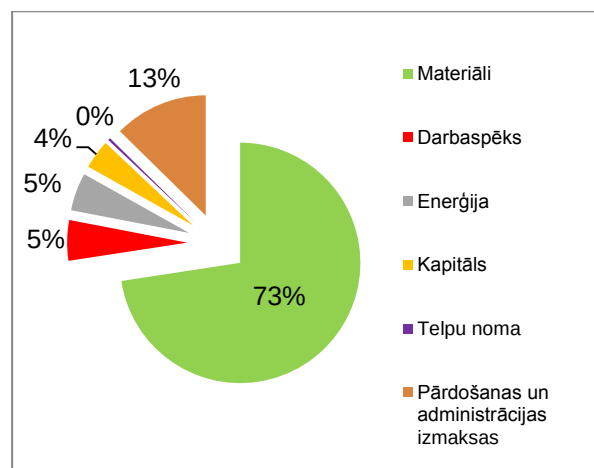
*) Pārdošanas un administrācijas izmaksas palielinās par 20 % intensificējot pārdošanas aktivitātes.

**) Izmaksas var mainīties mainoties šķiedru cenai, iekārtu iegādes izmaksām, elektroenerģijas tarifiem, darba algām, samazinoties/palielinoties citām izmaksām.

Termoliedēto izolācijas materiālu izmaksu sadalījums, strādājot vienā un divās maiņās, grafiski attēlots 3.85.att. un 3.86.att.

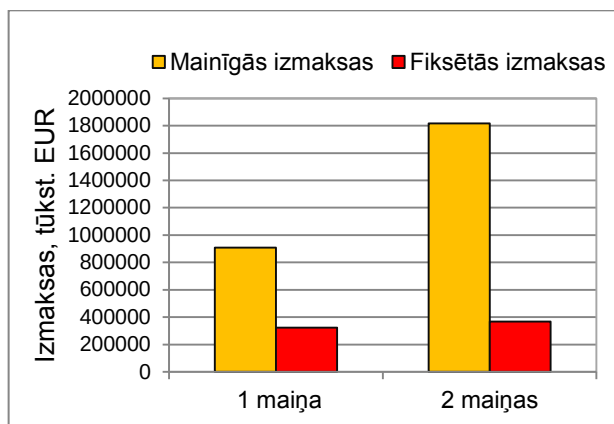


3.85.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 1 maiņa



3.86.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 2 maiņas

No 3.87.att. redzams, ka mainīgās izmaksas sastāda 74 % un fiksētās izmaksas 26%, strādājot vienā maiņā, savukārt strādājot divās maiņās attiecība ir 83:17%.



3.87.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu mainīgās un fiksētās izmaksas

Cauradatošanas tehnoloģija

Tabulā 3.16. sakopoti ieejas dati, kas lietoti cauradatoto izolācijas materiālu izmaksu aprēķinos.

3.16.tabula

Cauradatoto materiālu tehnoloģiskie parametri

Nosaukums	Parametrs
Gatavā materiāla blīvums, kg/m ³ (skat. tab.3.11. <i>Steico Canaflex</i>) [160]	40
Gatavā materiāla biezums, mm (skat. tab.3.11. <i>Steico Canaflex</i>) [160]	50
Gatavā materiāla virsmas blīvums, g/m ²	2000
Ražošanas līnijas izlaides ātrums, m/min	0.5
Iekārtas darba platums, m [167]	2.2
Iekārtas ražības robeža, kg/h [167]	138
Līnijas jauda, kW [167]	40
Līnijas elektroenerģijas patēriņš, kW/h (sastāda 50% no iekārtas jaudas)	20
Tehnoloģiskās līnijas iekārtu cena, EUR [167]	78 000
Iekārtu nolietojuma norakstīšanas laiks, gadi	5
Bankas % likme [168]	8
Tiešā darba stundu skaits iekārtu apkalpojošam personālam vienā maiņā, ja dienā strādā 7.5h, h/ gadā	1710
Šķiedru zudumi apstrādes procesā, % [136]	25
Paredzamais šķiedru iznākums no stiebra, %	25
Paredzamā sauso stiebru raža no ha, tonnas	8

Siltumizolācijas materiālu, kas izgatavoti ar cauradatošanas tehnoloģiju, ražošanas līnijā ietilpstošās iekārtas uzskaitītas 3.17. tabulā. Līnijas sastāvā esošās kāršanas iekārtas pirmais posms aprīkots ar metālisku zāģlentu, otrais posms ar vidēji elastīgu adatlentu. Veltņu tipa

cauradatošanas iekārta ("drum tacker") sastāv no diviem adatu veltniem, kas ļauj izgatavot biežus neaustos materiālus. Kopējā līnijas jauda ir 40 kW un enerģijas patēriņš ir 50% no tās, t.i., 20 kW/h. Līnijas ražība ir 1100 kg/ 8 stundās, iespējamās materiāla virsmas blīvuma robežas no 80 līdz 2500 g/m², maksimālais gala produkta biezums ir 100 mm.

3.17.tabula

Cauradatošanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas

Komplektējošās iekārtas
Befama ķīpu irdinātājs (1970-tie gadi)
Bonino kāršanas mašīna ar piltuves veida šķiedru padevēju, 1984.gads, 2.2 m, iekārta atjaunota 2013.gadā
Spinnbau šķiedru plīvura kārtotājs, 1984.gads, ieejas platums 2.2 m un izejas 2.5m
Asselin veltnu tipa cauradatošanas iekārta, 1981.gads, platums 2.5m

Cauradato siltumizolācijas materiālu izmaksu sadalījumu (šķiedru izmaksas, enerģijas izmaksas, ražošanas līnijas iekārtu izmaksas un nolietojums), ražotnei strādājot vienā vai divas maiņas, skatīt 3.18.tabulā. Aprēķinu rezultātā iegūtais maksimālais kaņepju šķiedru daudzums materiālu ražošanai gadā sastāda 282 tonnas, strādājot 1 maiņā, un 564 tonnas, strādājot divās maiņās. Lai iegūtu šo šķiedru daudzumu, ar kaņepēm sezonā jāapsēj attiecīgi 141 vai 282 hektāri, ja paredzamā sauso stiebru raža no hektāra ir 8 tonnas. Kaņepju šķiedru izejvielai maksājot 0.60 eiro/ kg, kaņepju šķiedru izmaksas sastāda 1.50 EUR/ m². Vienā darba maiņā materiālu ražošanai nepieciešami 4 darbinieki, strādājot 2 maiņās – 8 darbinieki. Darbinieku algu izmaksas skatīt 3.18.tab.

3.18.tabula

Cauradato siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri un resursu patēriņš

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Gatavā materiāla virsmas blīvums, g/m ²	2000	2000
Tiešā darba stundu skaits iekārtu apkalpojošam personālam, h/gadā	1710	3420
Iekārtas darba platums, m	2.2	2.2
Ražība, g/m	4400	4400
Produkta izlaides ātrums, m/min	0.5	0.5
Ražība, g/min	2200	2200
Ražība, kg/h	132	132
Ražība, t/h	0.13	0.13
Ražība, t/gadā	226	451
Kaņepju šķiedras ar atgājām (25%), t/gadā	282	564

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Stiepri, t/gadā	1129	2257
Nepieciešamā kaņepju audzēšanas platība, ha/gadā	141	282
Produkta izlaides ātrums, m/h	30	30
Produkta izlaides ātrums, m/gadā	51 300	102 600
Produkta izlaides ātrums, m ² /gadā	112 860	225 720
Šķiedru izmaksas		
Kaņepju šķiedras, EUR/ gadā	169 290	338 580
Kaņepju šķiedras, EUR/ m ²	1.5	1.5
Enerģijas izmaksas		
Enerģijas patēriņš, kWh	20	40
Enerģijas patēriņš, kWh/ gadā	34200	68400
Enerģijas izmaksas, EUR/ gadā	5181	10 363
Darbspēka izmaksas		
Alga (700 EUR/mēn. + darba devēja sociālie maksājumi), EUR/gadā, 1 darbinieks	14 868	14 868
Alga (700 EUR/mēn. + darba devēja sociālie maksājumi), EUR/gadā, 4 vai 8 darbinieki	59 472	118 944
Ražošanas līnijas iekārtu izmaksas un nolietojums		
Tehnoloģisko iekārtu iegādes izmaksas, EUR (iegādes izmaksas palielinātas par 15 %, ņemot vērā iekārtu uzstādīšanas un regulēšanas, kā arī transporta izmaksas)	89 700	89 700
Pamatsummas atmaksa (5 gados), EUR/gadā	17940	17940
Pamatsummas atmaksa (bankas likme 8%), EUR/ 1.gadā	7176	7176
Kapitāla izmaksas, EUR/ 1.gadā	25 116	25 116

Siltumizolācijas materiālu, kas izgatavoti ar cauradatošanas tehnoloģiju, pašizmaksas aprēķina datus skatīt 3.19.att. Cauradatota 50 mm bieza ar blīvumu 40 kg/m³ kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiāla, kas paredzēts ēku sienu, griestu, pārsegumu siltināšanai, orientējošas izmaksas, strādājot vienā maiņā ir 2.90 EUR/ m², un strādājot divās maiņās ir 2.54 EUR/ m².

3.19.tabula

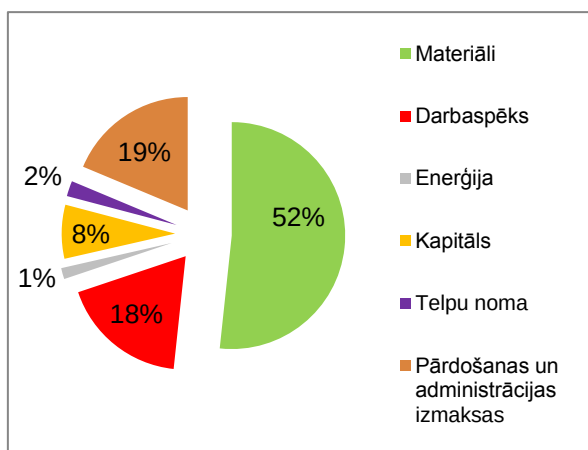
Cauradatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Materiāla izmaksas, EUR/ gadā	169 290	338 580
Elektro enerģijas izmaksas, EUR/ gadā	5181	10 363
Darbspēka izmaksas, EUR/ gadā [170]	59 472	118 944
Kapitāla izmaksas, EUR/ gadā	25 116	25 116
Telpu noma (angārs Limbažos, 618 m ² , cena 0.97 eiro/ m ²), EUR/ gadā	7194	7194
Pārdošanas un administrācijas izmaksas kā % likme no kopējām ražošanas izmaksām (23%), EUR/ gadā	61 238	73 486*
Pilna pašizmaksa, EUR/ gadā	327 491	573 682
Caurdatota 50 mm bieža (blīvums 40 kg/m ³) kaņepju šķiedru izolācijas materiāla orientējošas izmaksas, EUR/ m ² **	2.90	2.54

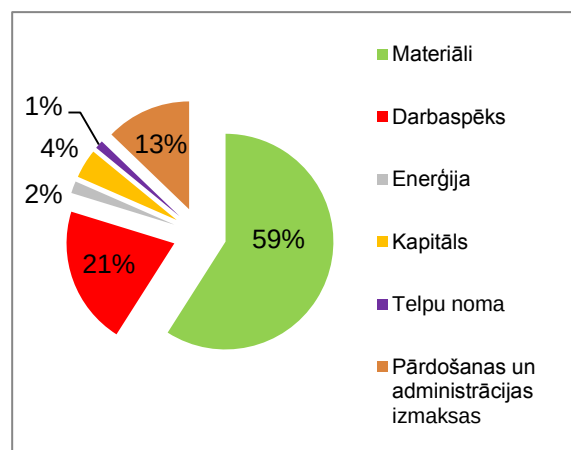
*) Pārdošanas un administrācijas izmaksas palielinās par 20 % intensificējot pārdošanas aktivitātes.

**) Izmaksas var mainīties mainoties šķiedru cenai, iekārtu iegādes izmaksām, elektroenerģijas tarifiem, darba algām, samazinoties/palielinoties citām izmaksām.

Caurdatoto izolācijas materiālu izmaksu sadalījums, strādājot vienā un divās maiņās, grafiski attēlots 3.88.att. un 3.89.att.

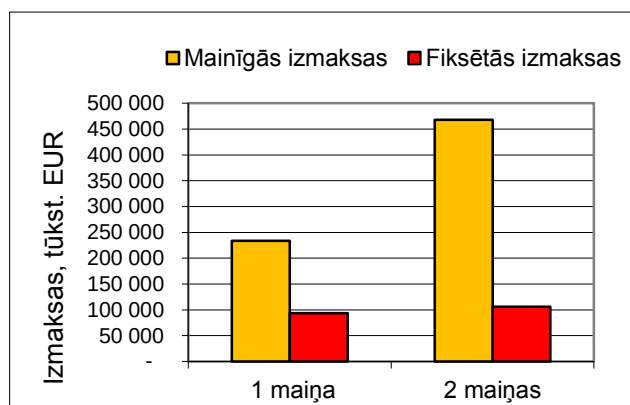


3.88.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 1 maiņa



3.89.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 2 maiņas

No 3.90.att. redzams, ka mainīgās izmaksas sastāda 71% un fiksētās izmaksas 29%, strādājot vienā maiņā, savukārt strādājot divās maiņās attiecība ir 82% : 18%.



3.90.att. Cauradatoto siltumizolācijas materiālu mainīgās un fiksētās izmaksas

Caurstrūklošanas tehnoloģija

Tabulā 3.20. sakopoti ieejas dati, kas lietoti caurstrūkloto izolācijas materiālu izmaksu aprēķinos.

3.20.tabula

Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri

Nosaukums	Parametrs
Gatavā materiāla blīvums, kg/m^3	60
Gatavā materiāla biezums, mm	3
Gatavā materiāla virsmas blīvums, g/m^2	180
Ražošanas līnijas izlaides ātrums, m/min	30
Iekārtas darba platums, m	3.2
Iekārtas ražības robeža, kg/h	1037
Līnijas jauda, kW	800
Līnijas elektroenerģijas patēriņš, kW/h (sastāda 50% no iekārtas jaudas)	400
Iekārtu līnijas cena, EUR	10000000
Iekārtu nolietojuma norakstīšanas laiks, gadi	10
Bankas % likme [168]	8
Tiešā darba stundu skaits iekārtu apkalpojošam personālam vienā maiņā, ja dienā no 8h strādā 7.5h, h/ gadā	1710
Šķiedru zudumi apstrādes procesā, % [136]	25
Paredzamais šķiedru iznākums no stiebra, %	25
Paredzamā sauso stiebru raža no ha, tonnas	8

Caurstrūklošanas tehnoloģijas līnijā ietilpstošās iekārtas uzskaitītas 3.21. tabulā. Kopējā līnijas jauda ir 800 kW un enerģijas patēriņš ir 50% no tās, t.i., 400 kW/h. Līnijas ražība ir max. 1037 kg/h, materiāla virsmas blīvuma robežas ko ar šo iekārtu var pārstrādāt ir no 30-200 g/m^2 .

3.21.tabula

Caurstrūklošanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas

Iekārtas nosaukums
<i>Changzhou Wujin nonwoven Mechanical Equipment Co</i> Ķīpu irdinātājs
<i>Changzhou Wujin nonwoven Mechanical Equipment Co</i> Kāršanas mašīna, platums 3.2 m
<i>Changzhou Wujin nonwoven Mechanical Equipment Co</i> Šķiedru plīvura kārtotājs, platums 3.2 m
<i>Changzhou Wujin nonwoven Mechanical Equipment Co</i> Caurstrūklošanas iekārta, platums 3.2 m
<i>Changzhou Wujin nonwoven Mechanical Equipment Co</i> Žāvēšanas kamera, platums 3.2 m
<i>Changzhou Wujin nonwoven Mechanical Equipment Co</i> Griezējs un uztinējs

Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu izmaksu sadalījumu (šķiedru izmaksas, enerģijas izmaksas, ražošanas līnijas iekārtu izmaksas un nolietojums), ražotnei strādājot vienā vai divās maiņās parādīts 3.22.tabulā. Aprēķinu rezultātā iegūtais maksimālais kaņepju šķiedru daudzums materiālu ražošanai gadā sastāda 2216 tonnas, strādājot 1 maiņā, un 4432 tonnas, strādājot divās maiņās. Lai iegūtu šo šķiedru daudzumu, ar kaņepēm sezonā jāapsēj attiecīgi 1108 vai 2216 hektāri, ja paredzamā sauso stiebru raža no hektāra ir 8 tonnas. Kaņepju šķiedru izejvielai maksājot 0.60 eiro/ kg, kaņepju šķiedru izmaksas sastāda 0.14 EUR/ m². Vienā darba maiņā materiālu ražošanai nepieciešami 4 darbinieki, strādājot 2 maiņās – 8 darbinieki.

3.22.tabula

Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu tehnoloģiskie parametri un resursu patēriņš

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Gatavā materiāla virsmas blīvums, g/m ²	180	180
Tiešā darba stundu skaits iekārtu apkalpojošam personālam, h/gadā	1710	3420
Iekārtas darba platums, m	3.2	3.2
Ražība, g/m	576	576
Produkta izlaides ātrums, m/min	30	30
Ražība, g/min	17280	17280
Ražība, kg/h	1037	1037
Ražība, t/h	1.04	1.04
Ražība, t/gadā	1773	3546
Kaņepju šķiedras ar atgājām (25%), t/gadā	2216	4432
Stieбри, t/gadā	8865	17729
Nepieciešamā kaņepju audzēšanas platība, ha/gadā	1108	2216

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Produkta izlaides ātrums, m/h	1800	1800
Produkta izlaides ātrums, m/gadā	3078000	6156000
Produkta izlaides ātrums, m ² /gadā	9849600	19699200
Kaņepju šķiedras, EUR/ gadā	1 329 696	2 659 392
Kaņepju šķiedras, EUR/ m ²	0.14	0.14
<i>Enerģijas izmaksas</i>		
Enerģijas patēriņš, kWh	400	800
Enerģijas patēriņš, kWh/ gadā	684 000	1368000
Enerģijas izmaksas, EUR/ gadā	103626	207252
<i>Darbspēka izmaksas</i>		
Alga (700 EUR/mēn. + darba devēja sociālie maksājumi), EUR/gadā, 1 darbinieks	14 868	14 868
Alga (700 EUR/mēn. + darba devēja sociālie maksājumi), EUR/gadā, 4 vai 8 darbinieki	59 472	118 944
<i>Ražošanas līnijas iekārtu izmaksas un nolietojums</i>		
Tehnoloģisko iekārtu iegādes izmaksas, EUR (iegādes izmaksas palielinātas par 15 %, ņemot vērā iekārtu uzstādīšanas un regulēšanas, kā arī transporta izmaksas)	11 500 000	11 500 000
Pamatsummas atmaksa (10 gados), EUR/gadā	1 150 000	1 150 000
Pamatsummas atmaksa (bankas likme 8%), EUR/ 1.gadā	920 000	920 000
Kapitāla izmaksas, EUR/ 1.gadā	2 070 000	2 070 000

Neaustie materiāli, kas izgatavoti ar caurstrūklošanas tehnoloģiju, paredzēti lietošanai kā siltumizolācijas materiāli zem grīdām, sienās, paneļos utml. Orientējoša pašizmaksa 3 mm biežam un 60 kg/m³ blīvam materiālam, uzņēmumam strādājot vienā maiņā, ir 0.45 EUR/ m², un strādājot divās maiņās ir 0.31 EUR/ m².

3.23.tabula

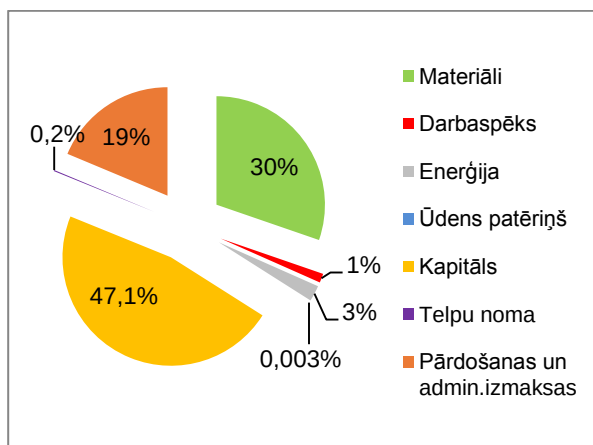
Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu pašizmaksas aprēķins

Nosaukums	1 maiņa	2 maiņas
Materiāla izmaksas, EUR/ gadā	1 329 696	2659392
Elektro enerģijas izmaksas, EUR/ gadā	103 626	207252
Darbaspēka izmaksas, EUR/ gadā [170]	59 472	118944
Kapitāla izmaksas, EUR/ gadā	2 070 000	2 070 000
Telpu noma (angārs Limbažos, 618 m ² , cena 0.97 eiro/ m ²), EUR/ gadā	7 194	7 194
Ūdens patēriņa izmaksas, EUR/ gadā	139	277
Pārdošanas un administrācijas izmaksas kā % likme no kopējām ražošanas izmaksām (23%), EUR/ gadā	821 129	985355*
Pilna pašizmaksa, EUR/ gadā	4 391 255	6 048 414
Caurstrūklota 3 mm bieža (blīvums 60 kg/m ³) kaņepju šķiedru izolācijas materiāla orientējošas izmaksas, EUR/ m ² **	0.45	0.31

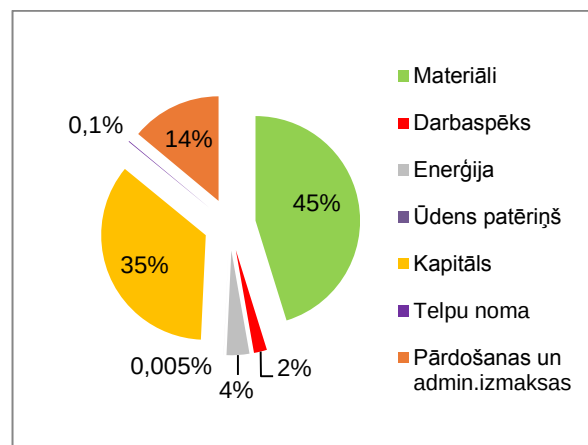
*) Pārdošanas un administrācijas izmaksas palielinās par 20 % intensificējot pārdošanas aktivitātes.

**) Izmaksas var mainīties mainoties šķiedru cenai, iekārtu iegādes izmaksām, elektroenerģijas tarifiem, darba algām, samazinoties/palielinoties citām izmaksām.

Caurstrūkloto izolācijas materiālu izmaksu sadalījums, strādājot vienā un divās maiņās, grafiski attēlots 3.91.att. un 3.92.att.

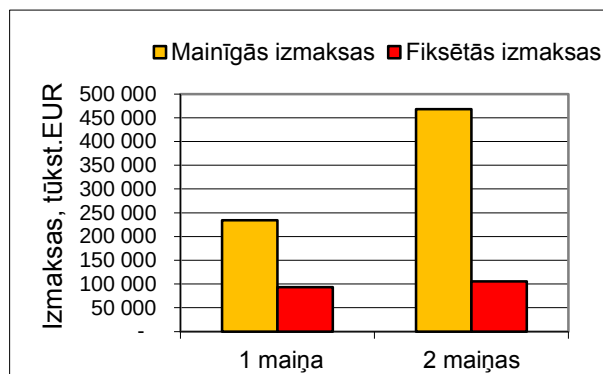


3.91.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 1 maiņa



3.92.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 2 maiņas

No 3.93.att. redzams, ka mainīgās izmaksas sastāda 34% un fiksētās izmaksas 66%, strādājot vienā maiņā, savukārt strādājot divās maiņās attiecība ir 51% : 49%.



3.93.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu mainīgās un fiksētās izmaksas

Salīdzinot pētījumā izstrādāto izolācijas materiālu pašizmaksas, termoliedētajiem materiāliem tā variē robežās no 2.37 līdz 2.67 EUR/ m² atkarībā no darba maiņu skaita (1 vai 2), cauradatotajiem no 2.54 līdz 2.90 EUR/ m², pie 50 mm materiāla biezuma, 40 kg/m³ blīvuma un 2000 g/m² virsmas blīvuma. Jāņem vērā, ka termoliedēto materiālu sastāvā ir PE-PP saistšķiedras, kas ir 2.8 reizes dārgākas nekā kaņepju šķiedras, kā arī šī tehnoloģija paredz aptuveni 10 reizes lielāku elektroenerģijas patēriņu (215 kW/h), kas nepieciešams sintētisko šķiedru uzkaršēšanai līdz kušanas temperatūrai, salīdzinot ar cauradatošanas līnijas enerģijas patēriņu (20 kW/h). Tomēr aprēķinos izmantotā termoliedēšanas iekārtu līnija ir 4 reizes ražīgāka nekā cauradatošanas līnija, rezultātā pašizmaksa ir zemāka. Savukārt siltumizolācijas materiāliem, kas izgatavoti ar caurstrūklošanas tehnoloģiju, pašizmaksa strādājot 1 maiņā ir 0.45 un divās maiņās 0.31 EUR/ m². Šis materiāls, salīdzinot ar iepriekšminētajiem, ir daudz plānāks (ap 3 mm) un tādējādi gala produkta izmaksas ir ievērojami zemākas. Tomēr līnija patērē ļoti daudz enerģijas (400 kW/h), jo šķiedru sasaiste notiek zem augsta spiediena (100 bar) un nepieciešama arī papildus žāvēšana, kā arī pašas līnijas izmaksas ir daudz augstākas. Pie tam, lai pašizmaksu nepalielinātu, nepieciešamā līnijas ražība ir 1037 kg/h. Lai to nodrošinātu ar kaņepēm jāapsēj 1108 ha/gadā, strādājot vienā maiņā vai 2216 ha/gadā, strādājot 2 maiņās. Termoliedēto neausto materiālu izgatavošanai, strādājot vienā maiņā nepieciešams apsēt 531 ha zemes, bet cauradatošanas līnijas darbībai vajadzētu apsēt vien 141 ha zemes. No tā var secināt, ka šobrīd vispiemērotākā tehnoloģija Latvijas apstākļiem būtu cauradatošanas, jo nodrošinātu iekārtu ar pietiekamu šķiedru daudzumu pie patreizējiem kaņepju audzēšanas apjomiem. Ne mazāk svarīgi ir viszemākie sākuma kapitāla ieguldījumi, iespēju ražot tērējot ievērojami mazāk elektroenerģijas, kā arī neizmantojot sintētiskās šķiedras. Kā redzams 3.11.tab. firmas “Steico” kaņepju šķiedru un sintētisko saistvielu

siltumizolācijas materiālu “Canaflex” (biezums 50 mm, blīvums 40 kg/m³, siltumvadāmība 0.040 K·m²/W) Latvijas tirgū iespējams nopirkt par 9.03 EUR/ m².

Kopsavilkums

- Eksperimentu gaitā izgatavoti siltumizolācijas materiālu paraugi no kaņepju šķirņu Pūriņi (P) un Bialobrzeskie (B) šķiedrām ar termoliedēšanas (T), cauradatošanas (N) un caurstrūklošanas (H) tekstiltehnoloģiju. Katras tehnoloģijas ietvaros izgatavotas trīs (caurstrūklošanas – 4) dažāda biezuma paraugu grupas un novērtētas to ēku siltumizolācijas lietojumos svarīgākās īpašības, analizēta tehnoloģiju ietekme uz iegūto materiālu īpašībām, kā arī veikta ekspluatācijas īpašību un izmaksu salīdzinoša analīze.
- Eksperimenta ietvaros pētītas kaņepju šķirņu Pūriņi (P) un Bialobrzeskie (B) šķiedru puscikla un daudzciklu mehāniskās īpašības, salīdzinot šķiedru stiprības rādītājus un šķiedru izturības ciklu skaitu daudzkārtējā stiepē.
- **Termoliedēto** siltumizolācijas materiālu biezumam, robežās no 10 - 40 mm, atbilstošais P šķiedru materiālu blīvums ir par 4 līdz 5 kg/m³ mazāks, ūdens tvaiku caurlaidība par 7 līdz 8 % mazāka, un vidējie poru izmēri par 15 % zemāki nekā B šķiedru materiāliem. Eksperimenta ietvaros P šķirnes šķiedru materiālu siltumvadāmība variē diapazonā no 0.031 līdz 0.036 W/(m·K) (25.7 līdz 41.7 kg/m³) un no 0.029 līdz 0.031 W/(m·K) B šķirnes šķiedru materiāliem (29.6 līdz 43.8 kg/m³), P šķirnes paraugi aizdegas par 56% ātrāk, izdala par 26% lielāku siltuma daudzumu un uzrāda par 28% mazāku maksimālo degšanas jaudu nekā B šķiedru paraugi.
- **Cauradatoto** siltumizolācijas materiālu biezumam, robežās no 6.5 līdz 32.7 mm, atbilstošais B šķiedru materiālu blīvums ir vidēji par 4.5 % mazāks un ūdens tvaiku caurlaidība ir 1.3 reizes zemāka nekā P šķiedru materiāliem. B šķiedru materiālu siltumvadāmība variē robežās no 0.028 līdz 0.033 W/(m·K) un no 0.028 līdz 0.040 W/(m·K) P šķiedru materiāliem. P šķiedru paraugu aizdegšanās laiks ir par 50 % mazāks, bet par 17% mazāk siltumu degot izdala B šķiedru materiāli.
- **Caurstrūkloto** P šķirnes šķiedru materiālu vidējais blīvums ir par 35% un vidējā ūdens tvaiku caurlaidība par 5% lielāka, vidējie poru izmēri par 28% mazāki un vidējā porainība par 1.9 % zemāka nekā B šķiedru materiālu attiecīgie rādītāji. P šķiedru materiālu gaisa caurlaidība ir par 20% mazāka, vidējā siltumvadāmība par 6% zemāka nekā B šķiedru paraugiem; savukārt B šķiedru paraugi aizdegas par 32% lēnāk, degot izdala par 10% mazāk siltuma un sasniedz par 11% lielāku maksimālo degšanas jaudu nekā P paraugi.

- Caurstrūkloto materiālu vidējā ūdens tvaiku caurlaidība ir augstāka, poru izmēri, porainība un siltumpretestība zemāka nekā attiecīgie termoliedēto un cauradato materiālu rādītāji. Siltumvadāmība visa eksperimenta ietvaros variē no 0.028 līdz 0.040 W/(m·K), kas ir līdzvērtīga tādiem celtniecībā lietojamiem siltumizolācijas materiāliem, kā minerālvate (0.030 līdz 0.045 W/(m·K)). Termoliedētie materiāli aizdegas visātrāk, caurstrūklotie vislēnāk.
- Visu trīs tehnoloģiju B šķirnes šķiedru paraugi uzrāda mazāku kopējo izdalīto siltumu, tai pat laikā to maksimālā degšanas jauda ir augstāka nekā P šķirnes paraugiem, kas veicinās straujāku ugunsgrēka izplatību.
- Variējot kaņepju šķiedru kūlīša iespīlēšanas garumu robežās no 3 līdz 15 mm konstatēts, ka lielākās pārraušanas slodzes vērtības atbilst iespīlēšanas garumam 3 mm, jo šīs iespīlēšanas attālums atspoguļo elementāršķiedru summāro pretestību pārraušanai. Palielinot iespīlēšanas garumu tiek mērīta garāko elementāršķiedru pārraušanas pretestība un īso šķiedru pretestība izvilkšanai no kompleksa, līdz ar to konstatētā pārraušanas slodze ir zemāka.
- Izturības ciklu skaitu daudzciklu stiepē galvenokārt ietekmē amplitūda, pie tam vairāk reaģē Pūriņu šķiedras: palielinot amplitūdu no 0.2 līdz 0.3 mm, B šķiedru kūlīšu vidējais izturības ciklu skaits samazinās par 19%, bet P - par 31%.
- Iespējamo izmaksu analīze rāda, ka iegādājoties lietotas tehnoloģiskās līnijas 50 mm bieza kaņepju šķiedru izolācijas materiāla (blīvums 40 kg/m³, virsmas blīvums 2000 g/m²) pilnas izmaksas ir:
 - 1) termoliedēšanas procesā 2.67 EUR/m² (viena maiņa) vai 2.37 EUR/m² (divas maiņas);
 - 2) cauradatošanas procesā 2.90 EUR/m² (viena maiņa) vai 2.54 EUR/m² (divas maiņas).
 Neskatoties uz to, ka termoliedēto materiālu izmaksas palielina sastāvā ietipstošās PE-PP saistšķiedras un 10 reizes lielāks elektroenerģijas patēriņš, aprēķinā izmantotā termoliedēšanas tehnoloģiskā līnija ir 4 reizes ražīgāka nekā cauradatošanas līnija, rezultātā termoliedēto materiālu pašizmaksa ir zemāka.
- Caurstrūklošanas tehnoloģiskās līnijas iegādes izmaksas ir ļoti augstas, jo tā ir jauna un komplicēta tehnoloģija, lietotas iekārtas nav pieejamas; arī elektroenerģijas patēriņš ir stipri lielāks. Neskatoties uz tās augstajām kapitāla izmaksām un lielu energoietilpību, ko kompensē iekārtu produktivitāte, caurstrūklošanas tehnoloģiskā līnija ļauj iegūt 3 mm biezu izolācijas materiālu ar blīvumu 60 kg/m³ un virsmas blīvumu 180 g/m² nepārsniedzot 0.45 EUR/m² (viena maiņa) vai 0.31 EUR/m² (divas maiņas).

SECINĀJUMI

- Pirmo reizi veikti kompleksi pētījumi, analizējot Latvijā audzētu kaņepju šķiedru (šķirnes Pūriņi, Bialobrzeskie) un neausto materiālu tekstiltehnoloģiju (termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas) piemērotību izolācijas materiālu izgatavošanai un to ietekmi uz siltumizolācijas materiālu īpašībām.
- Izstrādāti neausto siltumizolācijas materiālu prototipi, pētītas to īpašības un veiktas īpašību salīdzinošas analīzes, kas sekmē kaņepju šķiedru izmantošanas un neausto materiālu nozares attīstību Latvijas tautsaimniecības un ekoloģijas problēmu risinājumu meklējumu kontekstā gan Latvijā, gan arī citās ES valstīs.
- Analīzes rezultātā noskaidrots, ka neausto materiālu tekstiltehnoloģijas ļauj izgatavot neaustos materiālus no Latvijas klimatiskajos apstākļos audzētu kaņepju šķiedrām ēku siltumizolācijas lietojumiem, kas ir konkurētspējīgi ar līdzīgu, uz dabīgo materiālu bāzes izgatavotu, tirgū pieejamu materiālu siltumtehnikajām īpašībām.
- Pētījums ir nozīmīgs solis kaņepju šķirņu, to augšanas apstākļu un gala produkta (siltumizolācijas materiāls) īpašību saiknes veidošanā.
- Darbā pierādīts, ka, lai arī Latvijā selekcionēts kaņepju genotips Pūriņi ir izteikta sēklu šķirne, tomēr šķiedras to atbilstošo īpašību dēļ kā blakusprodukts izmantojams ēku siltumizolācijas materiālu ražošanā, kas ļauj uzlabot uzņēmējdarbības rentabilitāti. To var attīstīt kā Latvijas klimata īpatnībām un veģetācijas perioda garumam atbilstošu jauktu - sēklu/ šķiedru rūpniecisku šķirni.
- Veiktie siltumizolācijas materiālu ekonomisko aprēķinu rezultāti liecina, ka patlaban Latvijas tautsaimniecībai izmaksu ziņā vairāk piemērota ir cauradatošanas tekstiltehnoloģija, jo tā patērē mazāk elektroenerģiju, nav vajadzīgas sistētiskās saistšķiedras, pie patreizējiem kaņepju audzēšanas apjomiem Latvijā ir nodrošināta ar pietiekamu šķiedru daudzumu; iegūto kaņepju šķiedru izolācijas materiālu izmaksas ļauj noteikt konkurētspējīgu cenu salīdzinājumā ar tirgū pieejamu augu izcelsmes un kokšķiedru šķiedru materiālu cenām.
- Pētījuma rezultāti ir noderīgs materiāls kaņepju šķiedru neausto materiālu ražošanas uzsācējiem viņu praktiskajā darbā, var tikt izmantoti arī profesionālās izglītības sistēmā. Rezultāti jau izraisījuši uzņēmēju interesi, kas plāno esošo kaņepju pirmapstrādes līniju

papildināt ar tehnisko tekstīliju ražošanas līniju. Tādējādi uzņēmumā saražotās šķiedras varēs realizēt produktā ar pievienotu vērtību izgatavošanā.

- Pētījumus iespējams attīstīt, meklējot piemērotākas blīvuma, biezuma, siltumvadāmības attiecības, variējot saistvielu daudzumu, meklējot ekoloģiskas un ekonomiski izdevīgas saistvielu alternatīvas, integrējot tehnoloģijās apstrādes ugunsdrošības uzlabošanai.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. **Engelhardt, Andreas W.** The Fiber Year 2013 World Survey on Textiles & Nonwovens. http://www.php-fibers.com/fileadmin/Website_Inhalt/Dokumente/FY2013_PHP_Homepage.pdf. [Online] April 2013. [Cited: January 7, 2013.]
2. **Global Industry Analysts, Inc.** Textiles: A Global Outlook. http://www.prweb.com/releases/textiles_fiber/natural_synthetic_cotton/prweb9101673.htm. [Online] January 13, 2012. [Cited: January 7, 2013.]
3. **Rupp, J.** Man- Made Fibers: New Attitude. http://www.textileworld.com/Articles/2008/December_2008/FW/Man-Made_Fibersx_New_Attitude.html. [Online] Novembris/ Decembris 2008. [Cited: January 8, 2013.]
4. **The Textile Magazine.** World fibre production grows to 82 million tonnes in 2012. <http://www.indiantextilemagazine.in/fibre/world-fibre-production-grows-to-82-million-tonnes-in-2012/>. [Online] June 1, 2013. [Cited: July 18, 2013.]
5. **Juliane Haufe, Michael Carus.** *Hemp Fibres for Green Products – An assessment of life cycle studies on hemp fibre applications*. Hürth : nova-Institute GmbH, 2011.
6. **SERI, Monika Dittrich, the Wuppertal Institute and the Austrian Ministry for the Environment.** Global resource extraction by material category 1980-2008. <http://www.materialflows.net/trends/analyses-1980-2008/global-resource-extraction-by-material-category-1980-2008/>. [Online] 2011. [Cited: July 3, 2013.]
7. **McKinsey&Company.** *Towards the circular economy*. Cowes : The Ellen MacArthur Foundation, 2013.
8. **European Commission.** The Roadmap to a Resource Efficient Europe. http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/roadmap/index_en.htm. [Online] 2011.
9. **European Commission.** Online Resource Efficiency Platform (OREP). http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/index_en.htm. [Online] 2011. [Cited: July 19, 2013.]
10. **EUR-Lex.** Ceļvedis par resursu efektīvu izmantošanu Eiropā. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:LV:HTML>. [Online] 2013.
11. **EDANA.** How they're made. <http://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they're-made>. [Online] EDANA, the international association for the nonwovens, 2013. [Cited: February 12, 2013.]
12. **Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komiteja.** Atzinums par tematu Tehniskie audumi kā izaugsmes virzītājspēks. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2013:198:0014:0025:LV:PDF>. [Online] 17 aprīlis 2013.

13. **Eiropas Parlaments un Padome.** Eiropas parlamenta un padomes direktīva 2010/31/ES (2010. gada 19. maijs) par ēku energoefektivitāti. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:LV:PDF>. [Online] 19 maijs 2010.
14. **Noviks, Juris.** *Būvdarbi IV*. Rīga : SIA "Jāņa Rozes apgāds" , 2002. ISBN 9984-9545-2-8.
15. **Ministru kabineta rīkojums Nr.571.** Par Enerģētikas attīstības pamatnostādņem 2007.–2016.gadam. <http://likumi.lv/doc.php?id=141070>. [Online] 1 augusts 2006.
16. **Eiropas Parlaments un Padome.** Lēmums Nr. 406/2009/EK (2009. gada 23. aprīlis) par dalībvalstu pasākumiem siltumnīcas efektu izraisošu gāzu emisiju samazināšanai, lai izpildītu Kopienas saistības siltumnīcas efektu izraisošu gāzu emisiju samazināšanas jomā. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:LV:PDF>. [Online] 5 jūnijs 2009. [Cited: 25 marts 2012.]
17. **Eiropas Parlaments.** Energoefektivitātes rīcības plāns — potenciāla izmantošana. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2009:068E:0018:0025:LV:PDF>. [Online] 21 marts 2009.
18. **Ministru kabineta noteikumi Nr.720.** Grozījumi Ministru kabineta 2010.gada 28.septembra noteikumos Nr.907 "Dzīvojamās mājas, tajā esošo iekārtu un komunikāciju apsekošanas, tehniskās apkopes un kārtējā remonta noteikumi". <http://likumi.lv/doc.php?id=236851>. [Online] 20 septembris 2011.
19. *Measurements of thermal properties of insulation materials by using transient plane source technique.* **Al-Ajlan, S.A.** 17-18, Riyadh : Applied Thermal Engineering, 2006, Vol. 26, pp. 2184-2191. Available from: doi:10.1016/j.applthermaleng.2006.04.006. ISSN: 1359-4311.
20. *Variations of thermal conductivity of insulation materials under different operating temperatures impact on envelope induced cooling load.* **Budaiwi, I.M., Abdou, A.A., Al-Homoud, M.S.** s.l. : Journal of Architectural Engineering, 2002, Vol. 8, pp. 125 - 132. Available from: doi:10.1061/(ASCE)1076-0431(2002)8:4(125). ISSN: 1943-5568.
21. *The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content.* **Abdou, A., Budaiwi, I.** s.l. : Construction and Building Materials, 2013, Vol. 43, pp. 533– 544. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.058>. ISSN: 09500618.
22. *A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications.* **Kaynakli, O.** s.l. : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, Vol. 16, pp. 415- 425. Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.006>. ISSN: 13640321.
23. *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials.* **Al-Homoud, M.S.** 2005, Building and Environment, Vol. 40, pp. 353-366. Available from: doi: 10.1016/j.buildenv.2004.05.013. ISSN: 03601323.

24. *Designing Nonwovens to Meet Pore Size Specifications*. **Simmonds, G. E., Bomberger, J.D., Bryner, M.A.** 2007, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol. 2, pp. 1-15. Available from: <http://www.jeffjournal.org/papers/Volume2/Simmonds.pdf>. ISSN:1558-9250.
25. *Structure-Property Relationships of Needle-Punched Nonwoven Fabric*. **Maity, S., Singha, K.** 2012, Frontiers in Science, Vol. 2, pp. 226-234. Available from: doi:10.5923/j.fs.20120206.16. ISSN: 2166-6113.
26. *Factors Affecting Thermal Comfort of Nonwoven*. **Ladgaonkar, H., Mhetre, S.B.** 2012, International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 3, pp. 3- 6. Available from: <http://www.ijser.org/researchpaper%5CFactors-Affecting-Thermal-Comfort-of-Nonwoven.pdf>. ISSN 2229-5518.
27. **Slater, K.** *Comfort Properties of Textiles*. 1. Manchester : s.n., 1977. pp. Slater, K.
28. *Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers*. **Stanković, S.B., Popović, D., Poparić, G.B.** 2008, Polymer Testing, Vol. 27, pp. 41-48. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.08.003>. ISSN: 0142-9418.
29. *A simple simulation method for designing fibrous insulation materials*. **Arambakam, R., Tafreshi, H.V., Pourdeyhim, B.** 2013, Materials & Design, Vol. 44, pp. 99-106. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.07.058>. ISSN: 0261-3069.
30. *Influence of different parameters on the effective thermal conductivity of short-fiber composites*. **Furmanski, P.** 1991, Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol. 4, pp. 349-362. Available from: doi: 10.1177/089270579100400403. ISSN: 0892-7057.
31. **Thorpe, D.** What's the best insulation material to use in eco renovation? [Online] 2013. [Cited: April 22, 2013.] Available from: <http://www.superhomes.org.uk/resources/whats-best-insulation-material/>.
32. **Sutton, A., Black, D., Walker, P.** *Natural Fibre Insulation, An introduction to low-impact building materials*. Bracknell : IHS BRE Press, 2011. p. 4. ISBN 978-1-84806-229-0.
33. **Kauriinvaha, E., Viljanen, M., Pasila, A.** *Bio-fiber from field to thermal insulation of building*. Helsinki : s.n., 2001. p. 100.
34. *The influence of structural properties and characteristics of the fiber on the physical-mechanical properties and thermo-physiological comfort of single jersey knitted fabrics*. **Kjortosheva, S., Ljapcheva, K., Jordeva, S., Kaloyanov, N.** Ohrid : s.n., 2010. In: XXI Congress of Chemists and Technologists of Macedonia. Available from: <http://eprints.ugd.edu.mk/5652/1/XXI%20congress.pdf>.
35. *Steering of dispersibility of spunlaced nonwovens with fibre properties and spunlacing parameters*. **Scholz, R., Sigmund, I.** 2012, Lenzinger berichte, Vol. 102, pp. 72-75. Available from: http://www.lenzing.com/fileadmin/template/pdf/konzern/lenzinger_berichte/ausgabe_90_2012/LB_2012_13_Scholz.pdf.
36. *Relationship Between Cotton Varieties and Moisture Vapor Transport of Knitted Fabrics*. **Ramkumar, S.S., Purushothaman, A., Hake, K. D., McAlister, D.D.** 2007, Journal of Engineered Fibers

and Fabrics, Vol. 2, pp. 10-18. Available from:
<http://www.jeffjournal.org/papers/Volume2/Ramkumar7-2R1.pdf>.

37. *The Thermal Insulation Properties of Spacer Fabrics with a Mechanically Integrated Wool Fibber Surface*. **Mao, N., Russell, S.J.** 2007, Textile Research Journal, Vol. 77, pp. 914-922. Available from: doi: 10.1177/0040517507083524. ISSN: 1746-7748.

38. *Air Permeability and Acoustic Absorbing Behavior of Nonwovens*. **Yang, S., Yu, W.** 2011, Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, Vol. 3, pp. 203-207. Available from: doi: 10.3993/jfbi03201103. ISSN: 1940-8676.

39. *Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers*. **Kozlowski, R., Wladyka-Przybylak M.** 2008, Polymers for Advanced Technologies, Vol. 19, pp. 446– 453. Available from: doi: 10.1002/pat.1135. ISSN: 10427147.

40. *Engineering and evaluation of hemp fibre reinforced polypropylene composites: fibre treatment and matrix modification*. **Beckermann, G.W., Pickering, K. L.** 2008, Composites A, Vol. 39, pp. 979– 988. Available from: 10.1016/j.compositesa.2008.03.010. ISSN: 1359835X.

41. *A Study in Physical and Mechanical Properties of Hemp Fibres*. **Shahzad, A.** 2013, Advances in Materials Science and Engineering, Vol. 2013, pp. 1-9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/325085>. ISSN: 16878434.

42. *Studies on the thermal degradation of cellulosic fibers treated with flame retardants*. **Gao, M., Dai, Q.J.** 2006, The Chinese Journal of Process Engineering, 6, Vol. 6, pp. 242- 246. ISSN: 1009606X.

43. *Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres*. **Le Troedec, M., Sedan, D., Peyratout, C. et al.** 2008, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 39, pp. 514–522. Available from: doi:10.1016/j.compositesa.2007.12.001. ISSN: 1359835X.

44. *FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide*. **Oh, S.Y., Yoo, D.I., Shin, Y., Seo, G.** s.l. : 340, 2005, Carbohydrate Research, pp. 417-428. Available from: doi: 10.1016/j.carres.2004.11.027. ISSN: 00086215.

45. *Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering*. **Huber, G. W., Iborra, S., Corma, A.** 2006, Chemical Reviews, Vol. 106, pp. 4044-4098. Available from: doi: 10.1021/cr068360d. ISSN: 00092665.

46. *Properties of ball milled thermally treated hemp fibers in an inert atmosphere for potential composite reinforcement*. **Prasad, B. M., Sain, M. M., Roy, D. N.** 2005, Journal of Materials Science, Vol. 40, pp. 4271–4278. Available from: doi: 10.1007/s10853-005-2799-5. ISSN: 00222461.

47. *Thermal and fire behavior of natural fibers/ PBS biocomposites*. **Dorez, G, Taguet, A., Ferry, L., Lopez-Cuesta, J.M.** 2012, Polymer Degradation and Stability, Vol. 98, pp. 87–95. Available from: doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.026. ISSN: 01413910.

48. **Buschner, J.** *Thermal and acoustic insulation based on pure plant product*. DE 19541626 A1 Germany, 1996.

49. **Naegerl, H., Sommer, K., Wilking, A.** *Compostable non-woven fabric for use as insulating material*. DE 19630828 A1 Germany, 1998.
50. *Fire retardancy of polypropylene/flax blends*. **Schartel, B., Braun, U., Schwarz, U., Reinemann, S.** 2003, *Polymer*, Vol. 44, pp. 6241–6250. Available from: doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(03\)00692-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00692-X). ISSN: 00323861.
51. **Green, J.** Phosphorus-containing flame retardants. [ed.] Wilkie, C.A. Grand, A.F. *Fire retardancy of polymeric materials*. NewYork : Marcel Dekker Inc., 2000, pp. 147–170.
52. **Horrocks, A.R.** Textiles. [ed.] Price, D. Horrocks, A.R. *Fire retardant materials*. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2001, 4, pp. 128–81.
53. *Heat release of polymer composites in fire*. **Mouritz, A.P., Mathys, Z., Gibson, A.** 2006, *Composites: Part A*, Vol. 37, pp. 1040–1054. Available from: doi: 10.1016/j.compositesa.2005.01.030. ISSN: 1359835X.
54. *Development of fire-retarded materials—Interpretation of cone calorimeter data*. **Schartel, B., Hull, T.R.** 2007, *Fire and Materials*, Vol. 31, pp. 327–354. Available from: doi: 10.1002/fam.949. ISSN: 03080501.
55. **Bodil, E., Eriksen, M.** *Method for manufacturing a fibre mat, fibre mat and use of such fibre mat*. WO 1999057353 A1 Denmark, 1999.
56. *Exterior components based on renewable resources produced with SMC technology - considering a bus component as example*. **Müssig, J., Schmehl, M., Von-Buttlar, H.-B. Schönfeld, U., Arndt, K.** 2006, *Industrial Crops and Products*, Vol. 24, pp. 132–145. Available from: doi: 10.1016/j.indcrop.2006.03.006. ISSN: 09266690.
57. **Holmes, C.A.** Effect of Fire-Retardant Treatments on Performance Properties of Wood. [ed.] I.S. Goldstein. *Wood Technology: Chemical Aspects*. Washington : American Chemical Society, 1977, 6, pp. 82–106.
58. **Gorenko, P.** *Būvniecība (tiešsaiste)*. s.l. : Ozolnieki: Latvijas lauksaimniecības konsultāciju un izglītības atbalsta centrs, 2002. p. 108. Pieejams: http://www.llkc.lv/upload_file/400445/buves.pdf.
59. **Veselības inspekcija, Vides veselības nodaļa.** *Iekštelpu gaiss: Iekštelpu gaisa kvalitāte, problēmas, to risinājumi*. Rīga : Latvijas Republikas Veselības Ministrija. Pieejams: <http://www.vi.gov.lv/lv/vides-veselibagaiss/iekstelpu-gaiss>.
60. **Government of Alberta, Employment and Immigration.** *Indoor Air Quality Tool Kit*. Alberta : s.n., 2009. p. 79. Available: http://humanservices.alberta.ca/documents/WHS-PUB_gh015.pdf.
61. **Wallace, L.A.** *The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study*. Washington : s.n., 1987. p. 208. Available: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/2000UC5T.PDF>.
62. **21, Agenda.** *Transfer Of Environmentally Sound Technology, Cooperation And Capacity-building*. s.l. : UN Documents Cooperation Circles Agreements, Gathering a Body of Global Agreements.

63. **Grätz, M., Indriksone, D.** *Ekoloģiski celtniecības materiāli*. Hamburga, Rīga : s.n., 2011. p. 30. Pieejams: http://www.bef.lv/data/file/Ecomataterial_Brochure_LV.pdf.
64. **Piotrowski, S., Carus, M.** *Latvijas kaņepju nozares attīstības iespēju priekšizpēte*. s.l. : nova-Institut GmbH, SIA „Biznesa augstskola Turība”, 2011. p. 35. Pieejams: http://www.turiba.lv/f/Latvijas_kanepju_nozre.Prieksizpete.pdf.
65. *Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?* **Joshi, S.V., Drzal, L.T., Mohanty, A.K., Arora, S.** 2004, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 35, pp. 371-376. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>. ISSN: 1359-835X.
66. **Dewey, L.H., Merrill, J.L.** *Hemp hurds as paper-making material*. Washington : s.n., 2006. p. 25. Available from: <http://www.gutenberg.org/files/17855/17855-h/17855-h.htm>.
67. **Robinson, R.** *The Great Book of Hemp: The Complete Guide to the Environmental, Commercial, and Medicinal Uses of the World's Most Extraordinary Plant*. Rochester : s.n., 1996. p. 248. ISBN: 0-89281-541-8.
68. **Hemp technology.** Natural Fibre Insulation. [Online] [Cited: September 29, 2011.] Available from: <http://www.hemptechnology.co.uk/insulation.htm>.
69. **Thygesen, Anders.** *Properties of hemp fibre polymer composites*. Doctoral thesis. Roskilde : The Royal Veterinary and Agricultural University, 2006. p. 146.
70. **Small, E., Marcus, D.** *Hemp: A New Crop with New Uses for North America**. [book auth.] J., Whipkey, A. No: Janick. [ed.] J., Whipkey, A. Janick. *Trends in new crops and new uses*. Alexandria : ASHS Press, 2002, pp. 284-326.
71. Aerogel. [Online] [Cited: May 19, 2013.] Available from: <http://www.aerogel.com/products/overview-product.html>.
72. Dow Corning Corporation. *Vacuum Insulation Panel*. [Online] USA: 2012. Available from: <http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/62-1556-01.pdf>.
73. **ACTIS.** A comprehensive guide to thin multifoil insulation. [Online] 2011. Available from: <http://www.insulation-actis.com/documentations/43pdf3.pdf>.
74. **Stikute, Anete.** *Ekoloģiski materiāli karkasa būvēm*. Maģistra darbs. Rīga : RTU, 2011. p. 73.
75. *Ecological Materials for Frame Housing.* **Stikute, A., Kukle, S., Shakhmenko, G.** 2011, RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne, Vol. 6, pp. 43-47. ISSN 1691-3132.
76. *A study on the mechanical and physical properties of composites based on hemp shives.* **Stikute A., Kukle S.** Croatia, Zadar : s.n., 2012. No: Proceedings of the 12th World Textile Conference AUTEX. pp. 1159-1162.
77. **Ronchetti, Paolo.** *The barriers to the mainstreaming of lime-hemp: a systemic approach*. Doctoral thesis. Dublin : Dublin Institute of Technology, 2007. p. 154.

78. **Mechanical properties of lime–hemp concrete containing shives and fibres.** **Bruijn, P., Jeppsson, K., Sandin, K., Nilsson, C.** 2009, Biosystems Engineering, Vol. 103, pp. 474-479. Available from: doi: 10.1016/j.biosystemseng.2009.02.005. ISSN: 15375110.
79. **Pless, Petra Susanne.** *Technical and environmental assessment of thermal insulation materials from bast fiber crops. Doctoral thesis.* California : University of California, 2001. p. 353.
80. **Kymäläinen, Hanna-Riitta.** *Quality of linum usitatissimum L. (flax and linseed) and cannabis sativa L. (fibre hemp) during the production chain of fibre raw material for thermal insulations. Doctoral thesis.* Helsinki : University of Helsinki, 2004. p. 89.
81. **Carus, M.** Hemp - A Sustainable Raw Material for Bio-based Composites. *Bioplastics Magazine.* 2010, pp. 36-39. Available from: http://www.eiha.org/attach/8/10-05-06_bioplasticsMAGAZINE_03-2010.pdf.
82. **Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J., Bertucelli, S.** *The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds.* European Industrial Hemp Association. 2013. p. 9. Available from: <http://www.eiha.org/attach/8/13-03%20European%20Hemp%20Industry.pdf>.
83. *Development of Insulation Composite Based on FR Bast Fibers and Wool.* **Kozłowski, R., Mieleniak, B., Muzyczek, M., Mańkowski, J.** 2008. In: 2008 International Conference on Flax and Other Bast Plants. pp. 353-363. ISBN #978-0-9809664-0-4.
84. **Sutton, A., Black, D., Walker, P.** *Natural fibre insulation. An introduction to low-impact building materials.* Garston : BRE, University of Bath, 2011. p. 4. ISBN 978-1-84806-229-0; ISBN 978-1-84806-224-5.
85. **Sponner, J., Toth, L., Cziger, S.** Hemp. [ed.] R.R. Franck. *Bast and other plant fibres.* Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2005, pp. 176-206.
86. Ecotechnilin: Dabīgo šķiedru izolācijas materiālu ražotājs/Internets.-.
<http://www.ecotechnilin.com/>. [Online] [Cited: 12 Decembris 2013.]
87. Steico: Kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiāls STEICOflex/ Internets:-.
<http://www.steico.com/en/products/wood-fibre-insulation/steicoflex.html>. [Online] [Cited: 11 augusts 2013.]
88. **Schillo, M.** *Insulation material for construction industry has hemp fiber filling.* DE 19846704 A1 Germany, 2000.
89. **Fuerll, C., Idler., Linke, B., Pecenka, R.** *Method for processing natural fiber plants.* WO2005033380 A1 Germany, 2005.
90. **Kirilovs, Edgars.** *Ikgadēji atjaunojamu izejvielu efektīva izmantošana šķiedru plātņu un kompozītu izgatavošanai.* Promocijas darbs. Rīga : RTU, 2013. p. 120 lpp.
91. **Brydon, A.G., Pourmohammadi, A.** Dry-laid web formation. [book auth.] In: *Handbook of nonwovens.* Russell, S.J., ed. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2007, pp. 16. - 109.

92. Latvijas Lauksaimniecības universitātes projekts: Jaunu kompozītbūvmateriālu izstrāde uz putuģipša bāzes ar šķiedraugu stiegrojumu un no tiem veidotu sistēmu pētījumi, 1.1. aktivitāte - Pētījumi par šķiedraugu audzēšanu un fizikāli bioķīmiskajām īpašībām. <http://www.projekti.llu.lv/getfile.php?id=5949>. [Online] 2013.
93. **GmbH Trützschler**. *Nonwovens*. Krefeld : s.n. p. 52. http://www.truetzschler-nonwovens.com/fileadmin/user_upload/truetzschler-nonwovens/brochures_downloads/nonwovens/englisch/Nonwovens_EN.pdf.
94. **Pourmohammadi, A.** Thermal bonding. [book auth.] In: [ed.] ed. S.J. Russell. *Handbook of nonwovens*. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2007, pp. 298. - 329.
95. *Thermal bonding of nonwoven fabrics*. **Hoyle, A.G.** 1990, Tappi Journal, pp. 85.- 88. ISSN: 07341415.
96. **Dugan, J.S.** Textile World - Specialty Markets - Bicomponent Fibers. http://www.textileworld.com/Articles/2010/July/July_August_issue/Features/Specialty_Markets_Bicomponent_Fibers.html. [Online] 2010.
97. **Bradley, W.** *Non-woven fabric composites from lignin-rich, large diameter natural fibers*. WO2010042536 (A1) USV, 2010.
98. **Hoegler, A.** *Insulating material from hemp fibers*. WO2002027110 A1 Austrija, 2002.
99. **Habas, J.P., Benyahya, S., Lapinte, V., Caillol, S., Boutevin, B., Bernard, R.M.** *Web of vegetable wool fibres of which the mechanical cohesion is ensured by a thermoplastic polymer binder*. WO 2013093346 A1 France, 2013.
100. **Trützschler group**. Thermal bonding with belt or drum ovens. <http://www.truetzschler-nonwovens.com/en/products/bonding/thermobonding/>. [Online] [Cited: February 18, 2013.]
101. Biofib isolation: Dabīgo šķiedu izolācijas materiālu ražotājs. <http://www.biofib-isolation.com/gammes.php?L=EN#>. [Online]
102. **Hempflax**. HempFlax Nature Insulation. <http://hempflax.com/en/products/hempflax-products-for-construction/hempflax-nature-insulation>. [Online]
103. **NaturePRO**. A range of thermally insulating materials derived from completely natural, sustainable and renewable sources. Sheep's Wool Datasheet. <http://www.natureproinsulation.co.uk/hemp.htm>. [Online] [Cited: September 11, 2013.]
104. **Black mountain**. Hemp Insulation. <http://www.blackmountaininsulation.com/index.php/products/hemp-products>. [Online] [Cited: augusts 11, 2013.]
105. **Rupp, J.** Needlepunched Nonwovens. http://www.textileworld.com/Articles/2008/September_2008/Nonwovens/Needlepunched_Nonwovens.html. [Online] 2008. [Cited: February 7, 2013.]

106. **Association of the Nonwoven Fabrics Industry (INDA).** *Needlepunch nonwoven primer*. North Caroline : ed., K. Maitre, M.Pate, J.N.Cozon, 2001.
107. **Anand, S.C., Brunnschweiler, D., Russell, S.J., Swarbrick, G.** Mechanical bonding. [ed.] S.J. Russell ed. *Handbook of nonwovens*. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2007, pp. 201. - 297.
108. *Bulk and physical properties of needle-punched nonwoven fabrics*. **Midha, V. K., Mukhopadyay, A.** 2005, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol. 30, pp. 218-229. ISSN: 09710426.
109. *Historic needlepunch developments. (Nonwovens Technology)*. **Vaughn, E. A.** Michigan : Rodman Publishing, 1992, Nonwovens Industry.
110. **Jianyong, F., Jianchun, Z., McCain.** *China-hemp needle-punched nonwovens and preparation method thereof*. CN 102691172 A 2012.
111. **Burroughs, F.C., Hiers, J.J.** *Integral textile composite fabric*. WO 1991001877 A1 1991.
112. *The impact of input energy on the performance of hydroentangled nonwoven fabrics*. **Zheng, H., Seyam, A.M., Shiffler, D.** 2003, International Nonwovens Journal, Vol. 12, pp. 34. - 44. ISSN: 1527-2494.
113. *Structure-Process-Property Relationships of Hydroentangled Fabrics*. **Mao, N., Russell, S.J.** 2005, Lenzinger Berichte, pp. 50-61. ISSN: 0024-0907.
114. *Air Permeability & Porosity in Spun-laced Fabrics*. **Berkalp, O.B.** 2006, Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol. 14, pp. 81- 85. ISSN: 1230-3666.
115. **Rupp, J.** Spunlaced Or Hydroentangled Nonwovens. *Textile World*. 2008.
116. **Butler, I.** *Hydroentangling technology primer: Capabilities and End-uses, Market Outlook, Manufacturing Process*. [ed.] J., Medeiros, M.T. Francis. s.l. : Association of the Nonwoven Fabrics Industry, 2002. p. 36.
117. **Aramovich, T.V., Herbert, C.J., Martin, J.L., Baratian, S.A., Chakravarty, J.T., Warren, R.** *Hydroentangled nonwoven fabrics, process, products and apparatus*. WO 2008078210 A1 USV, 2008.
118. **Sommer, K.** *Textile fabric consisting of natural fibres*. WO2001066845 A1 Germany, 2001.
119. **Clack, R.A.** *Method and apparatus for producing tubular products from nonwoven fibers*. WO 1994023915 A1 USA, 1994.
120. **Allen, M.A., Fetcko, J.T.** *Tubular filters and their manufacture*. WO 1995009942 A1 USA, 1995.
121. **Russell, S., Tipper, M.dJ., Ratho, M.K.** *Hydroentangled tubular fabrics*. WO2009127816 A1 United Kingdom, 2009.
122. *Spunlace: Improvements which enhance production efficiencies and reduce operating costs*. **Noelle, F.** 2001, Texnical Textiles, Vol. 44, pp. 100.-105.

123. **Groz-Beckert.** Hydroentanglement with jetstrips – Using the full power of water.
http://news.groz-beckert.com/pages/en_n1_hydroentanglement_with_jetstrips.php5. [Online] 2011.
[Cited: October 20, 2013.]
124. *Analysis of the renewable fiber properties and uses in scale of Latvia.* **Stramkale, V., Freivalde, L., Kukle, S.** Ljubljana : s.n., 2010. 41st International Symposium on Novelties in Textiles. pp. 320-325. ISBN 978-609-95098-2-2.
125. *Comparative Analysis of Thermo Bonded and Needle Punched Hemp Nonwoven Material Properties.* **Freivalde, L., Kukle, S., Russell, S.** Dubrovnik : s.n., 2012. Proc. of the International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles - 6. pp. 47-52. ISSN: 1847-7275.
126. *Mechanical Properties of Hemp Fibres and Insulation Materials.* **Freivalde, L., Kukle, S.** Rīga : s.n., 2012. Biznesa augstskolas Turība konferenču rakstu krājums. pp. 45-52. ISSN 1691-6069.
127. *Comparision of Hemp Fibre Properties.* **Kukle, S., Stramkale, V., Kalniņa, D., Soliženko, R.** Croatia, Dubrovnik : Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2012. In: 6th International Textile Clothing and Design Conference "Magic World of Textiles". pp. 76-80. ISSN 1847-7275.
128. **Soliženko, Rita.** *Kaņepju šķiedru īpašības un izmantošanas iespējas polimēru kompozītos.* Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūts : Maģistra darbs, 2012. p. 104.
129. *Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing.* BS EN 20139:1992, ISO 139:1973 ,
130. *Determination of the thermal resistance of textiles.* BS 4745: 2005, ISO 5085-1:1989, ISO 5085-2:1990,
131. *Textiles - Test methods for nonwovens - Part 2: Determination of thickness.* EN ISO 9073-2:1997,
132. *Tekstilizstrādājumi - Neausto audumu testa metodes - 1.daļa: Masas noteikšana uz laukuma vienību.* LVS EN 29073-1:2001 ,
133. *Tekstilizstrādājumi - Izstrādājumu gaisa caurlaidības noteikšana.* LVS EN ISO 9237:2001,
134. *Specification for Water vapour permeable apparel fabrics.* BS 7209:1990,
135. **Mao, N., Russell, S.J., Pourdeyhimi, B.,.** Characterisation, testing and modelling of nonwoven fabrics. [ed.] S.J. Ed. Russell. *Handbook of nonwovens.* Cambridge : Woodhead Publ. Limited, 2007, pp. 401-514.
136. **Franck, R.R.** Overview. *Bast and other plant fibres.* Cambridge : Woodhead Publ. Limited, 2005, pp. 1-23.
137. *Ugunsreakcijas testi - Siltuma izdalīšanās, dūmu veidošanās un masas zuduma ātrums - 1.daļa: Siltuma izdalīšanās ātrums (koniskā kalorimetra metode).* LVS ISO 5660-1:2005,
138. *Būvizstrādājumu testēšana pēc to reakcijas uz uguni.* LVS EN 13238: 2002,

139. *Testa metodes tekstila izejvielām. Linu un kaņepju šķiedrām. Statiskās stiepes attiecības noteikšanai.* . PN-P-04676:1986,
140. **Bukšāns, Edgars.** *Koksnes materiālu ugunsdrošību ietekmējošie faktori un ugunsreakcijas prognozēšana.* Promocijas darbs. Jelgava : LLU, 2010. p. 127.
141. *Thermal degradation and fire resistance of unsaturated polyester, modified acrylic resins and their composites with natural fibres.* **Manfredi, L.B., RodrõÁguez, E. S., Wladyka-Przybylak, M., Vazquez, A.** 2006, Polymer Degradation Stability, Vol. 91, pp. 255-261. Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.05.003>. ISSN: 0141-3910.
142. *European reaction to fire performance of wood and timber products.* **Östman B, Mikkola, E.** London : Interscience communications Ltd., 2004. Vol. 1, pp. 35- 46. In: Proceedings of 10th international conference Interflam 2004.
143. **Tsantaridis, Lazaros.** *Reaction to fire performance of wood and other building products – Cone Calorimeter results and analysis.* Doctoral Thesis. Stockholm : KTH- Royal Institute of Technology, 2003. p. 65.
144. **Li, Yu-Chin.** *Environmentally benign flame retardant nanocoatings for fabrics.* Doctoral thesis. Texas : Texas A&M University, 2011. p. 171.
145. *Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall.* **Mahlia, T.M.I., Taufiq, B.N., Ismail, Masjuki, H.H.** 2007, Energy and Buildings, Vol. 39, pp. 182–187. Available from: doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.06.002>. ISSN: 0378-7788.
146. *Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations.* **Kymäläinen. H.R., Sjöberg, A.M.** 2008, Building and Environment, Vol. 43, pp. 1261–1269. Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.03.006>. ISSN: 0360-1323.
147. *Effect of Thermal Conductivity Behavior of Jute/Cotton Blended Knitted Fabrics.* **Vigneswaran, C., Chandrasekaran, K., Senthilkumar, P.** 2009, Journal of Industrial Textiles, Vol. 38, pp. 289-307. Available from: doi: 10.1177/1528083708098915. ISSN: 1528-0837.
148. **Hedge, A.** Thermal Comfort. <http://ergo.human.cornell.edu/studentdownloads/DEA3500pdfs/Thermcomfort.pdf>. [Online] Cornell University. [Cited: September 11, 2013.]
149. **Rockwool.** Akmens vate. <http://gids.rockwool.lv/izstradajumi/celtniecibas-izolacija>. [Online] [Cited: 26 marts 2012.]
150. **Interneta veikals buvserviss.lv.** Minerālvate. <http://www.buvserviss.lv/?l=1&c=35>. [Online] [Cited: 20 janvāris 2014.]
151. **„TENAPORS”, SIA.** Uzputotais polistirols EPS. http://www.tenapors.com/lv/produkti/siltumizloacijas_materiali/tenapors_eps/informacija_par_produktu/. [Online] [Cited: 26 marts 2012.]

152. *State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments.*
Papadopoulos, A.M. 2005, *Energy and Buildings*, Vol. 37, pp. 77-86. Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>. ISSN: 0378-7788.
153. *Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites.* **Bledzki, A.K., Reihmane, S., Gassan, J.** 1996, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 59, pp. 1329-1336. Available from: doi: 10.1002/(SICI)1097-4628(19960222)59:8<1329. ISSN: 1097-4628.
154. *Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres.* **Manikandan-Nair, K.C., Thomas, S., Groeninck, G.** 2001, *Composites Science and Technology*, Vol. 61, pp. 2519-2529. Available from: doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00170-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00170-1). ISSN: 0266-3538.
155. *Cellulose–hemicellulose and cellulose–lignin interactions in wood pyrolysis at gasification temperature.* **Hosoya, T., Kawamoto, H., Saka S.** 2007, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 80, pp. 118–125. Available from: doi: 10.1016/j.jaap.2007.01.006. ISSN: 01652370.
156. **Yudelson, J.** Green Building Consultant Lists Top Ten Green Building MegaTrends for 2012. <http://www.prweb.com/releases/2011/12/prweb9037435.htm>. [Online] December 15, 2011. [Cited: March 27, 2012.]
157. **Yudelson, J.** Green Building Consultant's Top Ten MegaTrends for 2013. <http://www.prweb.com/releases/2013/1/prweb10293654.htm>. [Online] January 7, 2013. [Cited: November 5, 2013.]
158. **Laizāns, T.** *Atskaite par dalību COPA/COGECA un Eiropas Komisijas rīkotajā darba grupā: Lini un kaņepes.* Rīga : ES lauksaimniecības un lauku attīstības lietu birojs, 2012. p. 2. http://www.laukutikls.lv/pielikumi/3428_2012_10_11-12_LC_Atskaite.pdf.
159. *Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building.* **Papadopoulos, A.M., Giama, E.** 2007, *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 2178-2187. Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.04.012>. ISSN: 0360-1323.
160. **SIA Demetra KRAIN.** Kokšķiedru un kaņepju siltumizolācijas materiālu cenas. <http://nesalsti.lv/?cat=34>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 19. Februāris.]
161. **Vides tehnika.** Minerālvates cenas. <http://www.videstehnika.lv/lv/mineralv/149/>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 20. janvāris.]
162. **Būvmateriālu interneta veikals Prof.lv.** Putuplasta (putupolistirola) EPS100 plāksnēs cenas. http://www.prof.lv/lv/buvmateriali/buvmateriali/siltumizolācijas-materiali/putuplasts-putupolistirols/p-14783-putuplasts_eps100_500x1000x20mm_15m2. [Tiešsaiste] [Citēts: 2013. gada 22. November.]
163. **Interneta veikals latroof.lv.** Putupolistirola cenas. <http://www.latroof.lv/107-ekstrudtais>. [Online] [Cited: 20 janvāris 2014.]
164. **Vides tehnika, siltumizolācijas materiāli.** Ekovates Termex cenas. <http://www.videstehnika.lv/lv/ekovate/2/>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 20. Janvāris.]

165. **Purchase.ie.** Sheep Wool Insulation Rolls prices. <http://purchase.ie/sheep-wool-insulation-rolls>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2013. gada 22. November.]
166. **Interneta veikals amurs.lv.** Korķa siltumizolācijas materiālu cenas. <http://www.amurs.lv/lv/katalogs/shop/izolacijas-materiali/korka-izolacija/>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 20. janvāris.]
167. **OMNI 2000 Ltd. Inc.** Termoliedēšanas un cauradatošanas materiālu ražošanas līnijas parametri. www.alibaba.com. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 20. marts.]
168. **Rietumu banka.** Ilgtermiņa kredīti. <http://www.rietumu.lv/loans-business-long>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 12. janvāris.]
169. **Lavrinoviča, I.** Latvijas zinātnieki no kaņepēm rada jaunus tehniskos audumus. <http://www.la.lv/kanepes-perspektivs-augs%E2%80%A9/>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 15. aprīlis.]
170. **Valsts ieņēmumu dienests.** Algu kalkulators. http://www.vid.lv/lv/kalkulatori/algu_kalkulators. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 20. Februāris.]